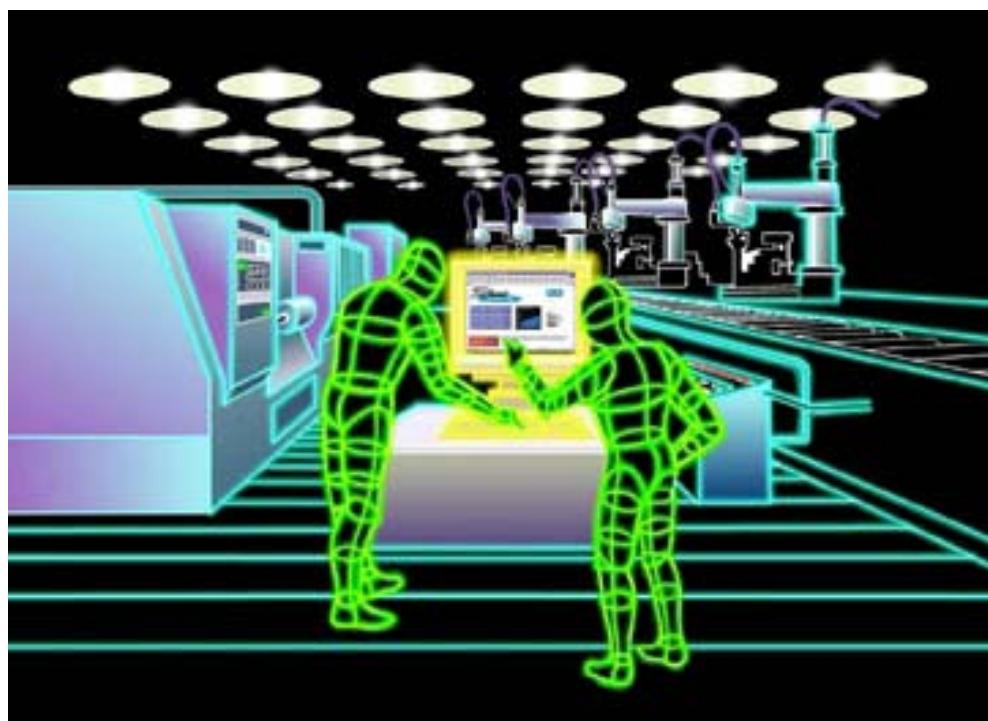


## Sistemas de Automação e Controle





## **Sistemas de Automação e Controle**

©SENAI – ES, 2005.

Direitos de Reprodução para a CST

Apostila elaborada pelo Professor de Instrumentação/Automação Industrial: Fábio da Costa Pinto.

## **SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial**

Departamento Regional do Espírito Santo

CETEC – Centro de Educação e Tecnologia Arivaldo Fontes

Avenida Marechal Mascarenhas de Moraes, 2235 - Bento Ferreira – ES.

CEP 29052-121

Telefone: (27) 3334-5200

Telefax: (27) 3334-5212

## ÍNDICE

<b>1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL .....</b>	<b>8</b>
1.1 Introdução .....	9
1.2 Conceito .....	9
1.3 Desenvolvimento da Automação .....	9
1.4 Tipos de Automação .....	12
1.4.1 Automação Fixa.....	13
1.4.2 Automação Programável .....	13
1.4.3 Automação Flexível.....	14
<b>2 CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS .....</b>	<b>15</b>
2.1. Considerações gerais .....	15
2.1.1 Perspectiva Histórica .....	16
2.2. Estruturas básicas do Controle Automático.....	18
2.2.1 Controle em Malha Fechada.....	19
2.2.2 Controle em Malha Aberta .....	21
2.2.3 Comparação entre os sistemas em malha fechada e aberta.....	22
2.3. Controle Digital.....	23
2.4 Exemplos de Sistemas de Controle e Regulação Industrial.....	27
2.5 Controladores Automáticos Industriais .....	29
2.5.1 Introdução.....	29
2.5.2 Ações de Controle Básicas .....	29
2.6 Controladores Analógicos .....	39
2.7 Reguladores Digitais .....	42
2.8 Ajuste Ótimo dos Controladores Industriais .....	45
2.8.1 Método baseado na Sensibilidade Crítica (2º Método) .....	45
2.9 Exemplo de Aplicação Industrial .....	48
2.10 Malhas de Controle .....	58
2.10.1 Introdução.....	58
2.10.2 Realimentação negativa.....	59
2.10.3 Controle Cascata .....	61
2.11 Controle de Faixa Dividida .....	68
2.11.1 Conceito .....	68
2.11.2 Aplicações .....	68
2.12 Balanço de Cargas .....	70
2.13 Controle de malhas redundantes .....	71
2.14 Controles chaveados .....	73

<b>2.15 Controle Auto-Seletor .....</b>	<b>74</b>
2.15.1 Conceito .....	74
2.15.2 Exemplos .....	75
2.15.3 Características .....	76
2.15.4 Cuidado para a não Saturação .....	77
2.15.5 Aplicações .....	78
<b>2.16 Controle <i>Feed-forward</i> .....</b>	<b>79</b>
2.16.1 Introdução .....	79
2.16.2 Funções Básicas .....	80
2.16.3 Partes Fundamentais .....	80
2.16.4 Características .....	81
2.16.5 Limitações .....	82
2.16.6 Comparação com o Feedback .....	83
2.16.7 Desenvolvimento do Controlador .....	84
2.16.8 Aplicações .....	86
2.16.9 Conclusão .....	94
<b>2.17 Controle de Relação (Ratio).....</b>	<b>94</b>
2.17.1 Conceitos .....	94
2.17.2 Características .....	96
2.17.3 Aplicações .....	98
<b>2.18 Conceitos de Projeto do Controle.....</b>	<b>100</b>
2.18.1 Critérios Gerais .....	100
2.18.2 Controle Global da Planta .....	101
2.18.3 Otimização de controle .....	102
<b>3 NOÇÕES DE CIRCUITOS LÓGICOS.....</b>	<b>103</b>
3.1 Tópicos da Álgebra de Boole .....	103
3.2 Conceitos Introdutórios .....	104
3.2.1 Grandezas Analógicas e Digitais .....	104
3.2.2 Sistemas de Numeração Digital .....	104
3.2.3 Representação de Quantidades Binárias .....	105
3.2.4 Circuitos Digitais /Circuitos Lógicos .....	106
3.2.5 Sistemas de Numeração e Códigos .....	107
3.3 Aritmética Digital .....	109
3.3.1 Introdução .....	109
3.3.2 Adição Binária .....	109
3.3.3 Representação de Números com Sinal .....	110
3.3.4 Forma do Complemento a 1 .....	111
3.3.5 Forma do Complemento a 2 .....	111
3.3.6 Representação de Números com Sinal Usando Complemento a 2 .....	111
3.3.7 Negação .....	111
3.3.8 Faixa de Representação do Complemento a 2 .....	112
3.3.9 Adição no Sistema de Complemento a 2 .....	113
3.3.10 Subtração no Sistema de Complemento a 2 .....	114

3.3.11	Overflow Aritmético .....	114
3.3.12	Multiplicação de Números Binários.....	115
3.3.13	Divisão Binária .....	115
3.3.14	Adição BCD.....	115
3.3.15	Aritmética Hexadecimal .....	116
3.3.16	Adição em Hexadecimal .....	116
3.3.17	Subtração em Hexadecimal.....	117
3.4	Portas Lógicas e Álgebra Booleana .....	117
3.4.1	Descrevendo Circuitos Lógicos Algebricamente .....	119
3.4.2	Portas NOR e NAND .....	120
3.4.3	Teoremas da Álgebra de Boole .....	120
3.4.4	Universalidade das Portas NAND e NOR .....	121
3.4.5	Simplificação de Circuitos Lógicos.....	122
3.4.6	Projetando Circuitos Lógicos .....	122
3.4.7	Método do Mapa de Karnaugh para Simplificação Circuitos Lógicos.	123
4	<b>SISTEMAS DE SUPERVISÃO E DE CONTROLE.....</b>	124
4.1	Sistemas Analógicos com Painéis Mímicos .....	124
4.2	Sistemas de Supervisão e Comando com Painéis Mímicos atualizados por Computadores.....	124
4.3	Controladores Lógicos Programáveis.....	125
4.3.1	Introdução .....	125
4.3.2	Controladores Lógicos Programáveis usados no Seqüenciamento de operações.....	126
4.3.3	Componentes básicos de um CLP .....	128
4.3.4	Processador.....	128
4.3.5	Memória.....	128
4.3.6	Circuito de Entrada .....	129
4.3.7	Circuito de Saída .....	129
4.3.8	Painéis de Programação .....	129
4.3.9	Fonte de Alimentação .....	129
4.3.10	Endereçamento .....	129
4.3.11	Exemplo de um Endereço Indexado .....	130
4.3.12	Endereçamento de Instruções de Arquivo.....	131
4.3.13	Constantes Numéricas.....	131
4.3.14	Instruções Básicas para programação de CLP .....	132
4.3.15	Instrução do Tipo Relé.....	132
4.3.16	Instrução - Liga a Saída .....	133
4.3.17	Exemplos de programas .....	133
4.3.18	Instrução Liga e Desliga com Selo (OTL E OTU).....	137
4.3.19	Instrução Liga em uma varredura (OSR).....	138
4.3.20	Temporizadores.....	139
4.3.21	Temporizador TON .....	141
4.3.22	Contadores .....	142
4.3.23	Contador CTU .....	144

# CST

## Arcelor Brasil

4.3.24 Instrução RES .....	145
<b>4.4 IEC 61131-3: A Norma para Programação .....</b>	<b>146</b>
4.4.1 Elementos Comuns .....	147
4.4.2 Linguagens de Programação .....	151
4.4.3 Implementações .....	154
4.4.4 Conclusão .....	154
<b>4.6 Os Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCD).....</b>	<b>156</b>
<b>4.7 Os SDCDs convencionais.....</b>	<b>157</b>
<b>4.8 Configuração geral de um SDCD .....</b>	<b>158</b>
<b>4.9 Sistemas Supervisórios Modernos.....</b>	<b>160</b>
<b>4.10 Configurações Gerais dos Sistemas Supervisórios .....</b>	<b>162</b>
<b>4.11 Computadores utilizados nos sistemas supervisórios.....</b>	<b>164</b>
<b>4.12 Portas seriais utilizadas nos sistemas de comunicação .....</b>	<b>164</b>
<b>4.13 Sistemas de redes locais usadas em sistemas supervisórios.....</b>	<b>165</b>
<b>4.14 Meio de transmissão .....</b>	<b>166</b>
<b>4.15 Configurações de rede.....</b>	<b>166</b>
<b>4.16 Controle de acesso aos canais .....</b>	<b>167</b>
<b>4.17 Padrões de Redes de comunicação .....</b>	<b>168</b>
<b>4.18 Rede Ethernet .....</b>	<b>170</b>
<b>4.19 Introdução às Redes Industriais .....</b>	<b>171</b>
4.19.1 Níveis de uma Rede Industrial .....	171
4.19.2 Classificação das redes industriais.....	172
4.19.3 Redes de célula .....	172
4.19.4 Arquitetura MAP .....	173
4.19.5 O Projeto MAP .....	173
4.19.6 EPA/MAP .....	178
4.19.7 Mini-MAP .....	180
4.19.8 Redes de Campo de Baixo Nível .....	181
4.19.9 Redes de campo efetivas.....	181
4.19.10 A Pirâmide CIM .....	182
<b>4.20 Interface AS-I .....</b>	<b>183</b>
4.20.1 Características Gerais .....	183
4.20.2 Topologia .....	185
4.20.3 Componentes Principais .....	186
<b>4.21 Rede PROFIBUS .....</b>	<b>193</b>
4.21.1 Tecnologia Profibus .....	193
4.21.2 Perfis de Comunicação.....	196
4.21.3 Perfis Físicos .....	196

4.21.4	Perfis de Aplicação .....	196
4.21.5	Características básicas.....	197
4.21.6	Arquitetura do Protocolo PROFIBUS .....	197
4.21.7	Tecnologia de transmissão RS-485 .....	198
4.21.8	Tecnologia de Transmissão IEC 1158-2 .....	201
4.21.9	Instruções de instalação para IEC-1158 .....	202
4.21.10	Protocolo PROFIBUS para o acesso ao meio .....	203
4.21.11	Perfil de comunicação DP.....	206
4.21.12	Funções básicas .....	206
4.21.13	Características básicas .....	207
4.21.14	Funções de diagnóstico .....	208
4.21.15	Configuração do sistema e tipos de dispositivos .....	208
4.21.16	Comportamento do sistema .....	210
4.21.17	Transmissão cíclica de dados entre os dispositivos dpm1 e os dispositivos escravos .....	210
4.21.18	Modo sync e modo de congestionamento (freeze).....	211
4.21.19	Mecanismos de proteção .....	212
4.21.20	Funções DP estendidas .....	212
4.21.21	Endereçamento .....	213
4.21.22	Transmissão acíclica de dados entre dispositivos DPM1 e dispositivos escravos .....	214
4.21.23	Transmissão acíclica de dados entre dispositivos DPM2 e dispositivos escravos .....	215
4.21.24	Perfil de comunicação FMS .....	216
4.21.25	Serviços FMS .....	217
4.21.26	Lower link interface (LLI) .....	220
4.21.27	Gestão da Rede.....	221
4.21.28	Perfis de aplicação .....	221
4.21.29	Aspectos de aplicação .....	224
4.21.30	Aplicações tolerantes a falhas .....	226
4.21.31	Automação de edifícios.....	226
4.21.32	Perfis de aplicação para tipos especiais de dispositivos .....	226
4.22	FOUNDATION Fieldbus .....	227
4.22.1	Considerações Iniciais .....	227
4.22.2	Definições .....	231
4.22.3	Níveis de Protocolo .....	232
4.22.4	Níveis de Software .....	233
4.22.5	Nível Físico .....	236
4.22.6	Distribuição de Energia .....	239
4.22.7	Benefícios do Fieldbus .....	248
4.22.8	Comparações com as tecnologias anteriores .....	250
4.22.9	Detalhando um projeto FIELDBUS .....	254
4.22.10	Uso de barreiras de proteção .....	260
4.22.11	Componentes de um projeto FIELDBUS e suas características .....	268
4.22.12	Cabos .....	268

# CST

## Arcelor Brasil

4.22.13	Tipos de Equipamentos .....	272
4.22.14	Exemplo de documentação de um projeto.....	274
<b>5</b>	<b>SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS-SAD .....</b>	<b>296</b>
5.1	Componentes de um SAD .....	297
5.2	Software dos sistemas de aquisição de dados .....	303
5.3	Escolha dos sistemas de aquisição de dados.....	304
5.4	Sistemas Supervisórios .....	307
5.5	Plataforma de Hardware .....	308
5.6	Estrutura dos Sistemas Supervisórios.....	309
5.7	Características Gerais de um Software Supervisório .....	311
5.8	Configuração dos Sistemas Supervisórios.....	312
<b>6</b>	<b>INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM) .....</b>	<b>315</b>
6.1	Tipos de IHM .....	317
6.2	Meios de Comunicação da IHM .....	320
<b>7</b>	<b>SISTEMA PIMS .....</b>	<b>329</b>
7.1	Apresentação.....	329
7.2	Comunicação com Sistemas Externos.....	329
7.3	Modelo de Gerenciamento de Dados CST .....	330
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>332</b>

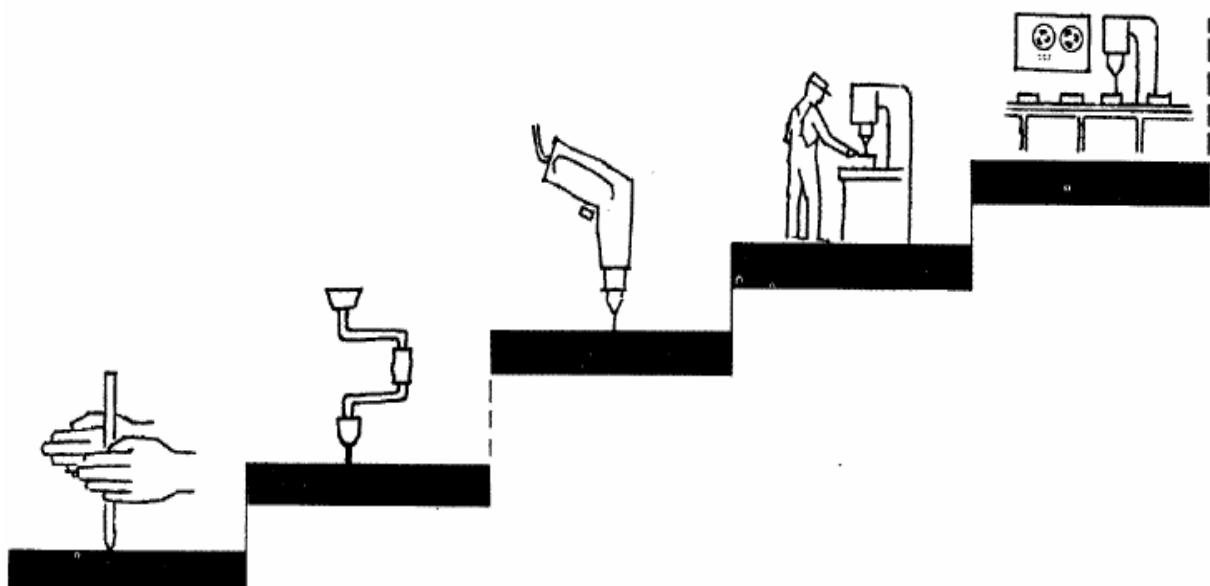
## 1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

### 1.1 Introdução

Você já reparou que a automação faz parte do dia-a-dia do homem moderno? Pela manhã, o rádio relógio automaticamente dispara o alarme para acordá-lo e começa a dar as notícias do dia. Nessa mesma hora, alguém esquenta o pão para o café da manhã numa torradeira elétrica, ajustando tempo de aquecimento. Na sala, uma criança liga o videocassete, que havia sido programado para gravar seu programa infantil predileto da semana anterior. Quando a casa esquenta pela incidência dos raios solares, o ar condicionado insufla mais ar frio, mantendo a temperatura agradável. Esses simples fatos evidenciam como a automação faz parte da vida cotidiana.

### 1.2 Conceito

Automação é um sistema de equipamentos eletrônicos e/ou mecânicos que controlam seu próprio funcionamento, quase sem a intervenção do homem. Automação é diferente de mecanização. A mecanização consiste simplesmente no uso de máquinas para realizar um trabalho, substituindo assim o esforço físico do homem. Já a automação possibilita fazer um trabalho por meio de máquinas controladas automaticamente, capazes de se regularem sozinhas.



**Fig.1.1.**  
**Evolução da automatização ao longo dos tempos.**

### 1.3 Desenvolvimento da Automação

As primeiras iniciativas do homem para mecanizar atividades manuais ocorreram na pré-história com invenções como a roda. O moinho movido por vento ou força animal e as

rodas d'água demonstram a criatividade do homem para poupar esforço.

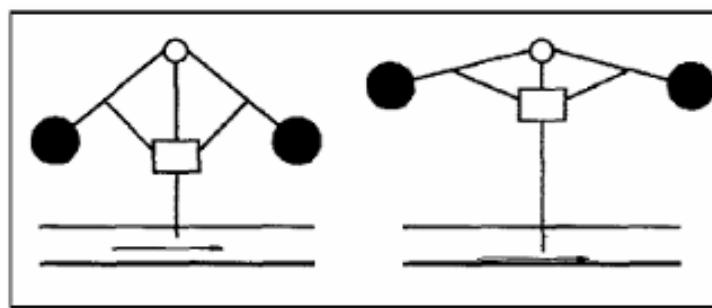
Porém, a automação só ganhou destaque na sociedade quando o sistema de produção agrário e artesanal transformou-se em industrial, a partir da segunda metade do século XVIII, inicialmente na Inglaterra.

Os sistemas inteiramente automáticos surgiram no início do século XX, entretanto, bem antes disso foram inventados dispositivos simples e semi-automáticos.

Devido à necessidade de aumentar a produção e a produtividade, surgiram uma série de inovações tecnológicas:

- Máquinas modernas, capazes de produzir com maior precisão e rapidez em relação ao trabalho feito à mão.
- Utilização de fontes alternativas de energia, como o vapor, inicialmente aplicada a máquinas em substituição às energias hidráulica e muscular.

Por volta de 1788, James Watt desenvolveu um mecanismo de regulagem do fluxo do vapor em locomotivas. Isto pode ser considerado um dos primeiros sistemas de controle com realimentação e regulador e consistia num eixo vertical com dois braços próximos ao topo, tendo em cada extremidade uma bola pesada. Com isso, a máquina funcionava de modo a se regular sozinha, automaticamente, por meio de um laço de Realimentação.



**Fig.1.2.**  
**Representação simplificada do mecanismo de J. Watt.**

A partir de 1870, também a energia elétrica passou a ser utilizada e a estimular indústrias como a do aço, a química e a de máquinas-ferramenta e o setor de transportes progrediu bastante graças à expansão das estradas de ferro e à indústria naval.

No século XX, a tecnologia da automação passou a contar com computadores, servomecanismos e controladores programáveis. Os computadores são o alicerce de toda a tecnologia da automação contemporânea.

Encontramos exemplos de sua aplicação praticamente em todas as áreas do conhecimento e da atividade humana, por exemplo, ao entrarmos num banco para retirar um simples extrato somos obrigados a interagir com um computador. Passamos o cartão magnético, informamos nossa senha e em poucos segundos obtemos a movimentação

bancária impressa.



**Fig.1.3.**  
**Aplicação do computador**

A origem do computador está relacionada à necessidade de automatizar cálculos, evidenciada inicialmente no uso de ábacos pelos babilônios, entre 2000 e 3000 a.C.

O marco seguinte foi à invenção da régua de cálculo e, posteriormente, da máquina-aritmética, que efetuava soma e subtração por transmissões de engrenagens. George Boole desenvolveu a álgebra booleana, que contém os princípios binários, posteriormente aplicados às operações internas de computadores.

Em 1880, Herman Hollerith criou um novo método, baseado na utilização de cartões perfurados, para automatizar algumas tarefas de tabulação do censo norte-americano. Os resultados do censo, que antes demoravam mais de dez anos para serem tabulados, foram obtidos em apenas seis semanas. O êxito intensificou o uso desta máquina que, por sua vez, norteou a criação da máquina IBM, bastante parecida com o computador.

Em 1946, foi desenvolvido o primeiro computador de grande porte, completamente eletrônico o Eniac, como foi chamado, ocupava mais de 180 m<sup>2</sup> e pesava 30 toneladas. Funcionava com válvulas e relês que consumiam 150.000 watts de potência para realizar cerca de 5.000 cálculos aritméticos por segundo: Esta invenção caracterizou o que seria a primeira geração de computadores que utilizava tecnologia de válvulas eletrônicas.

A segunda geração de computadores é marcada pelo uso de transistores (1952). Estes componentes não precisam aquecer-se para funcionar, consomem menos energia e são mais confiáveis. Seu tamanho era cem vezes menor que o de uma válvula, permitindo que os computadores ocupassem muito menos espaço.

Com o desenvolvimento tecnológico, foi possível colocar milhares de transistores numa pastilha de silício de 1 cm<sup>2</sup>, o que resultou no circuito integrado (CI): Os CIs deram origem à terceira geração de computadores, com redução significativa de tamanho e aumento da capacidade de processamento.

Em 1975, surgiram os circuitos integrados em escala muito grande (VLSI): Os chamados chips constituíram a quarta geração de computadores. Foram então criados os computadores pessoais, de tamanho reduzido e baixo custo de fabricação. Para se ter idéia do nível de desenvolvimento desses computadores nos últimos quarenta anos, enquanto o Eniac fazia apenas 5 mil cálculos por segundo, um chip atual faz 50 milhões de cálculos no mesmo tempo.

Voltando a 1948, o americano John T Parsons desenvolveu um método de emprego de cartões perfurados com informações para controlar os movimentos de uma máquina-ferramenta.

Demonstrado o invento, a Força Aérea patrocinou uma série de projetos de pesquisa,

coordenados pelo laboratório de servomecanismos do Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Poucos anos depois, o MIT desenvolveu um protótipo de uma fresa com três eixos dotados de servomecanismos de posição.

A partir desta época, fabricantes de máquinas-ferramenta começaram a desenvolver projetos particulares.

Essa atividade deu origem ao comando numérico, que implementou uma forma programável de automação com processo controlado por números, letras ou símbolos.

Com esse equipamento, o MIT desenvolveu uma linguagem de programação que auxilia a entrada de comandos de trajetórias de ferramentas na máquina. Trata-se da linguagem APT (do inglês, *Automatically Programmed Tools*, ou “Ferramentas Programadas Automaticamente”).

Os robôs (do tcheco *robota*, que significa "escravo, trabalho forçado") substituíram a mão-de-obra no transporte de materiais e em atividades perigosas. O robô programável foi projetado em 1954 pelo americano George Devol, que mais tarde fundou a fábrica de robôs Unimation. Poucos anos depois, a GM instalou robôs em sua linha de produção para soldagem de carrocerias.

Ainda nos anos 50, surge a idéia da computação gráfica interativa: forma de entrada de dados por meio de símbolos gráficos com respostas em tempo real. O MIT produziu figuras simples por meio da interface de tubo de raios catódicos (idêntico ao tubo de imagem de um televisor) com um computador. Em 1959, a GM começou a explorar a computação gráfica.

A década de 1960 foi o período mais crítico das pesquisas na área de computação gráfica interativa. Na época, o grande passo da pesquisa foi o desenvolvimento do sistema *sketchpad*, que tornou possível criar desenhos e alterações de objetos de maneira interativa, num tubo de raios catódicos.

No inicio dos anos 60, o termo CAD (do inglês *Computer Aided Design* ou "Projeto Auxiliado por Computador") começou a ser utilizado para indicar os sistemas gráficos orientados para projetos.

Nos anos 70, as pesquisas desenvolvidas na década anterior começaram a dar frutos. Os setores governamentais e industriais passaram a reconhecer a importância da computação gráfica como forma de aumentar a produtividade.

Na década de 1980, as pesquisas visaram à integração e/ou automatização dos diversos elementos de projeto e manufatura. Com o objetivo de criar a fábrica do futuro, o foco das pesquisas foi expandir os sistemas CAD/CAM (Projeto e Manufatura Auxiliado por Computador). Desenvolveu-se também o modelamento geométrico tridimensional com mais aplicações de engenharia (CAE - Engenharia Auxiliada por Computador). Alguns exemplos dessas aplicações são a análise e simulação de mecanismos, o projeto análise de injeção de moldes e a aplicação do método dos elementos finitos.

Hoje, os conceitos de integração total do ambiente produtivo com o uso dos sistemas de comunicação de dados e novas técnicas de gerenciamento estão se disseminando rapidamente, já sendo uma realidade o CIM (Manufatura Integrada por Computador).

#### **1.4 Tipos de Automação**

Embora a automação industrial tenha sido desencadeada, fundamentalmente, pela necessidade de melhorar os níveis de produtividade, as alterações do tipo de mercado têm feito evoluir o conceito de automação. Quando o mercado era caracterizado pela abundância de produtos iguais e duradouros, em que a economia de escala dominava a

cena industrial, a automação era fixa, isto é, a seqüência de operações no sistema era fixada pela configuração do equipamento projetado para um determinado produto. Embora com taxas altas de produtividade, essas alterações exigiam operações complexas, demoradas e dispendiosas.

Com o aparecimento de um mercado caracterizado pela diversidade de produtos com vida útil reduzida, o sistema produtivo, para dar resposta, teve de se flexibilizar, sem, contudo pôr em causa os níveis médios de produtividade. Assim, a seqüência de operações passa a ser controlada por um programa (listagem de instruções), permitindo a flexibilização do processo automático de produção. Esta mudança provocou alterações ao nível da tecnologia utilizada nos dispositivos de controle.

A evolução tecnológica tem vindo a permitir a implementação de novos sistemas de automação que acompanham as novas concepções das linhas de produção. Podemos distinguir genericamente os seguintes tipos de automação:

- Automação fixa;
- Automação programada;
- Automação flexível.

Vamos seguidamente caracterizar de uma forma resumida cada um destes tipos de automação.

#### **1.4.1 Automação Fixa**

Este tipo de automação é caracterizado pela rigidez da configuração do equipamento. Uma vez projetada uma determinada configuração de controle, não é possível alterá-la posteriormente sem realizar um novo projeto.

As operações a realizar são em geral simples e a complexidade do sistema tem, sobretudo a ver com a integração de um elevado número de operações a realizar. Os aspectos típicos da automação fixa são:

- Investimentos iniciais elevados em equipamentos específicos;
- Elevadas taxas de produção;
- Impossibilidade em geral de prever alterações nos produtos;

Este tipo de automação justifica-se do ponto de vista econômico quando se pretende realizar uma elevada produção. Como exemplos de sistemas deste tipo, podemos citar as primeiras linhas de montagem de automóveis nos Estados Unidos. (Ex: linha de produção do Ford T, 1913).

#### **1.4.2 Automação Programável**

Neste caso, o equipamento é montado com a capacidade de se ajustar a alterações da seqüência de produção quando se pretende alterar o produto final. A seqüência de operações é controlada por um programa. Assim, para cada novo produto terá que ser realizado um novo programa. Os aspectos típicos da automação programável são:

- Elevado investimento em equipamento genérico,
- Taxas de produção inferiores à automação fixa,
- Flexibilidade para alterações na configuração da produção,
- Bastante adequada para produção por lotes (“batch processing”).

No final da produção de um lote, o sistema é reprogramado. Os elementos físicos envolvidos como, por exemplo, ferramentas de corte e parâmetros de trabalho das máquinas ferramentas, devem ser reajustados. O tempo despendido na produção de um

lote deve incluir o tempo dedicado aos ajustamentos iniciais e o tempo de produção do lote propriamente dito.

Podem-se referir como exemplos de sistemas de automação programável as máquinas de Comando Numérico (“CNC – *Computer Numeric Control*”) com início de atividade em 1952 e as primeiras aplicações de robôs industriais em 1961. (Ver Fig.1.4).



**Fig.1.4**  
**Exemplo de aplicação industrial de um robô: alimentação de peças de uma máquina-ferramenta. (Fonte: Eshed Robotec).**

#### **1.4.3 Automação Flexível**

É uma extensão da automação programável. A definição exata desta forma de automação está ainda em evolução, pois os níveis de decisão que envolve podem neste momento incluir toda a organização geral da produção. Um sistema flexível de produção é capaz de produzir uma determinada variedade de produtos sem perda significativa de tempo de produção para ajustamentos entre tipos diferentes. Assim, o sistema pode produzir várias combinações de produtos sem necessidade de os organizar em lotes separados.

Os aspectos típicos da automação flexível são:

- Elevados investimentos no sistema global;
- Produção contínua de misturas variáveis de produtos;
- Taxas de produção média;
- Flexibilidade de ajustamento às variações no tipo dos produtos;

Os aspectos essenciais que distinguem a automação flexível da programável são:

- Capacidade de ajustamento dos programas a diferentes produtos sem perda de tempo de produção;
- Capacidade de ajustamento dos elementos físicos da produção sem perda de tempo de produção;



**Fig.1.5.**  
**Exemplo de um sistema automático flexível controlado por computador. (Fonte: Eshed Robotec).**

As alterações dos programas são feitas normalmente “off-line” num nível hierárquico superior, sendo transmitidas ao computador do processo via ligação em rede.

A evolução previsível da automação flexível no futuro próximo será função dos desenvolvimentos que se vierem a dar nas seguintes áreas:

- Desenvolvimento de computadores cada vez mais rápidos e em comunicação com todos os sistemas envolvidos na produção, através de redes industriais (Ex: redes Ethernet, Telway, PROFIBUS, etc).
- Desenvolvimento de programas “inteligentes” (“Expert Systems”),
- Desenvolvimentos nos campos da robótica e da visão artificial,
- Desenvolvimento nos veículos guiados automaticamente (AGV's).

## 2 CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIALIS

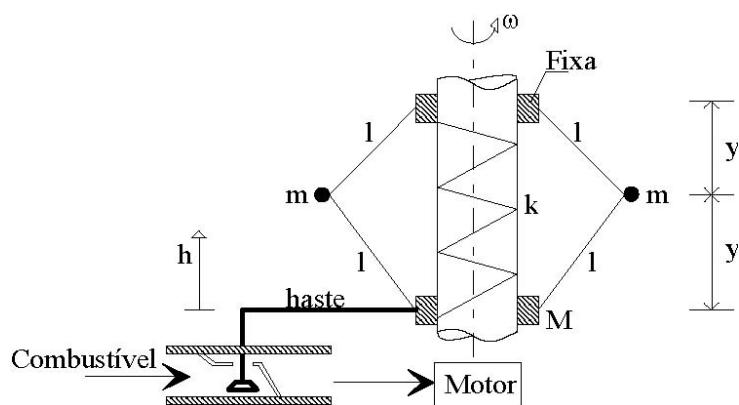
### 2.1. Considerações gerais

A regulação e o controle automático de sistemas industriais desempenha um papel de vital importância no desenvolvimento da ciência e da engenharia. Para além de possuir uma importância fundamental nos sistemas de pilotagem de navios, aviões, mísseis, veículos espaciais, etc. passou a tornar-se uma parte integrante do funcionamento de

processos industriais típicos (manufatura, produção de energia, produtos químicos, transportes, instalações de frio e ar condicionado, etc.). O controle automático é essencial, por exemplo, em operações industriais que envolvem o controle de posição, velocidade, pressão, vazão, temperatura, umidade, viscosidade, etc. Neste capítulo, vamos apresentar os conceitos básicos relativos à teoria do controle automático, bem como as principais estruturas utilizadas no controle de processos industriais. Por fim, faremos uma breve descrição do tipo de controladores ou reguladores mais utilizados na indústria, bem como as suas principais características e formas de ajuste dos respectivos parâmetros.

### 2.1.1 Perspectiva Histórica

Embora desde sempre o homem tenha tentado controlar os fenômenos naturais em seu próprio proveito, a primeira tentativa séria e que historicamente é considerada como um dos primeiros trabalhos significativos na área de controle automático, foi efetuado pelo investigador James Watt, que construiu um regulador centrífugo para efetuar o controle de velocidade de uma máquina a vapor (Inglaterra, séc. XVIII). Dado o seu interesse histórico, apresenta-se na Fig.2.1, o esquema de um regulador de velocidade de um motor Diesel, baseado no princípio inventado por James Watt.



**Fig.2.1.**

**Esquema básico do regulador de Watt aplicado à regulação de velocidade de motor Diesel.**

No esquema da Fig.2.1, podemos verificar que o veio do motor tem acoplado um sistema com duas massas ( $m$ ) que rodam com o veio à velocidade de rotação  $\omega$ . Assim, quando o motor aumenta de rotação, devido à ação centrífuga as massas tendem a afastar-se diminuindo o curso ( $y$ ), elevando assim a haste ( $h$ ) ligada à válvula de combustível. Deste modo, o caudal de combustível diminui o que faz baixar a velocidade de rotação do motor. Por conseguinte, as massas tendem a aproximar-se do veio, aumentando  $y$ , baixando  $h$  aumentando a velocidade do motor  $\omega$ . Este procedimento repete-se até se atingir uma situação de equilíbrio.

No século XX, foram iniciados de fato os estudos e as aplicações do controle automático à indústria. Assim, com o avanço da ciência e da tecnologia, foram dados os primeiros passos nas décadas de vinte e trinta, períodos nos quais foram efetuados importantes

desenvolvimentos. Durante a década de quarenta, foram dados novos e importantes passos nesta área. Deste modo, após a introdução do primeiro regulador pneumático PID<sup>1</sup> na indústria, os investigadores J. Ziegler e N. Nichols desenvolveram um método de ajuste ótimo destes reguladores, que ficou conhecido por "**Método de Ziegler-Nichols**". Este método permitiu resolver muito dos problemas de ajuste dos parâmetros de reguladores, através de uma metodologia relativamente simples e eficaz.



**Fig.2.2.**

- a)Aspecto de um regulador pneumático PID atual utilizado na indústria.  
b)Controlador eletrônico e sensores analógicos de diversos tipos.

Nos anos setenta e seguintes, devido às crescentes potencialidades dos computadores digitais para efetuar a manipulação de grandes volumes de dados e de efetuar cálculos complexos, estes passaram a ser progressivamente cada vez mais utilizados na construção de reguladores industriais, sensores transdutores, etc. Esta técnica, que recorre à utilização em larga escala de micro-computadores para efetuar a monitorização e o controle digital é conhecida por controle digital direto (**DDC - "Direct Digital Control"**). Neste tipo de controle, é utilizado um computador digital para efetuar o controle do processo em tempo real, de um ou mais processos, consoante o tipo e complexidade da aplicação industrial.

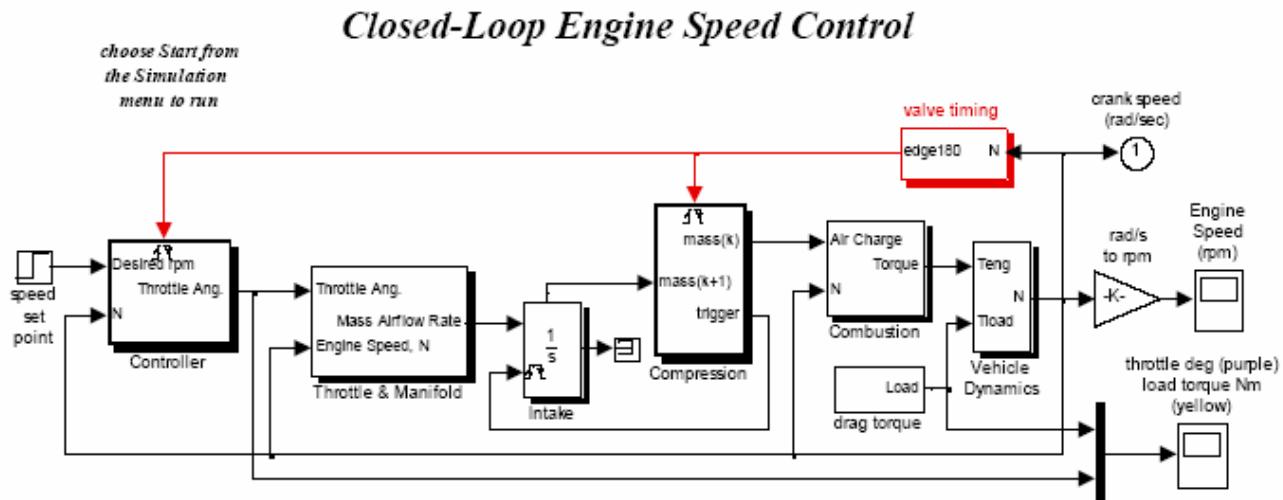
---

<sup>1</sup> Estes reguladores utilizam as 3 ações básicas de regulação: Proporcional (P), Integral (I) e Derivativa (D), relativamente ao erro. São também designados na indústria, por reguladores de três ações ("three-term-regulator").



**Fig.2.3.**  
**Aspecto de uma gama de reguladores industriais atuais baseados em microprocessador.**

Por fim, os métodos de estudo e análise de sistemas de controle contínuo e digital passaram a ficar extraordinariamente facilitados com o surgimento nos últimos anos de diversas ferramentas informatizadas cada vez mais poderosas, versáteis e com capacidades gráficas muito interessantes. Deste modo, o estudo de sistemas complexos, que através dos métodos tradicionais se revelava bastante complexo, passou a ser bastante acessível através do recurso às potencialidades destes programas<sup>2</sup>, de utilização cada vez mais generalizada no ensino das matérias de Controle Automático.



**Fig.2.4.**  
**Exemplo de um diagrama de simulação gráfico em MATLAB/SIMULINK**  
**NOTA: A figura representa o diagrama de blocos do sistema de controle em malha fechada de um motor de combustão interna.**

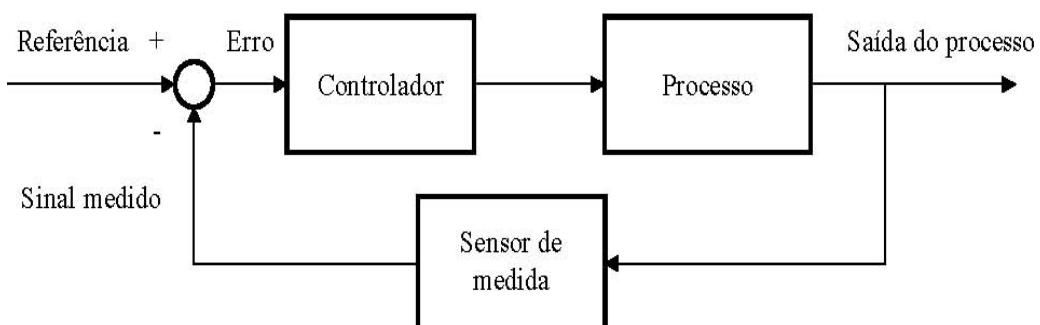
22 Estruturas básicas do Controle Automático

<sup>2</sup> Podemos destacar entre outros o MATLAB/SIMULINK (Mathworks, Inc.), MAPLE e MATHCAD.

### 2.2.1 Controle em Malha Fechada

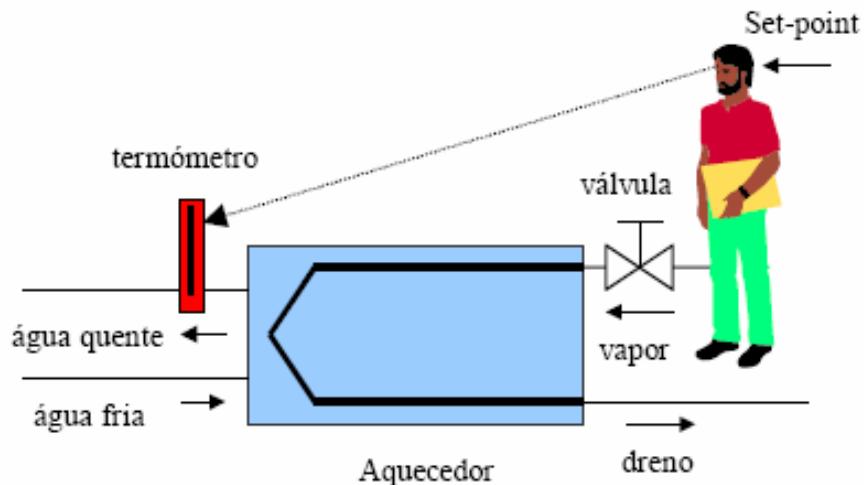
No sistema clássico de controle em malha fechada, que na sua forma mais usual é constituído por componentes contínuos ou analógicos, o sinal de saída possui um efeito direto na ação de controle, pelo que poderemos designá-los por sistemas de controle com realimentação ou retroação ("feedback"). Neste tipo de sistemas, o sinal de erro que corresponde à diferença entre os valores de referência e de realimentação (que pode ser o sinal de saída ou uma função do sinal de saída), é introduzido no controlador de modo a reduzir o erro e a manter a saída do sistema num determinado valor, pretendido pelo operador. Por outras palavras, o termo "**MALHA FECHADA**" implica necessariamente a existência de uma realimentação com o objetivo de reduzir o erro, e manter deste modo a saída do sistema num determinado valor desejado. A Fig.2.5 representa a relação entrada-saída de um sistema de controle típico em malha fechado. Esta representação gráfica é designada na literatura de Controle por "**DIAGRAMA DE BLOCOS**".

#### Ação de controle



**Fig.2.5.**  
**Diagrama de blocos de um sistema de controle em malha fechada.**

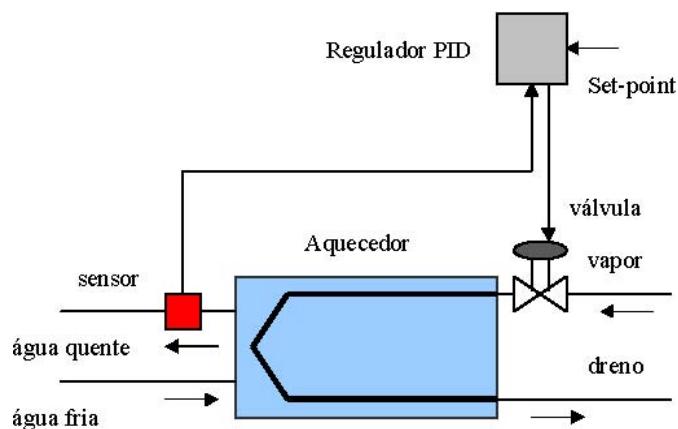
Para ilustrar o sistema de controle em malha fechada, vamos considerar o sistema térmico da Fig.2.6, na qual está representado um operador que desempenha a função de controlador. Este operador pretende manter constante a temperatura da água à saída de um permutador de calor. No coletor de saída, está montado um termômetro (elemento de medida) que mede a temperatura real da água quente (variável de saída do sistema). Deste modo, em função das indicações fornecidas pelo elemento de medida, o operador irá manipular a válvula de controle de vazão de vapor de aquecimento, de modo a manter a temperatura da água o mais próxima possível do valor desejado.



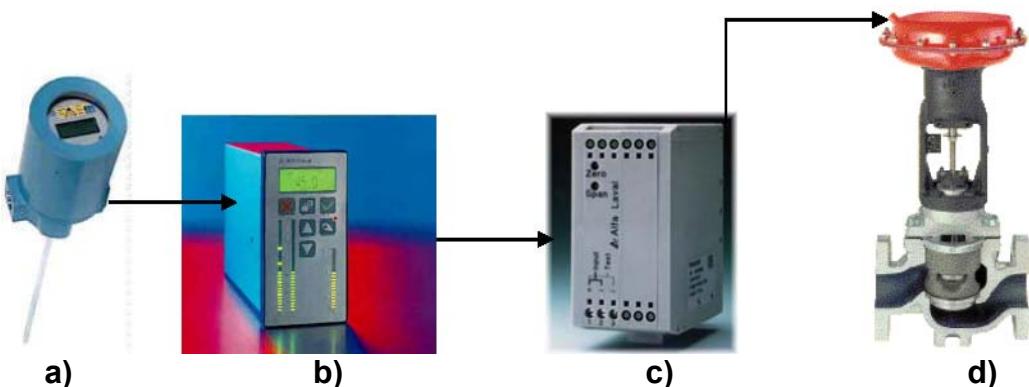
**Fig.2.6.**  
**Esquema de Controle Manual de um Sistema Térmico.**

Se em vez do operador, for utilizado um controlador automático, conforme apresentado na Fig.2.7, o sistema de controle passa a designar-se por automático. Neste caso, o operador seleciona a temperatura de referência (**"set-point"**) no controlador. A saída do processo (temperatura real da água quente à saída do permutador de calor), é medida pelo transdutor de temperatura, e comparada no controlador com a temperatura de referência de modo a gerar um sinal de erro. Tomando como base este sinal de erro, o controlador gera um sinal de comando para a válvula de regulação de vapor (atuador).<sup>3</sup> Este sinal de comando permite variar gradualmente a abertura da válvula, e, por conseguinte a vazão de vapor a admitir no permutador. Deste modo, é possível controlar automaticamente a temperatura da água à saída do permutador, sem que seja necessária a intervenção do operador.

<sup>3</sup> Sinal de controle -> o sinal de saída do regulador, é normalmente do tipo elétrico, pneumático ou hidráulico. É enviado para o atuador através de uma interface de potência (amplificador, conversor, corrente-pressão (I/P), etc.).



**Fig.2.7.**  
**Esquema do sistema de regulação automática de um sistema térmico.**



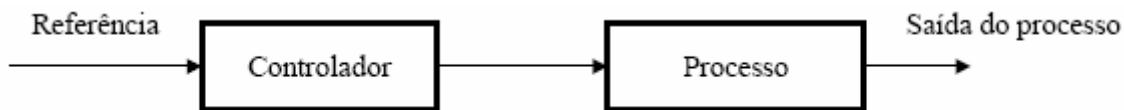
**Fig.2.8.**  
**Dispositivo de regulação de temperatura com componentes atuais.**

- a) Transdutor de temperatura.
- b) Controlador digital PID.
- c) Conversor corrente-pressão (Conversor I-P), que converte o sinal de controle de 4-20 mA para pressão (3-15 psi).
- d) Válvula de regulação com comando por ar comprimido (3-15 psi = 0.21-1.05 bar).

Como podemos verificar através das figuras anteriores, os dois sistemas funcionam de uma forma muito semelhante. Deste modo, os olhos do operador e o termômetro, constituem o dispositivo análogo ao sistema de medida de temperatura; o seu cérebro é análogo ao controlador automático, realiza a comparação entre os valores de temperatura desejada e medida, e gera o respectivo sinal de comando. Este sinal é veiculado pelos seus músculos que realizam a abertura ou fecho da válvula, os quais têm um papel análogo ao motor da válvula de regulação de vapor.

## 2.2.2 Controle em Malha Aberta

Neste tipo de sistemas de controle, a saída não exerce qualquer ação no sinal de controle. Deste modo, a saída do processo não é medida nem comparada com a saída de referência. A Fig.2.9 representa o diagrama de blocos de um sistema deste tipo.



**Fig.2.9.  
Diagrama de blocos de um sistema de controle em malha aberto.**

Como se pode observar na figura, neste tipo de controle, a saída não é comparada com a entrada de referência. Deste modo, para cada valor da saída irá corresponder uma condição de funcionamento fixa. No entanto, na presença de perturbações, o sistema não irá atingir os objetivos desejados. Na prática, o controle em malha ou malha aberto, somente deve ser utilizado em sistemas para os quais a relação entre a entrada e a saída seja bem conhecida, e que não tenham perturbações internas ou externas significativas.

### 2.2.3 Comparação entre os sistemas em malha fechada e aberta.

A vantagem dos sistemas de controle em malha fechada, relativamente aos de malha aberta, consiste no fato da realimentação, tornar a resposta do sistema relativamente insensível e perturbações externas e a variações internas dos parâmetros do sistema. Deste modo, é possível utilizar componentes mais baratos e de menor precisão, para obter o controle preciso de um dado processo. Esta característica é impossível de obter com um sistema em malha aberta. Do ponto de vista da estabilidade, os sistemas de controle em malha aberta são mais robustos, uma vez que a estabilidade não constitui um problema significativo. Nos sistemas de controle em malha fechada, a estabilidade constitui um problema de primordial importância, visto que o sistema pode tender a sobrepor erros, produzindo oscilações de amplitude constante ou variável. Assim, podemos concluir que:

*Os sistemas em que são conhecidas as variáveis de entrada antecipadamente no tempo, e nos quais não haja perturbações muito significativas, é aconselhável a utilização do controle em malha aberta. Para sistemas que estejam sujeitos a perturbações imprevisíveis e/ou variações não previstas nos componentes do sistema, deve-se utilizar o controle em malha fechada.*

Sempre que possível, é aconselhável utilizar uma combinação apropriada de controle em malha aberta e fechada, visto ser normalmente a solução mais econômica, e que fornece um desempenho global do sistema mais satisfatório.

**NOTA:** O conceito de controlador ou regulador é aplicado nestes apontamentos de forma indistinta. No entanto, existem diferenças entre as duas designações. Assim, tem-se:

**Regulador:** dispositivo de controle utilizado preferencialmente quando se pretende manter fixa a referência  $r(t)$  e controlar as perturbações na saída  $c(t)$ . É o caso usual do controle de processos utilizados na indústria (pressão, temperatura, vazão, nível, etc.). Exemplo: Pretende-se manter constante a temperatura da água à saída de um permutador, independentemente da vazão de passagem e da temperatura da água à entrada.

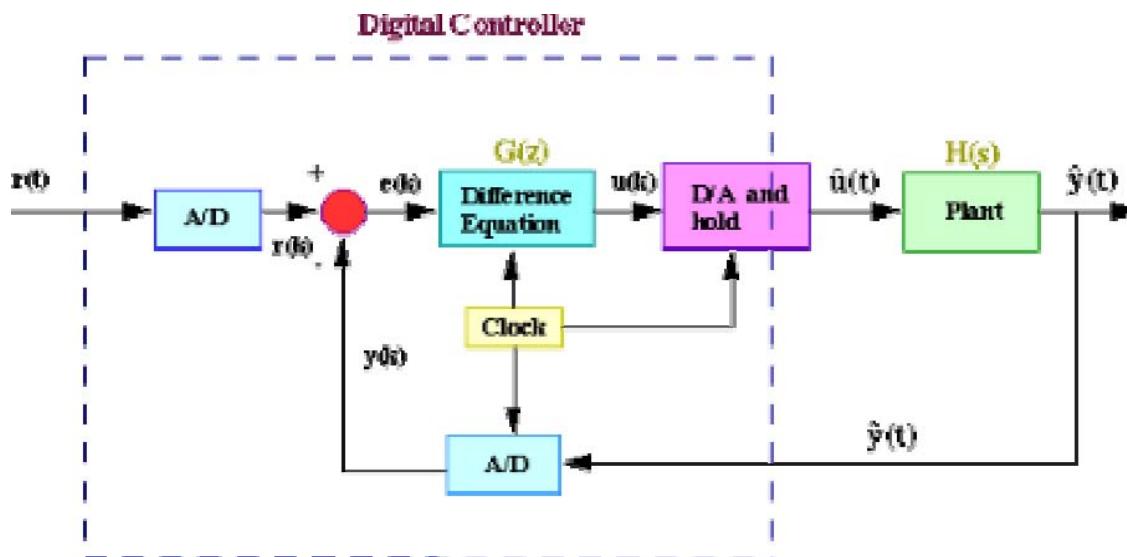
**Controlador:** dispositivo de controle utilizado preferencialmente quando se pretende que a saída  $c(t)$  acompanhe uma referência variável no tempo  $r(t)$  para além de efetuar também o controle das perturbações na saída. Um exemplo típico deste dispositivo de controle designa-se por servomecanismo, sendo muito utilizado em sistemas de controle de posição e velocidade.

Exemplo:

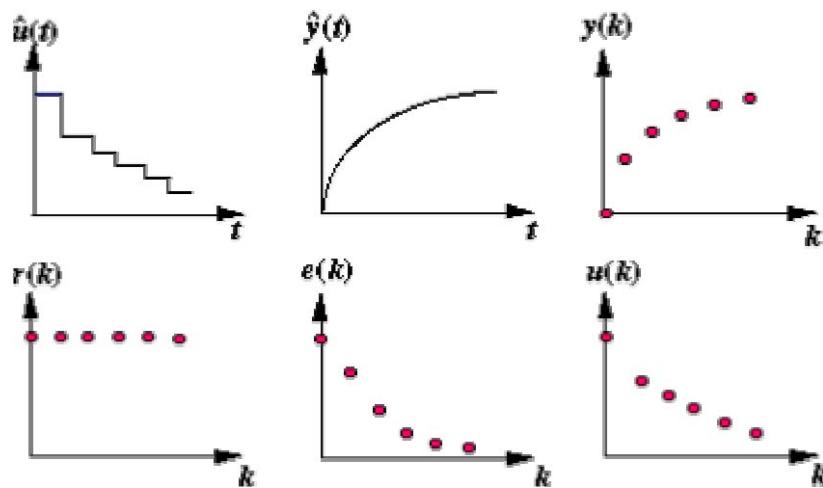
- 1) Controle do ângulo de leme de um navio. Neste caso pretende-se que o leme rode de um ângulo igual ao da referência de ângulo de leme.
- 2) Controle de velocidade de um motor Diesel de navio.

### 2.3. Controle Digital

Conforme já foi referido anteriormente, com o avanço cada vez maior da tecnologia dos microprocessadores, o regulador clássico (contínuos ou analógicos) apresentado no ponto anterior, têm vindo progressivamente a ser substituído por controladores ou reguladores digitais, baseados em microprocessador. Assim, no sistema de controle contínuo representado na Fig.2.5, pode-se substituir o controlador analógico por um controlador digital. As diferenças básicas entre estes dois controladores residem no fato de o sistema digital funcionar com sinais discretos (ou amostras do sinal contínuo medido pelo transdutor de medida), em vez dos sinais contínuos utilizados no controlador analógico. (Os diversos tipos de sinais no esquema da Fig. 2.10, estão representados na Fig.2.11).



**Fig.2.10.**  
Diagrama de blocos do esquema de controle digital em malha fechada.

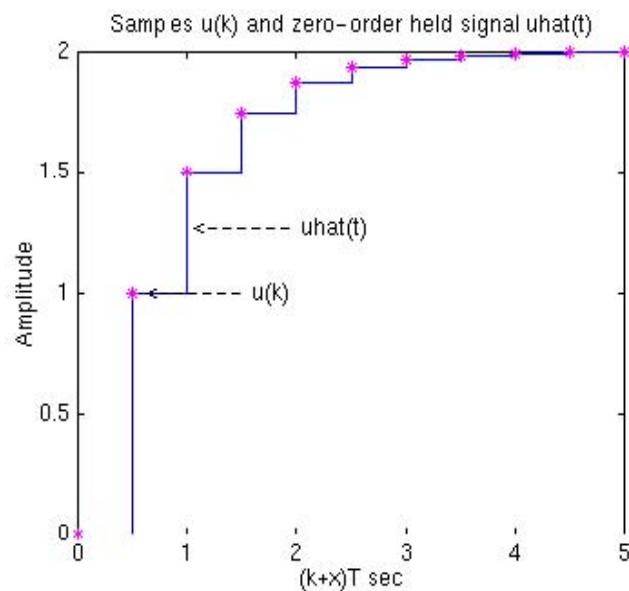


**Fig.2.11.**

#### Evolução temporal dos sinais num malha de controle digital.

No diagrama do sistema de controle digital da Fig. (2.10), podemos ver que este contém elementos analógicos e digitais. Deste modo, o relógio (**clock**) ligado aos conversores A/D e D/A (**D/A e A/D converters**) fornece um pulso para cada  $T$  segundos. Os conversores D/A e A/D enviam apenas os respectivos sinais quando chega o sinal pulsado de relógio. O objetivo desta ação, é o de fazer com que o processo ("Plant") receba apenas amostras do sinal de entrada  $u(k)$  e envie apenas sinais de saída  $y(k)$  sincronizados com o sinal de relógio.

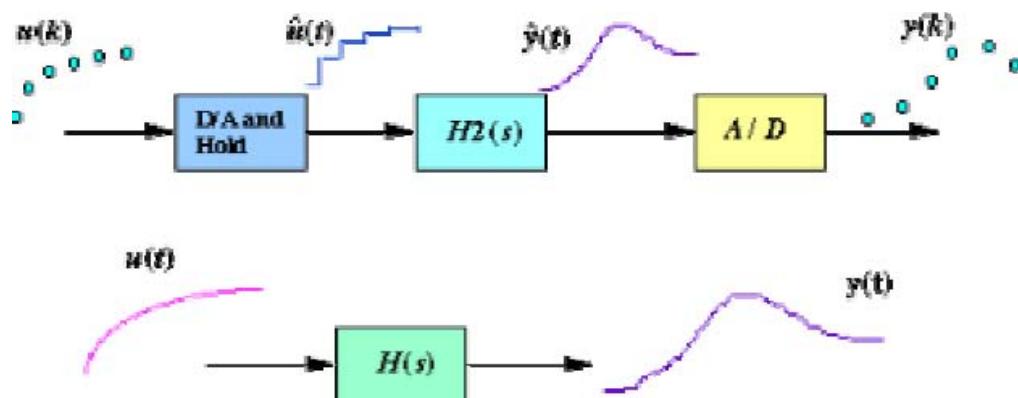
Deste modo, é necessário manter constante o sinal de entrada  $u(k)$  durante o intervalo de amostragem. Assim, vamos supor que o sinal  $u(k)$  representa a amostra do sinal de entrada. Existem técnicas que permitem obter a amostra  $u(k)$  e manter ou reter (**hold**) o sinal de modo a produzir um sinal contínuo  $\hat{u}(t)$ . O gráfico da Fig.2.12 mostra que o sinal  $\hat{u}(t)$  é mantido constante para  $u(k)$  no intervalo  $[kT ; (k+1)T]$ . Esta operação de retenção de  $\hat{u}(t)$  constante durante o intervalo de amostragem é designada por "retenção de ordem zero" ou "**zero-order hold**".



**Fig.2.12.**

**Resposta de um sinal com retentor de ordem zero ("zoh -> zero order hold").**

O sinal  $\hat{u}(t)$  tratado pelo retentor de ordem zero é introduzido em  $H_2(s)$  de modo a produzir a saída do processo  $y(t)$ . Este sinal é depois amostrado pelo conversor A/D de modo a poder-se obter o sinal  $y(k)$  que irá ser igual à amostra do sinal contínuo  $y(t)$ . Esta operação é equivalente a introduzir o sinal  $u(t)$  em  $H(s)$  de modo a obter o sinal contínuo de saída do processo  $y(t)$ .

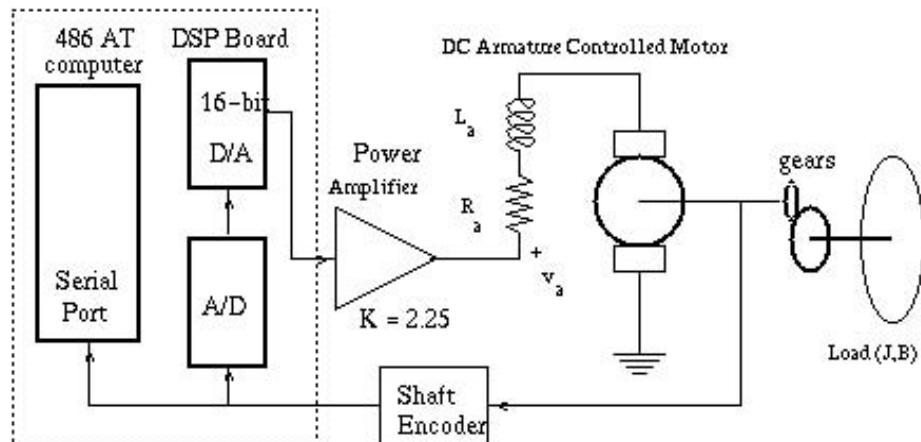


**Fig.2.13.**

**Evolução dos sinais num sistema digital (em cima) e contínuo analógico (em baixo).**

**Exemplo de sistema de controle digital (posição angular do veio de um motor).**

Na Fig.2.14 nós podemos observar um sistema de regulação digital da posição do veio de um motor elétrico, através de micro-computador contendo um processador digital de sinal (“*DSP - Digital Signal Processor*”), de modo a poder realizar um elevado volume de cálculos sem necessitar de utilizar o microprocessador do computador. O elemento de medida de posição fornece um sinal analógico que é seguidamente convertido num sinal digital através de um conversor A/D, de modo a poder ser efetuada a lei de controle. Note que o sinal do *encoder* é também enviado para o PC via porta serial a fim de poder ser recolhida a posição angular do veio do motor. Na placa de DSP, são efetuados os cálculos do algoritmo de controle (PID ou outro...), obtendo-se um sinal de controle digital, que terá de ser convertido para um sinal analógico através de um conversor D/A. Neste caso, o atuador é constituído por um amplificador de potência de modo a poder atuar o motor. Assim, o computador e placa dedicada de DSP funcionam como um regulador digital de posição (servomecanismo), realizando a ação de controle através de um programa escrito numa linguagem de alto nível (**Basic, Fortran, C, C++, Visual Basic, etc...**).



**Fig.2.14.**  
**Sistema de regulação digital de posição de um motor elétrico.**

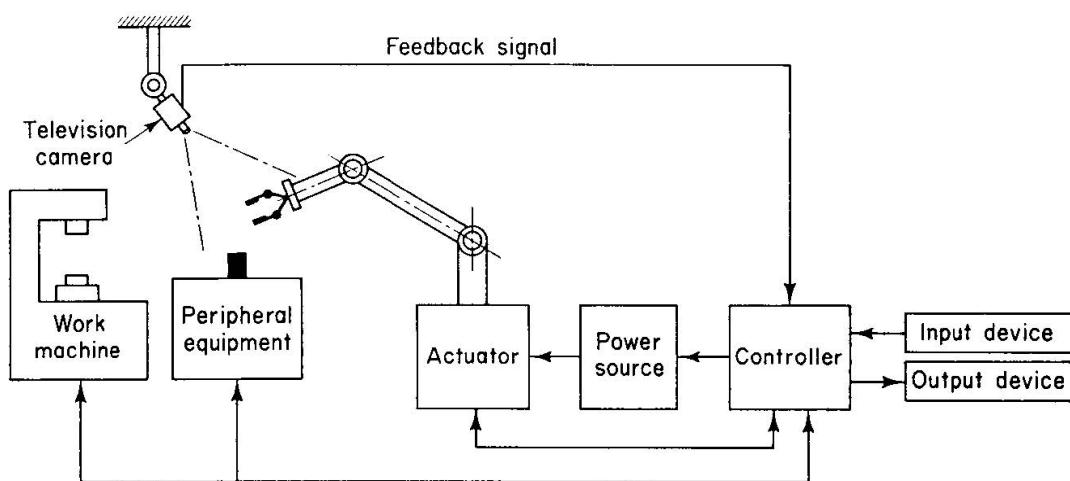
## 2.4 Exemplos de Sistemas de Controle e Regulação Industrial

**Robôs manipuladores** -Os manipuladores mecânicos (robôs), são usados freqüentemente na indústria para aumentar a produtividade. Os robôs podem realizar trabalhos monótonos e complexos, sem produzirem erros durante o funcionamento. Para, além disso, podem operar em ambientes intoleráveis para os seres humanos.



**Fig.2.15a.**

**Sistema robótico, com utilização de câmera de vídeo para a detecção de objetos, a sua posição e orientação.**



**Fig.2.15b.**  
**Diagrama de Blocos do Sistema com Visão**

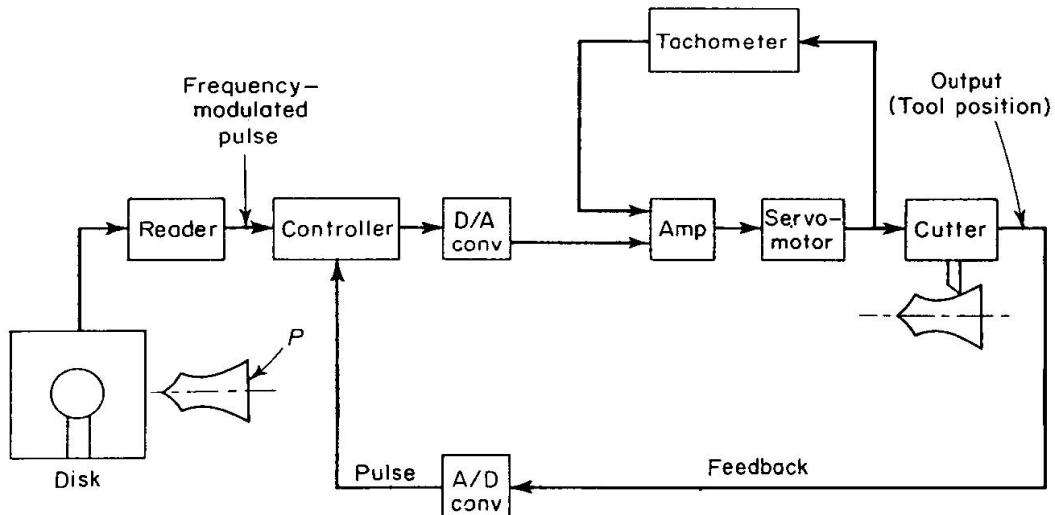
O Robô Industrial é constituído por uma parte mecânica, construída das mais diversas formas e geometrias. No entanto, deve possuir pelo menos um ombro, um braço e um

punho, e desenvolver a potência suficiente para manipular as peças durante o ciclo de trabalho. Deve possuir também uma série de sensores (posição, velocidade, força, etc..), que são instalados nas diversas partes da estrutura mecânica. Num robô de elevada qualidade, pode ser também instalado um sistema de visão artificial (Ex: câmera de vídeo), para detectar a presença de um objeto a manipular, a sua localização e a respectiva orientação. O sistema de controle do Robô (computador digital), efetua a operação de manipulação do objeto, de acordo com o programa especificado pelo utilizador.

**Máquina-ferramenta com comando CNC** - Na Fig.2.16, podemos observar uma Máquina-ferramenta com controle numérico (CNC – *Computer Numeric Control*), para a usinagem de peças com perfis complexos (Ex: rotor de um compressor centrífugo). Neste caso, as coordenadas da peça, são introduzidas através de uma disquete, e o controlador digital envia os respectivos sinais de controle para o sistema de maquinção de modo a reproduzir a peça. A realimentação do sistema (*feedback*), garante que o perfil da peça irá ser executado com a precisão desejada.

**Controle de processos industriais** – É o caso mais usual de aplicação de sistemas de controle, quer na indústria em geral, quer no caso de instalações marítimas em particular. A título de exemplo, podem-se referir os seguintes casos:

- i) Controle de temperatura de um trocador de calor;
- ii) Controle de nível de uma caldeira;
- iii) Controle de velocidade de uma turbina a vapor;
- iv) Controle de pressão de vapor numa tubulação;
- v) Controle do ângulo de leme de um navio (piloto automático).



**Fig.2.16.**  
**Sistema CNC de uma máquina-ferramenta.**

## 2.5 Controladores Automáticos Industriais

### 2.5.1 Introdução

Um controlador automático tem como função produzir um sinal de controle que anule o erro (desvio), ou o reduza a um valor muito pequeno. O controlador compara o valor real da saída do processo com o valor desejado (*set-point*), determina o erro ou desvio, e produz o respectivo sinal de comando para o atuador. Os controladores podem ser classificados de acordo com o tipo de tecnologia utilizada na sua construção. Deste modo, poderemos ter:

- **Controladores pneumáticos**
- **Controladores hidráulicos**
- **Controladores eletrônicos (análogicos e digitais)**

A seleção do tipo de controlador deverá ser estudada caso a caso, visto que irá depender da natureza do processo, energia disponível, condições de segurança, custo, precisão, confiabilidade, peso e dimensões do equipamento.

### 2.5.2 Ações de Controle Básicas

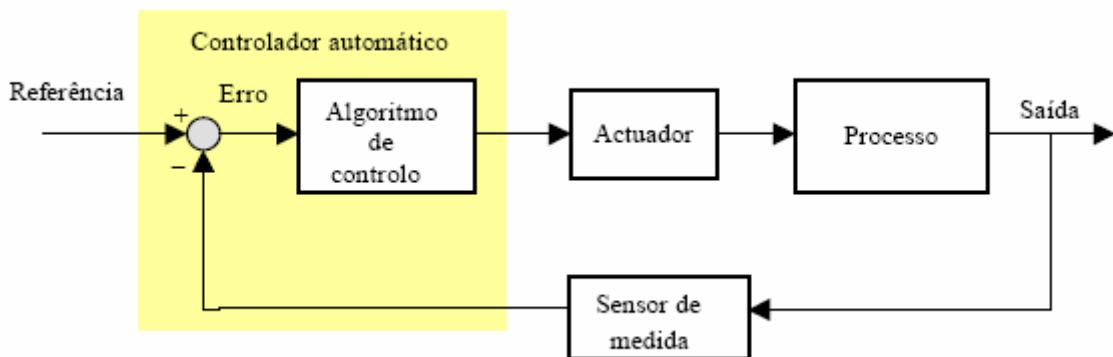
A realização do sinal de comando pelo controlador, pode ser obtida de diversas formas, designadas por "**ações de controle ou de regulação**", o que nos permite classificar os controladores da seguinte forma:

- **Controladores de duas posições (ON-OFF)**
- **Controladores Proporcionais (P)**
- **Controladores do tipo Integral (I)**
- **Controladores do tipo Proporcional +Integral (P +I)**
- **Controladores do tipo Proporcional +Derivativo (P +D)**
- **Controladores do tipo Proporcional +Integral +Derivativo (P +I +D)**

O controlador executa diversas funções que poderemos descrever da seguinte forma: em primeiro lugar é detectado o sinal de erro, normalmente de baixo nível de potência, pelo que o controlador deve possuir um órgão que permita amplificá-lo a um nível suficiente elevado.

A saída de um controlador é ligada a um dispositivo de potência, como por exemplo, uma válvula pneumática, motor hidráulico ou elétrico.

Na Fig.2.17 podemos observar um diagrama de blocos de um controlador industrial, bem como o elemento de medida (sensor). O controlador é formado por um detector de erro (ponto de soma) e um algoritmo de controle + amplificador. O elemento de medida converte a variável de saída em uma outra variável, como seja um deslocamento, pressão ou sinal elétrico que é utilizado para comparar a saída em relação ao sinal de entrada de referência. Este elemento constitui o ramo de realimentação do sistema em anel fechado. O ponto de ajuste do controlador deve ser convertido numa entrada de referência com as mesmas unidades do sinal de realimentação do elemento de medida. O amplificador tem como função amplificar a potência do sinal de saída do controlador, de modo a poder operar o atuador. O atuador tem como função alterar a entrada do processo de acordo com o sinal de controle, de modo a que a saída do processo seja igual ou o mais próximo possível do valor de referência (*set-point*).



**Fig.2.17.**  
**Diagrama de blocos de um sistema de controle automático.**

#### 2.5.2.1 Ação de Controle de duas posições (ON-OFF)

Este sistema de controle apresenta a vantagem de ser simples e barato, o que se traduz na sua grande aplicação, tanto em sistemas industriais como domésticos. Neste sistema, o elemento possui apenas duas posições fixas, que são a de ligado ou desligado. Considerando o sinal de saída do controlador  $u(t)$  e o sinal de erro  $e(t)$ , num controle deste tipo, o sinal  $u(t)$  permanece ou num valor máximo ou num valor mínimo, dependendo do sinal de erro ser positivo ou negativo.

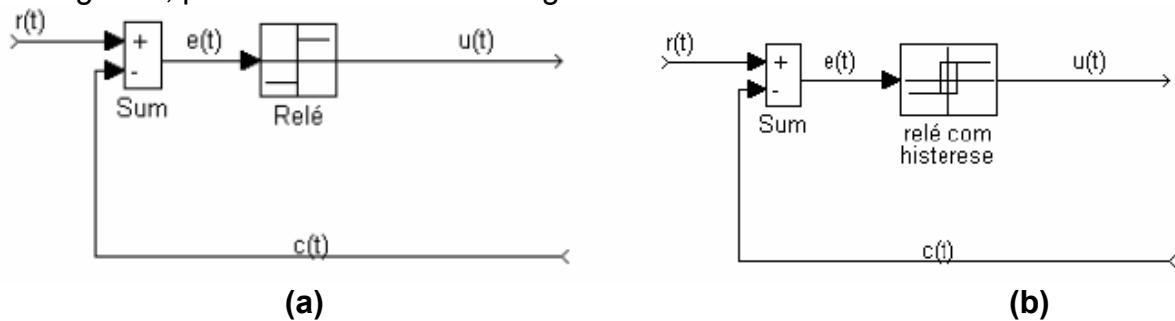
Assim:

$$u(t)=M_1 \text{ para } e(t)>0 \quad M_1, M_2 = \text{constantes}$$

$$u(t)=M_2 \text{ para } e(t)<0$$

O valor mínimo  $M_2$  é normalmente nulo ou  $-M_1$ . Os controladores deste tipo são geralmente dispositivos elétricos, onde é bastante utilizada uma válvula operada por um solenóide elétrico.

Podemos ter controladores proporcionais pneumáticos /eletrônicos funcionando como controladores de duas posições denominadas controladores de duas posições. Isto pode suceder, se tivermos um controlador proporcional funcionando com um ganho muito elevado. Na Fig.2.18, podemos observar os diagramas de blocos destes dois controladores.

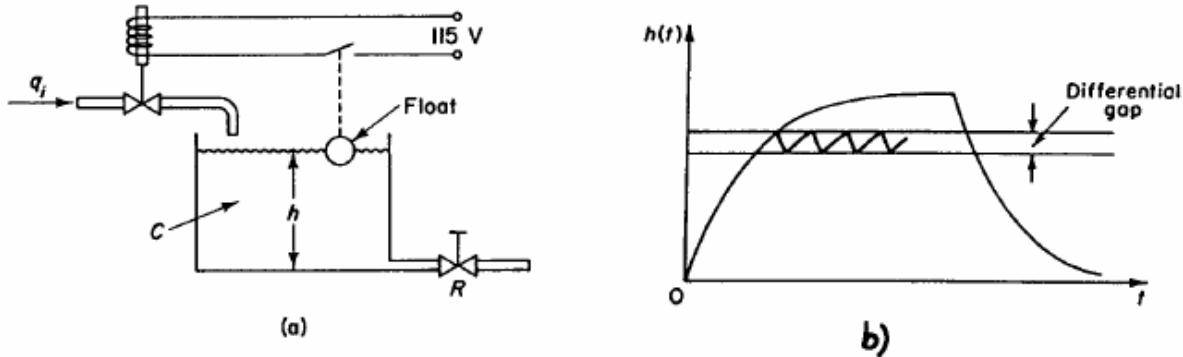


**Fig.2.18.**

- a) Diagrama de blocos de um controlador ON-OFF (liga-desliga);
- b) Diagrama de blocos de um Controlador “ON-OFF” com histerese diferencial.

Designa-se por "**intervalo diferencial**" ao intervalo através do qual o sinal de erro deve variar antes de ocorrer à comutação. Este intervalo diferencial faz com que a saída do controlador  $u(t)$ , mantenha o seu valor atual até que o sinal de erro se tenha alterado ligeiramente, para além do valor zero. Normalmente, este intervalo, é colocado intencionalmente de modo a evitar um funcionamento demasiado freqüente do sistema.

Considere-se o sistema de controle de nível de líquido indicado na Fig.2.19. Com o controle de duas posições, a válvula ou está aberta ou fechada o que implica que a vazão de entrada de água ou é positivo ou nulo. Conforme se pode ver na Fig.2.19, o sinal de saída varia continuamente entre os dois limites exigidos de modo a fazer com que o elemento se mova de uma posição fixa para outra. Nota-se que a curva do nível (saída) segue uma das duas curvas exponenciais, uma que corresponde à curva de enchimento e a outra à curva de esvaziamento. Esta oscilação da saída entre os dois limites é uma característica da resposta típica deste tipo de sistemas. Pode-se concluir através da análise da Fig.2.19, que a amplitude da oscilação de saída pode ser reduzida, se diminuirmos o intervalo diferencial. Esta ação tem como desvantagem o aumento do número de operações da válvula, reduzindo-se assim, a vida útil do atuador. O intervalo diferencial deve ser ajustado, tendo em consideração a precisão exigida e a vida útil do atuador.



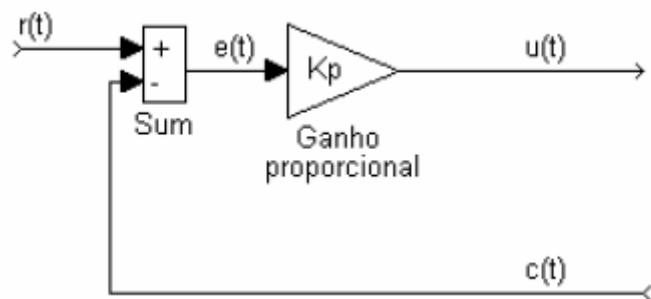
**Fig.2.19.**  
a) Sistema de controle de nível de líquido.  
b) Curva do nível  $h(t)$  em função do tempo.

### 2.5.2.3 Ação de Controle Proporcional (P)

Neste caso a relação entre a saída  $u(t)$  e o sinal de erro  $e(t)$ , é dada pela expressão:

$$u(t) = K_p e(t)$$

Em que  $K_p$  é designado por **sensibilidade ou ganho proporcional**. Um controlador deste tipo consiste basicamente de um amplificador de ganho ajustável. O diagrama de blocos deste controlador está indicado na Fig.2.20.



**Fig.2.20.**  
Diagrama de blocos de um controlador proporcional.

Em regulação industrial, é muitas vezes utilizada a **Banda Proporcional (B.P.)**, que é definida como o inverso de  $K_p$  em percentagem (%). Deste modo, a B.P (%) , pode ser definida da seguinte forma:

$$B.P. = \left( \frac{\text{Variação total da variável controlada}}{\text{Variação total da escala do transdutor}} \right) \times 100\%$$

O inverso da B.P. é obviamente o ganho proporcional (valor adimensional). Para tornarmos  $K_p$  dimensional, teremos que multiplicar  $K_p$  pelas escalas das variáveis de erro e de saída do controlador. Assim, tem-se:

$$K_p = \frac{1}{B.P.} \times \left( \frac{\text{Escala da variável de controlo}}{\text{Escala do transdutor}} \right)$$

O ganho proporcional  $K_p$  pode igualmente vir expresso em diversas unidades de que são exemplo as seguintes: psi /°C, V /mA, mA /V, etc.

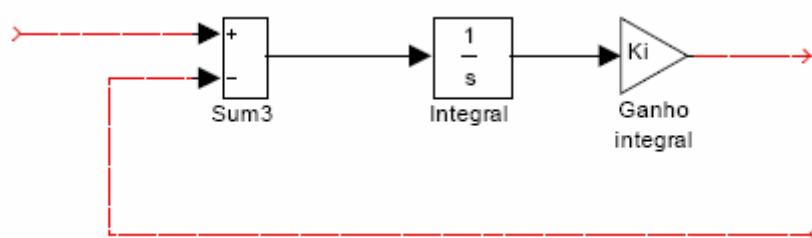
### 2.5.2.3 Ação de Controle Integral (I)

Na ação integral, o valor de saída  $u(t)$  varia com uma taxa proporcional ao sinal de erro  $e(t)$ .

Assim, teremos:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad \text{ou} \quad u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

Em que  $K_i$  é uma constante de ganho ajustável (**Ganho integral**). Se o valor de  $e(t)$  duplicar então  $u(t)$  irá variar duas vezes mais rapidamente. Para  $e(t)=0$ , o valor de  $u(t)$  irá manter-se num valor constante ou estacionário. O diagrama de blocos deste tipo de controlador está representado na Fig.2.21.



**Fig.2.21.**  
**Diagrama de blocos de um controlador integral.**

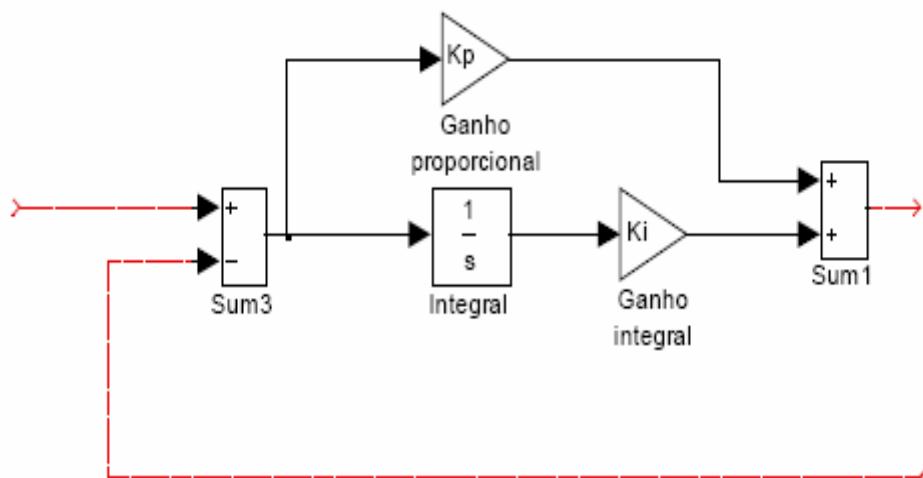
### 2.5.2.4 Ação de Controle Proporcional +Integral (PI)

Esta ação de controle é definida pela seguinte equação:

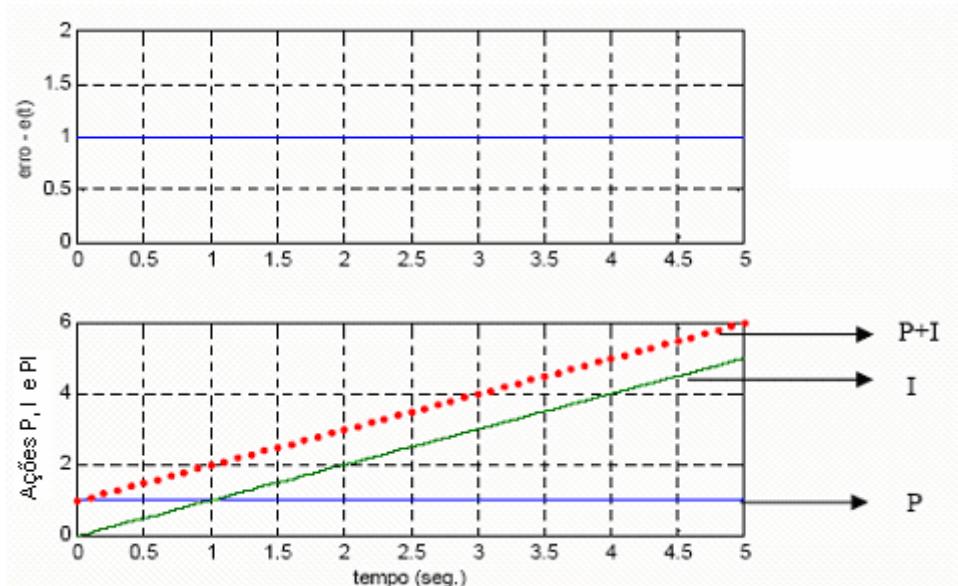
$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt$$

Em que  $K_p$  é a sensibilidade ou ganho proporcional e  $T_i$  é o tempo integral. Tanto  $K_p$  como  $T_i$  são ganhos ajustáveis.  $T_i$  tem como função ajustar a ação de controle integral, enquanto que  $K_p$  tem ação sobre a parte proporcional e também sobre a integral. O tempo integral, aparece em muitos controladores com a escala de **minutos por repetição (m.p.r)**. O inverso do tempo integral ou ganho integral  $K_i$ , designa-se por **taxa de restabelecimento ("reset time")**, ou seja, é o número de vezes por minuto que a ação proporcional duplica, sendo definida em termos de **repetições por minuto (r.p.m.)**. A Fig.2.22a representa o diagrama de blocos de um Controlador PI.

Se o sinal de erro  $e(t)$  for uma função degrau unitário, conforme representado na Fig.2.22b, então a saída  $u(t)$  será a indicada na Fig.2.22b.



**Fig.2.22a.**  
**Diagrama de Comando de um Controlador Proporcional+Integral(PI).**



**Fig.2.22b**  
Diagramas indicando a entrada degrau unitário  $e(t)$  e a saída do controlador  $u(t)$ .  
(NOTA:  $K_p = 1$ ;  $T_i = 1$  seg.).

#### 2.5.2.5 Ação de Controle Proporcional + Derivativa (PD)

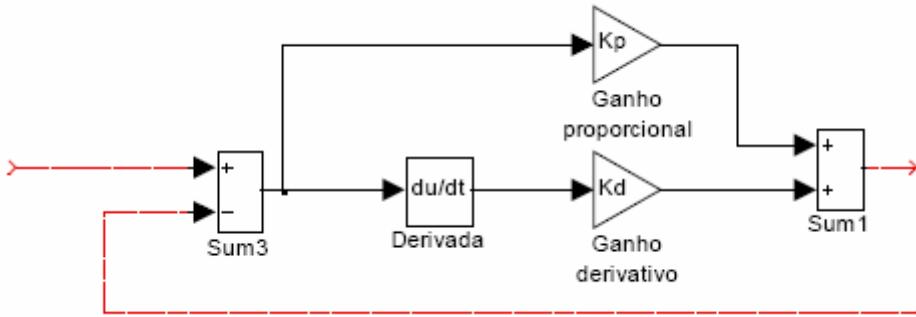
Esta ação de controle é definida pela seguinte equação:

$$u(t) = K_p \left( e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) = K_p e(t) + K_d \left( \frac{de(t)}{dt} \right)$$

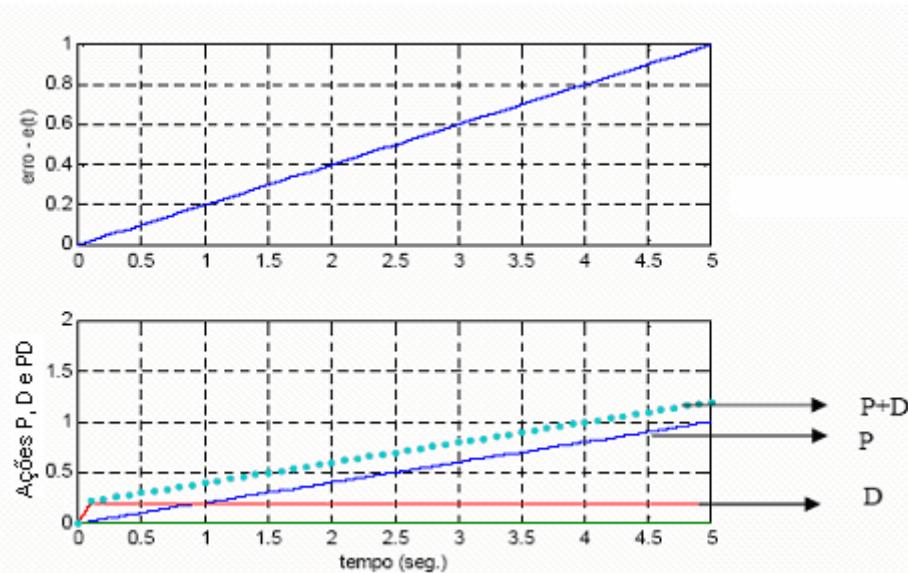
Em que  $Td$  é o tempo derivativo definido em segundos ou minutos. Tanto  $Kp$  como  $Td$  são grandezas ajustáveis. A ação de controle derivativa é proporcional à taxa de variação do sinal de erro. O tempo derivativo  $Td$  é o intervalo de tempo durante o qual a ação derivativa antecipa o valor da ação de controle proporcional.

A Fig.2.23 representa o diagrama de blocos de um controlador PD. Se  $e(t)$  é uma função rampa unitária, então a saída  $u(t)$  será a indicada no gráfico 1 da Fig.2.23b. Como se pode concluir da observação do gráfico 2 da Fig.2.23b, a ação de controle derivativa tem um caráter "**antecipatório**". Obviamente, a ação de controle derivativa nunca poderá antecipar uma ação que ainda não tenha ocorrido. Esta ação tem como desvantagem, amplificar os sinais de ruído e causar um efeito de saturação no atuador.

**NOTA IMPORTANTE:** A ação de controle derivativa **nunca deve ser utilizada isoladamente**, porque esta ação somente atua quando o erro varia no tempo, ou seja, durante os períodos transitórios.



**Fig.2.23a.**  
**Diagrama de Blocos de um Controlador Proporcional + Derivativo**



**Fig.2.23b.**  
**Diagramas indicando a entrada em rampa unitária e a saída do controlador.**  
**(NOTA:  $K_p = 1$  ;  $T_d = 1$  seg.).**

#### 2.5.2.6 Ação de Controle Proporcional + Integral + Derivativa (PID)

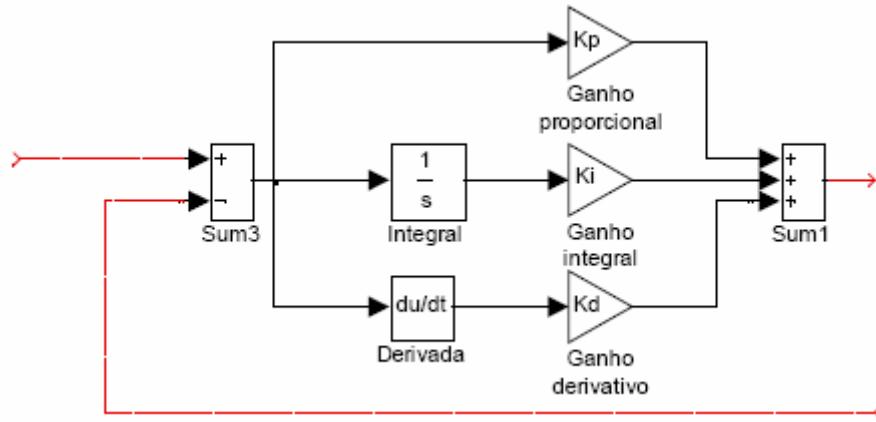
Esta ação resulta da combinação de três ações, que são: a proporcional, a derivativa e a integral (PID). A equação respeitante a esta ação mista, é dada por:

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \left( \frac{de(t)}{dt} \right)$$

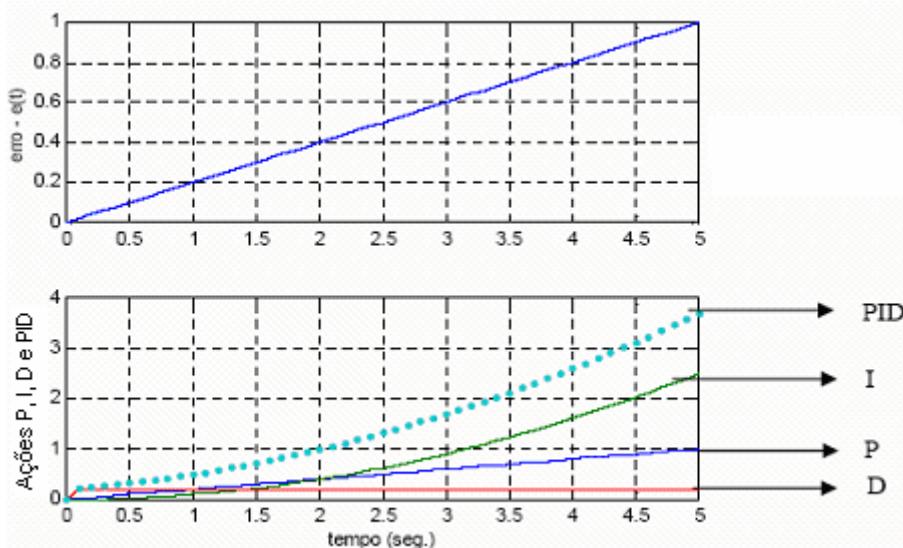
A equação anterior é também conhecida em controle industrial por **algoritmo ou equação ideal**.

O diagrama de blocos do algoritmo ideal pode ser observado na Fig.2.24a.

Se  $e(t)$  for uma função do tipo rampa unitária, então a saída  $u(t)$  terá o aspecto representado na Fig.2.24b.



**Fig.2.24a.**  
**Diagrama de Blocos de um Controlador Proporcional + Integral + Derivativo(PID)**



**Fig.2.24b**  
**Diagramas indicando a entrada em rampa unitária e a saída do controlador.**  
**(NOTA:  $K_p = 1$  ;  $T_i = 1$  seg. ;  $T_d = 1$  seg.).**

Na indústria, existem diversas variantes à equação do PID ideal, sendo as mais usuais as seguintes:

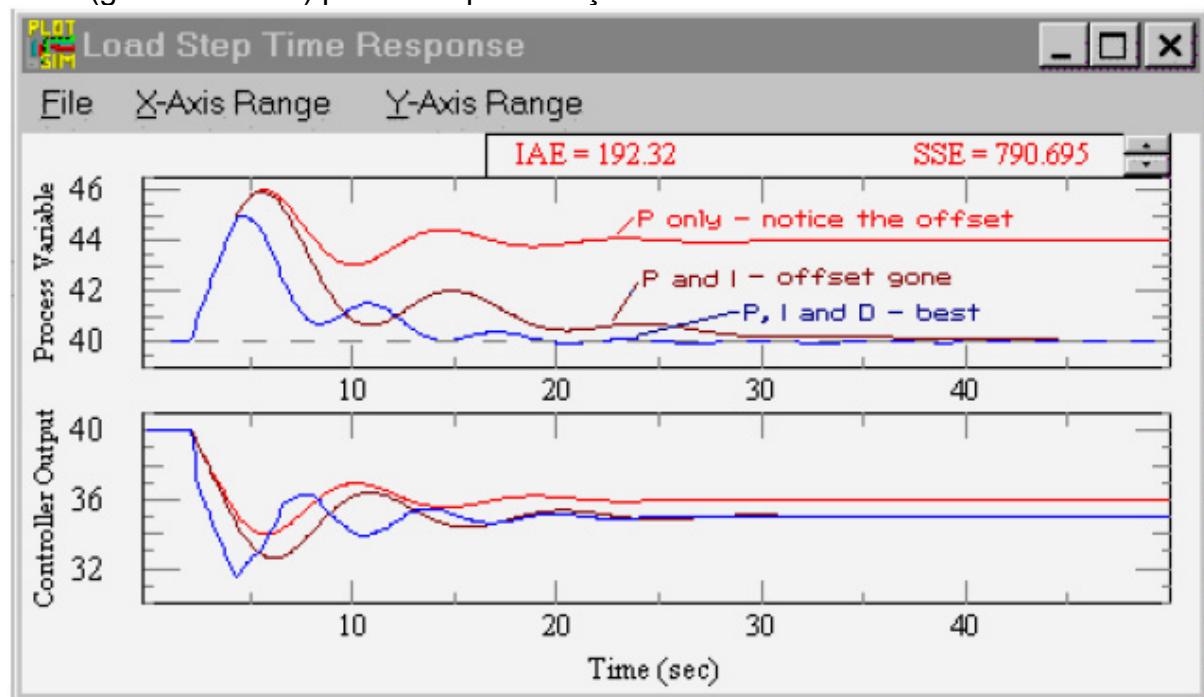
**1) Algoritmo PID paralelo**

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \left( \frac{de(t)}{dt} \right)$$

**2) Algoritmo PID série (ou com interação)**

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right) \left( 1 + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Na Fig.2.25, pode-se analisar a evolução da variável controlada (processo) e a ação de controle (gráfico inferior) para uma perturbação na saída do sistema controlado.



**Fig.2.25.**  
**Evolução da saída do processo controlado através das variáveis de regulação P, PI e PID. De notar o erro em regime estacionário (“off-set”), evidenciado pela ação proporcional.**

Da análise da Fig.2.25, pode-se verificar que estando o sistema estabilizado no valor de 40%, sofre uma perturbação para  $t = 5$  segundos, o que faz aumentar a saída até cerca de 46 % no caso do sistema que utiliza um controlador proporcional. Como é óbvio, todo os controladores estabilizam o sistema, verificando-se que para  $t = 40$  segundos, se entrou definitivamente em regime estacionário. Deste modo, é possível concluir que:

1) **Controlador P:** obtém-se uma variação máxima da variável controlada (46%) e estabiliza-se

o sistema com um erro em regime estacionário de 4% (*off-set*) ao fim de 30 segundos. A precisão é baixa, embora a estabilização da saída seja relativamente rápida.

2) **Controlador PI:** obtém-se uma variação máxima da variável controlada (46%) e estabiliza-se o sistema sem erro em regime estacionário (*off-set*) ao fim de 40 segundos, com oscilações.

A precisão é boa, embora a estabilização da saída seja obtida ao fim de bastante tempo.

3) **Controlador PID:** obtém-se uma variação máxima da variável controlada (45%) inferior ao dos controladores P e PI. A saída do sistema estabiliza-se sem erro em regime estacionário (*off-set*) ao fim de aproximadamente 27 segundos e com oscilações de menor amplitude que as obtidas com ação PI. Portanto, este controlador permite obter uma estabilização mais rápida e com erro em regime estacionário nulo.

**NOTA:** Deve-se notar que, embora em geral o controlador **PID** permita obter os melhores resultados, na prática existem processos que devido às suas características dinâmicas, desaconselham a utilização da ação derivativa (**D**). É o caso, por exemplo, do controle de vazão.

## 2.6 Controladores Analógicos

### 2.6.1 Introdução

Ao longo deste século, foram surgindo diversos tipos de controladores analógicos cada vez mais sofisticados, com especial destaque para os pneumáticos numa primeira fase e que de certa forma, inauguraram a era moderna do controle automático industrial. Para além dos controladores pneumáticos, que eram geralmente utilizados no controle de processos industriais (nível, temperatura, vazão, etc.), os controladores hidráulicos foram também ganhando destaque especialmente no controle de posição e velocidade (Ex. controle do passo das hélices e do ângulo do leme dos navios, velocidade de rotação dos motores, etc.). No entanto, com o avanço da tecnologia eletrônica, numa primeira fase analógica e mais recentemente digital, esta tecnologia ganhou uma tal dimensão que hoje em dia a grande maioria das aplicações recorre unicamente a controladores eletrônicos do tipo analógico e/ou digital.

### 2.6.2 Controladores Eletrônicos

Os controladores eletrônicos analógicos atuais utilizam em larga escala um componente ativo designado por "**Amplificador Operacional**". As possibilidades de efetuar montagens com estes componentes são bastante elevadas devido às sua versatilidade de aplicação. No campo específico do controle industrial, são muito utilizadas (entre outras), as seguintes montagens típicas:

- **Amplificador diferencial (ponto de soma)**

- **Amplificador inversor (ação proporcional)**
- **Amplificador integrador (ação integral)**
- **Amplificador diferenciador (ação derivativa)**
- **Amplificador somador (soma de várias ações de controle)**

**Controlador proporcional** - A montagem típica do controlador proporcional está representada na Fig.2.26a. De acordo com o esquema, teremos:

$$V_{out}(t) = \frac{R_2}{R_1} V_E(t) + V_s(0) \quad \left\{ \begin{array}{l} K_p = \frac{R_2}{R_1} \\ V_E(t) = \text{sinal de erro} \end{array} \right.$$

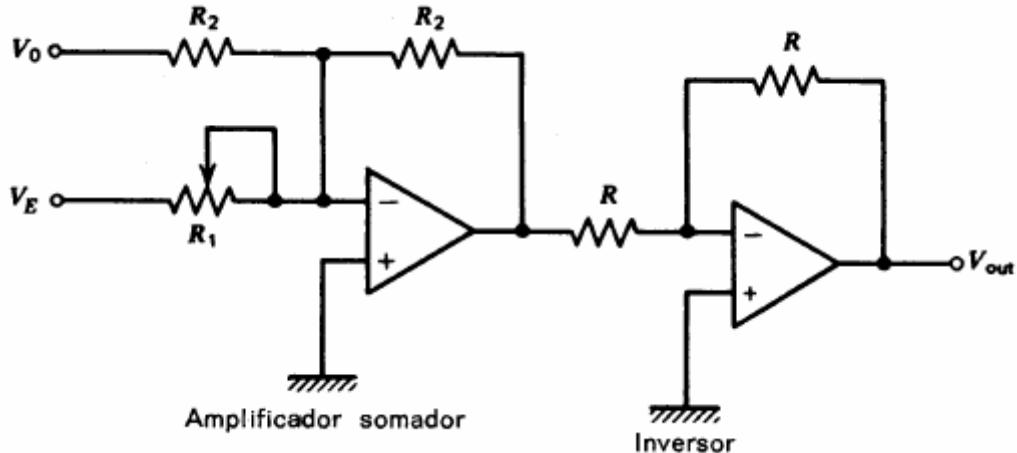
Em que  $V_s(0)$ , corresponde à tensão à saída do controlador para  $t=0$ . O ajuste de  $K_p$  é efetuado através do potenciômetro  $R_1$ . O circuito inversor, é utilizado para inverter o sinal de saída do amplificador inversor, de modo a que  $V_{out}$  seja positivo quando a tensão de erro  $V_E$  for positiva ( $V_E > 0$ ).

**Controlador Eletrônico PI** - A montagem típica deste controlador, baseia-se essencialmente num amplificador de ganho, amplificador integrador e amplificador somador para efetuar a soma das ações P e I. O esquema típico deste controlador, está representado na Fig.2.26b.

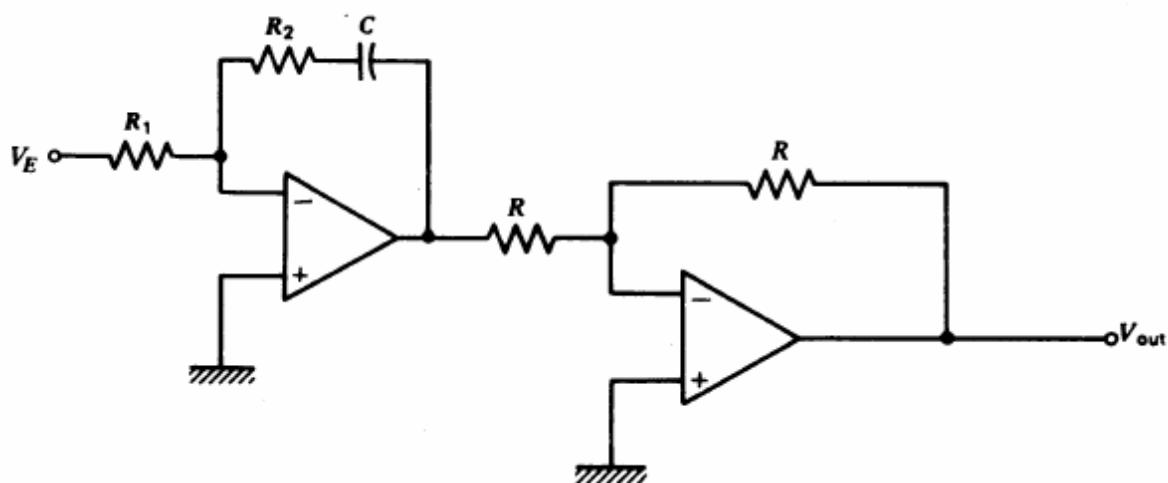
Deste modo, a função de transferência relativa ao controlador PI eletrônico, será dada por:

$$-V_{out}(t) = \left( \frac{R_2}{R_1} \right) V_E(t) + \left( \frac{R_2}{R_I C_I} \right) \frac{1}{R_I C_I} \int V_E(t) dt + V_s(0) \quad \left\{ \begin{array}{l} K_p = \frac{R_2}{R_1} \\ T_i = R_I C_I \end{array} \right.$$

NOTA: Para obter  $V_{out}$  positivo, teríamos que introduzir um inversor na saída do controlador.



**Fig.2.26a**  
Esquema simplificado de um controlador eletrônico proporcional.



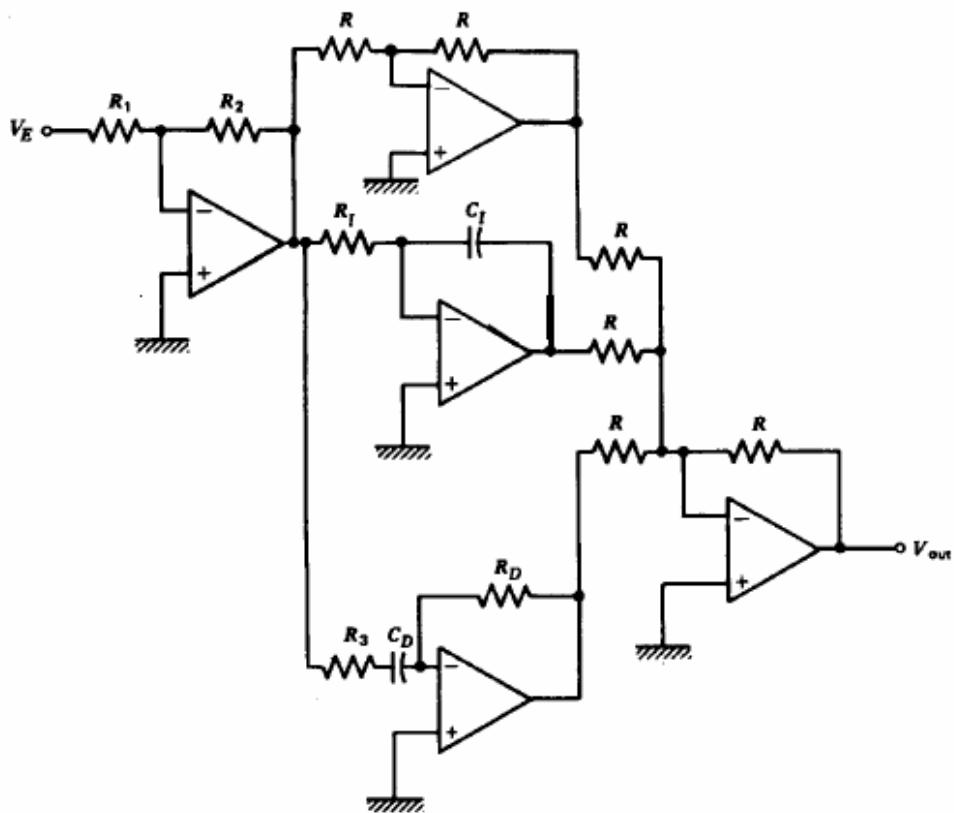
**Fig.2.26b**  
Esquema simplificado de um controlador eletrônico analógico PI.

**Controlador eletrônico PID** - A montagem típica deste controlador, baseia-se essencialmente em: amplificador de ganho, amplificador integrador, amplificador diferenciador e amplificador somador para efetuar a soma das ações P, I e D. O esquema típico deste controlador, está representado na Fig.2.27. Deste modo, a função de transferência do controlador PID eletrônico, será dada por:

$$-V_{out}(t) = \left( \frac{R_2}{R_1} \right) V_E(t) + \left( \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{1}{R_I C_I} \int V_E(t) dt + \left( \frac{R_2}{R_1} \right) R_D C_D \frac{dV_E(t)}{dt} + V_i(0)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K_p = \frac{R_2}{R_1} \\ T_i = R_I C_I \\ T_d = R_D C_D \end{array} \right.$$

NOTA: Para obter um  $V_{out}$  positivo, teríamos que introduzir um inversor na saída do controlador.



**Fig.2.27**  
**Esquema simplificado de um controlador eletrônico analógico PID.**

## 2.7 Reguladores Digitais

As ações de controle num regulador digital são inteiramente realizadas por programas (“software”), executados em microprocessadores dedicados. Estas ações são calculadas numericamente de modo a reproduzir as ações de controle contínuas ou analógicas anteriormente apresentadas. Assim, vamos descrever de uma forma resumida a forma de implementação das três ações mais importantes (proporcional, integral e derivativa) num regulador ou controlador digital.

**Ação proporcional** – No programa de regulação, o erro é geralmente calculado em percentagem do valor total da gama (escala de medida), ou seja:

$$e = \left( \frac{c - r}{c_{\max} - c_{\min}} \right) \times 100$$

É conveniente que o erro seja expresso em percentagem do valor total da gama de medida. Deste modo, todos os ganhos são determinados em função do erro que é uma percentagem da gama. Assim, o erro determina uma alteração da saída expressa também em percentagem do valor total da escala.

No programa de computador, o erro poderia ser calculado da seguinte forma:

$$DE = \frac{DV - DSP}{DMAX - DMIN}$$

Em que:

$DV = c$  = saída medida do processo

$DSP = r$  = entrada de referência

$DMAX$  = Valor máximo da gama ( $c_{\max}$ )

$DMIN$  = Valor mínimo da gama ( $c_{\min}$ )

A ação de controle proporcional será dada por:

$$u(t) = K_p e(t) + P_0$$

Em que  $P_0$  é o valor da saída do regulador para um erro nulo.

Em termos de programação, teríamos:

$$DE = \frac{DV - DSP}{DMAX - DMIN}$$

$$P = P_0 + KP * DE$$

$$POUT = P * ROUT$$

Em que:

ROUT= valor Maximo da escala de saída do regulador

POUT= Saída correspondente à ação proporcional

**Ação de controle integral** – A ação de controle integral é dada por:

$$P = K_I \int_0^t e(t) dt + P(0)$$

Em que  $P(0)$  é o valor da ação integral no instante inicial.

Conforme é conhecido da análise numérica, o integral pode ser obtido através do método de integração retangular, que corresponde a fazer a seguinte aproximação:

$$\int_0^t e(t) dt \approx \{S + e_i\} \Delta t$$

Em que:

$\Delta t$  = intervalo de tempo entre as amostras (período de amostragem)

$S$  = soma dos erros calculado a partir das amostras anteriores

$e_i$  = última amostra tirada no instante  $t$  especificado no integral

Em termos de programação, iríamos ter:

$$SUM = SUM + DE$$

$$PI = KI * DT * SUM$$

$$POUT = PI * ROUT$$

Em que:

$SUM$  = soma acumulada dos erros

$DT$  = período de amostragem

$PI$  = Saída correspondente à ação integral

Existem diversas formas alternativas de calcular a ação integral. Uma das formas mais usuais consiste em utilizar integração trapezoidal.

**Ação derivativa** – A ação de controle derivativa, é dada por:

$$P = K_d \frac{e(t)}{dt}$$

Uma forma possível de calcular a derivada consiste em fazer a seguinte discretização, também conhecida pela aproximação de Euler:

$$\frac{de_i}{dt} \approx \frac{e_i - e_{i-1}}{\Delta t}$$

Assim, em termos de programação, teríamos:

$$DDE = DE - DE0$$

$$PD = KD * DDE / DT$$

$$DE0 = DE$$

**Ação de controle PID** – A ação de controle PID, pode ser programada recorrendo à soma das três ações de controle anteriormente apresentadas.

Assim, teríamos:

$$DDE = DE - DE0$$

$$SUM = SUM + DE$$

$$PI = KP * KI * DT * SUM$$

$$PD = KP * KD * DDE / DT$$

$$P = KP * DE + PI + PD$$

$$POUT = P * ROUT$$

$$DE0 = DE$$

Este pseudocódigo pode ser programado numa linguagem específica (**FORTRAN, BASIC, C, etc...**) e introduzido na memória do controlador digital, a fim de ser executado em tempo real.

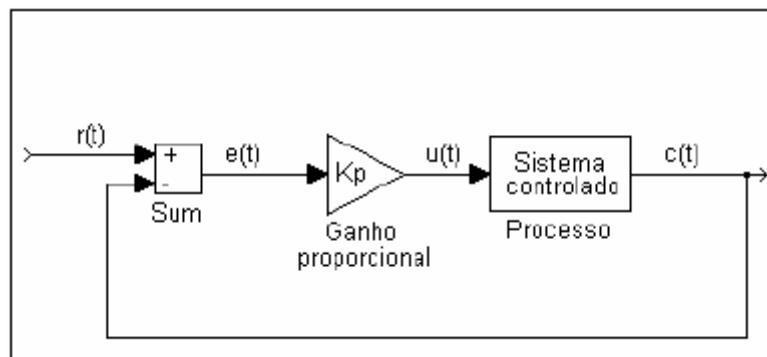
## 2.8 Ajuste Ótimo dos Controladores Industriais

Existem muitos métodos na literatura especializada para efetuar o ajuste automático dos parâmetros dos controladores. Pelo seu caráter histórico, vamos apresentar o mais conhecido dos métodos de ajuste de controladores, desenvolvido por Ziegler e Nichols (1941), e que é conhecido por 2º método de Ziegler-Nichols.

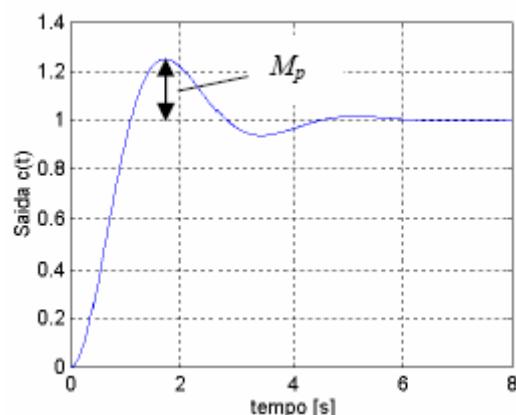
### 2.8.1 Método baseado na Sensibilidade Crítica (2º Método)

Este método faz uso de uma curva de resposta típica do sistema em anel fechado, de acordo com o esquema representado na Fig.2.28. Neste método, admite-se um máximo sobre-impulso (“overshoot”) de 25% na saída do processo  $c(t)$ , ou seja:

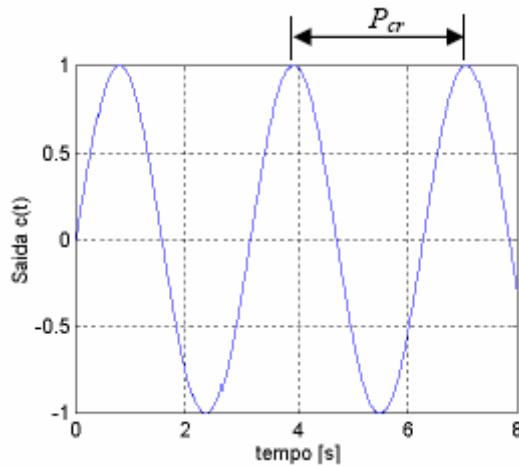
$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} = 0.25$$



**Fig.2.28.**  
**Sistema de controle proporcional em Malha fechada.**



**Fig.2.29a.**  
**Resposta a um degrau unitário, com um máximo de 25% de máximo sobre-impulso ( $M_p$ ).**



**Fig.2.29b**  
**Oscilação limite estacionária de período  $P_{cr}$ .**

Para aplicar este método, devem-se seguir os seguintes passos:

- 1) No caso do controlador possuir ações de controle integral e derivativa, estas devem ser retiradas, ficando o controlador a funcionar somente com ação proporcional ( $K_p$ ).
- 2) Aumenta-se o ganho, até se obter o valor limite  $K_{cr}$  correspondente a uma oscilação uniforme da variável controlada (Fig.2.29b). Isto implica que se aumentar o ganho para além deste valor, a oscilação irá aumentar. Por outro lado, se o ganho baixar, a oscilação irá amortecer-se progressivamente.
- 3) Anote os valores de ganho proporcional crítico ( $K_{cr}$ ) e período correspondente à oscilação crítica ( $P_{cr}$ ).
- 4) Introduza os valores lidos no ponto 3 na **TABELA 2.1**, de modo a obter os parâmetros ótimos do controlador para o processo estudado.

**TABELA 2.1**

<b>Tipo de Controlador</b>	$K_p$	$T_i$	$T_d$
<b>P</b>	$0.5K_{cr}$	$\infty$	0
<b>PI</b>	$0.45K_{cr}$	$0.833P_{cr}$	0
<b>PID</b>	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

**TABELA 2.2**

**Initial Settings For Common Control Loops For Some Ideal and Series Controllers**

Loop Type	PB %	Integral min/rep	Integral rep/min	Derivative min	Valve type
Flow	50 to 500	.005 to .05	20 to 200	none	Linear or Modified Percentage
Liquid Pressure	50 to 500	.005 to .05	20 to 200	none	Linear or Modified Percentage
Gas Pressure	1 to 50	.1 to 50	.02 to 10	.02 to .1	Linear
Liquid Level	1 to 50	1 to 100	.01 to 1	.01 to .05	Linear or Modified Percentage
Temperature	2 to 100	.2 to 50	.02 to 5	.1 to 20	Equal Percentage
Chromatograph	100 to 2000	10 to 120	.008 to .1	.1 to 20	Linear

These settings are rough, assume proper control loop design, ideal or series algorithm and do not apply to all controllers.

Use ExpertTune PID Tuner to find the proper PID settings for your process and controller.

**NOTA:** Os valores desta tabela 2.2 são iniciais e consideram que o controlador PID se baseia na expressão ideal ou série. Não se aplicam a todos os tipos de controladores PID existentes na indústria. (Fonte: ExpertTune).

Hoje em dia, já existem programas comerciais para computador que permitem efetuar o ajuste automático dos parâmetros dos controladores, aplicáveis a uma vasta gama de marcas e de modelos.

## 2.9 Exemplo de Aplicação Industrial

Num sistema de regulação, pretende-se controlar a temperatura da água à saída de um trocador de calor, com escala do transdutor de medida [0 ; 200] °C (Fig.2.30). Admita que o valor desejado para regulação é 70°C, e que o sistema de medida fornece um valor de 30°C quando a válvula de regulação do tipo pneumático está toda aberta (Pressão = 3 psi na saída do controlador) e que para 110°C está toda fechada (Pressão = 15 psi na saída do controlador).

Deste modo, determine a B.P. (banda proporcional), do controlador.

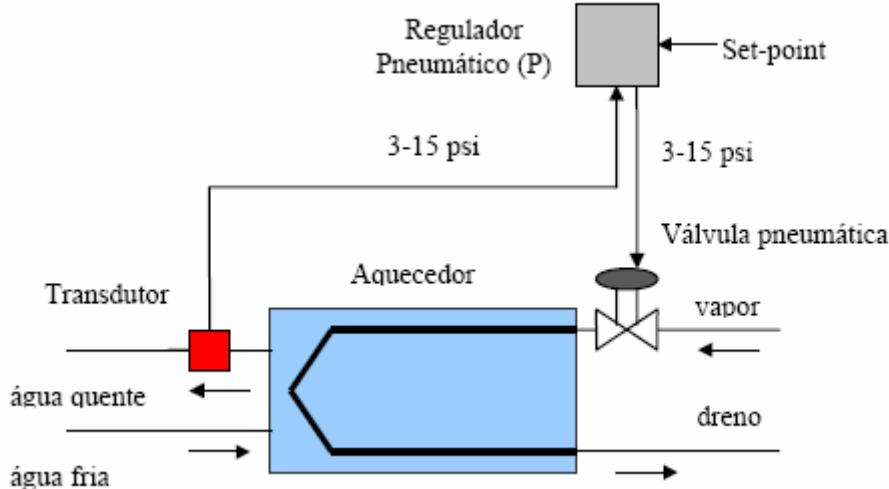
### Resolução:

Diz-se neste caso que a válvula é do tipo ar para fechar, ou seja vai fechando à medida que aumenta a pressão de regulação. Assim, a Banda Proporcional, seria dada por:

$$BP(\%) = \frac{\text{Variação total da variável controlada}}{\text{Escala do transdutor de medida}} \times 100\% = \frac{110 - 30}{200} \times 100\% = 40\%$$

Se por exemplo quiséssemos ter uma B.P. =100%, então teríamos a seguinte variação total da temperatura controlada de ± 100 °C em torno do set-point (70 °C), ou seja:

$$BP(\%) = \frac{(70 + 100) - (70 - 100)}{200} = \frac{170 - (-30)}{200} \times 100\% = 100\%$$



**Fig.2.30.**  
**Sistema de regulação pneumática de temperatura.**

Na Fig.2.31, estão representadas as retas correspondentes às B.P. de 0%, 40% e 100%. Da análise destas retas, podemos verificar que para um valor de B.P de 0%, a variação de erro é nula em torno da variável controlada ( $70^{\circ}\text{C}$ ), pelo que teremos uma reta vertical. Para esse caso, o ganho proporcional  $K_p$ , dado que é o inverso da B.P. teria que ser infinito, o que não é possível de obter na prática. Deste modo, irá existir sempre um erro em regime estacionário para um sistema controlado através de um controlador com ação proporcional. Este erro é designado por **erro estático ou “off-set”**.

Por outro lado, para uma B.P.=100%, podemos verificar que a válvula não abre totalmente pois o valor mínimo da gama do sensor de temperatura é  $0^{\circ}\text{C}$  e não  $-30^{\circ}\text{C}$  conforme indicado na expressão anterior. Para a B.P. de 40% temos uma banda de erro de  $40^{\circ}\text{C}$  em torno do **set-point** de  $70^{\circ}\text{C}$ , ou seja, uma variação total de  $80^{\circ}\text{C}$  para a variação total da saída do controlador (3-15 psi). Esta gama de valores corresponde a uma gama de variação de (0 –100%) de abertura da válvula de regulação.

O ganho proporcional  $K_p$  é o inverso da B.P. sendo dado por:

$$K_p = \frac{\text{Variação do sinal de saída do regulador (psi)}}{\text{Variação total da variável controlada } (^{\circ}\text{C})} = \frac{15 - 3}{110 - 30} = 0.15 \text{ psi}/^{\circ}\text{C}$$

Podíamos também obter este valor a partir da B.P. Assim, teríamos:

$$K_p = \frac{1}{B.P.} \times \left( \frac{\text{Escala de saída do regulador}}{\text{Escala do transdutor}} \right) = \frac{1}{0.4} \times \frac{15 - 3}{200} = 0.15 \text{ psi}/^{\circ}\text{C}$$

Da análise da equação que rege o funcionamento do controlador proporcional, verifica-se que a ação de regulação só se altere caso o erro também varie. Assim, quando o erro estabilizar num determinado valor a ação de regulação irá igualmente estabilizar e manter-se constante. Isto quer

# CST

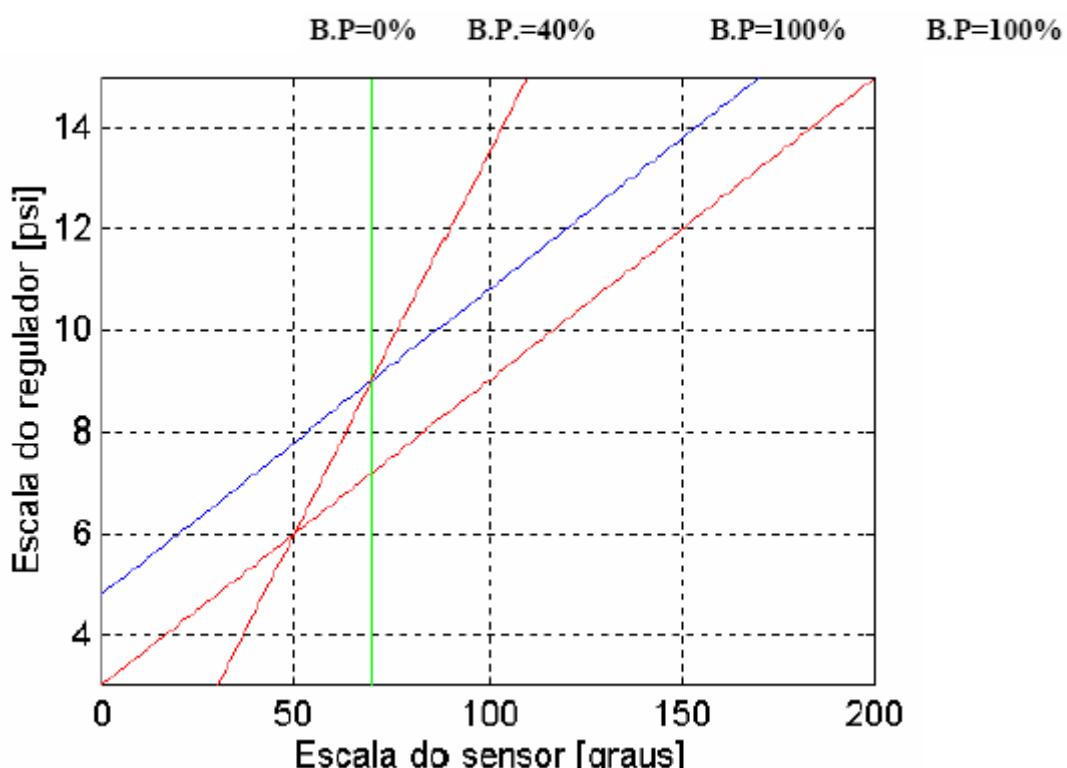
## Arcelor Brasil

dizer que a ação de regulação mantém a sua ação corretiva constante, caso o erro se mantenha constante, **mesmo que a saída do processo se afaste do valor de ajuste ou set-point**.

Neste caso, diz-se que o sistema exibe um determinado erro em regime estacionário ou *off-set*.

Deste modo, é necessário ter um certo cuidado no ajuste da B.P. do controlador de modo a evitar oscilações muito bruscas ou ações de resposta bastante lentas.

Vamos exemplificar através de um exemplo muito simples a forma de ajuste da B.P. e o problema do *off-set* característico do controlador proporcional.



**Fig.2.31.**  
Gráficos de evolução das B.P. de 0%, 40% e 100%, para o sistema de regulação de temperatura.

Considere um reservatório que recebe água quente e fria. A temperatura da água na saída do tanque é regulada por um controlador de temperatura que atua sobre a válvula de alimentação de água fria. No equilíbrio resultante da mistura de vazão de água quente (100 litros/h; 80 °C) e de água fria (100 litros/h; 20 °C), irá resultar:

$$T_{eq} = \frac{80 \times 100 + 20 \times 100}{100 + 100} = 50^\circ C$$

# CST

## Arcelor Brasil

Considere-se que a B.P. foi ajustada de tal maneira que para cada  $1^{\circ}\text{C}$  de erro de temperatura relativamente à temperatura desejada ( $50^{\circ}\text{C}$ ), a válvula de água fria recebe um sinal do controlador que faz variar a vazão de  $10 \text{ l/h}$ .

Considere-se agora que devido a uma perturbação na água na saída baixou para  $48^{\circ}\text{C}$ . Como o controlador está ajustado para  $50^{\circ}\text{C}$ , vai dar origem a um sinal para a válvula de modo que esta diminua a vazão de água fria de  $20 \text{ l/h}$ , pelo que este irá passar para  $80 \text{ l/h}$ . Neste caso, a nova temperatura de equilíbrio resultante da mistura será dada por:

$$T_{eq} = \frac{80 \times 100 + 20 \times 80}{100 + 80} = 53^{\circ}\text{C}$$

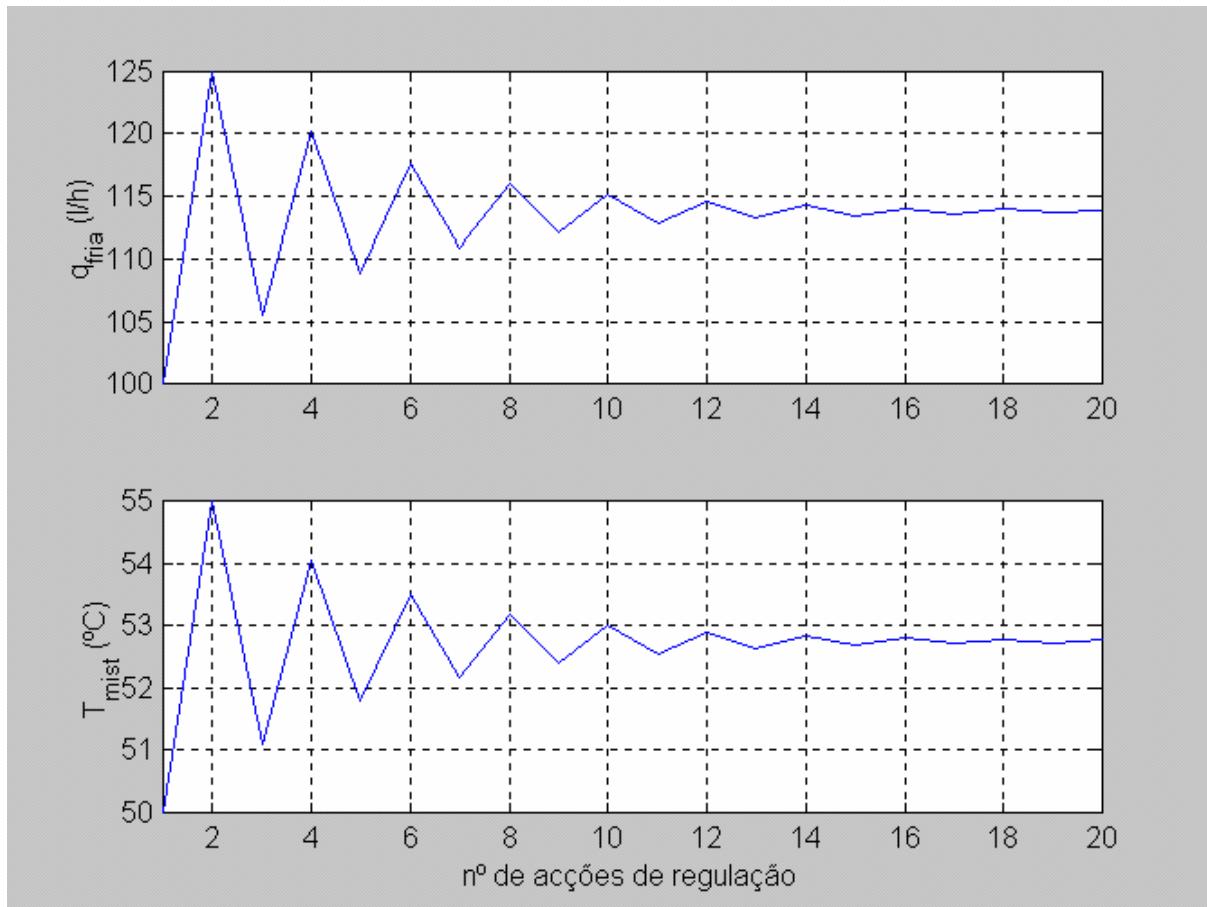
A temperatura de equilíbrio passa agora para  $53^{\circ}\text{C}$ . Deste modo, o controlador vai aumentar a vazão de água fria em  $30 \text{ l/h}$ , pelo que este irá passar para  $130 \text{ l/h}$ . Neste caso, a nova temperatura de equilíbrio resultante da mistura será dada por:

$$T_{eq} = \frac{80 \times 100 + 20 \times 130}{100 + 130} = 46^{\circ}\text{C}$$

Como se podem ver os erros de temperatura estão a aumentar, o que significa que o ganho do controlador é excessivo, pelo que deverá ser reduzido de modo a ir reduzindo aos poucos as diferenças de temperatura e, por conseguinte as oscilações na temperatura regulada.

Suponhamos agora que a temperatura de água quente passou de  $80^{\circ}\text{C}$  para  $90^{\circ}\text{C}$ . Deste modo aplicando o raciocínio anteriormente apresentado, iríamos obter as variações da vazão de água fria e de temperatura de mistura para o ganho de  $5 \text{ l/h}$  por cada erro de  $1^{\circ}\text{C}$  na temperatura da água de mistura, representadas na Fig.2.32.

Da análise dos gráficos da Fig.2.32, verifica-se que por mais tentativas que o controlador faça, a temperatura irá estabilizar num valor diferente de  $50^{\circ}\text{C}$ . Verifica-se que o sistema converge para uma temperatura em regime estacionário de  $52.5^{\circ}\text{C}$ , que corresponde a um erro estático de  $2.5^{\circ}\text{C}$ , (*off-set*). Como é evidente este *off-set* será tanto menor quanto maior for o ganho proporcional  $K_p$ . No entanto, somente com ação proporcional não é possível removê-lo completamente, para além de que ao aumentar-se  $K_p$ , irão aumentar as oscilações anteriormente referidas. Estas oscilações são altamente indesejáveis em termos de regulação. Deste modo, a solução mais usual consiste em adicionar ação integral ao controlador de modo a remover o erro em regime estacionário.



**Fig.2.32.**  
**Evolução do caudal e da temperatura de água fria quando o caudal de água quente sofre uma variação de +10°C.**

#### Adição de ação integral ao controlador proporcional

Conforme visto anteriormente, define-se tempo integral  $T_i$  como sendo o tempo que a ação integral demora a atingir igual valor da ação proporcional. Devido a esta característica, em diversos controladores aparece a designação de **minutos por repetição – M.P.R.** (NOTA:  $T_i$  é normalmente expresso em segundos ou em minutos).

Existe uma outra unidade de ajuste da ação integral que é o inverso do tempo integral, designada por **Repetições Por Minuto – R.P.M.** Esta unidade é definida da seguinte forma:

$$\text{M.P.R.} = \frac{1}{T_i (\text{em minutos})}$$

Vamos agora supor que num sistema de regulação PI de temperatura, o *set-point* é 100°C, a BP =75% e que surge bruscamente um erro de 25°C, ou seja, que a temperatura baixou para 75°C.

# CST

## Arcelor Brasil

De acordo com a reta de regulação representada na Fig.2.33, devido à ação proporcional de ganho:

$$K_p = \frac{1}{BP} = \frac{1}{0.75} \times \frac{12}{200} = 0.08 \text{ psi/}^\circ\text{C}$$

Iremos ter uma ação de regulação de:

$$u_p = 9 + 0.08 \times 25 = 11 \text{ psi}$$

Que corresponde a uma abertura da válvula

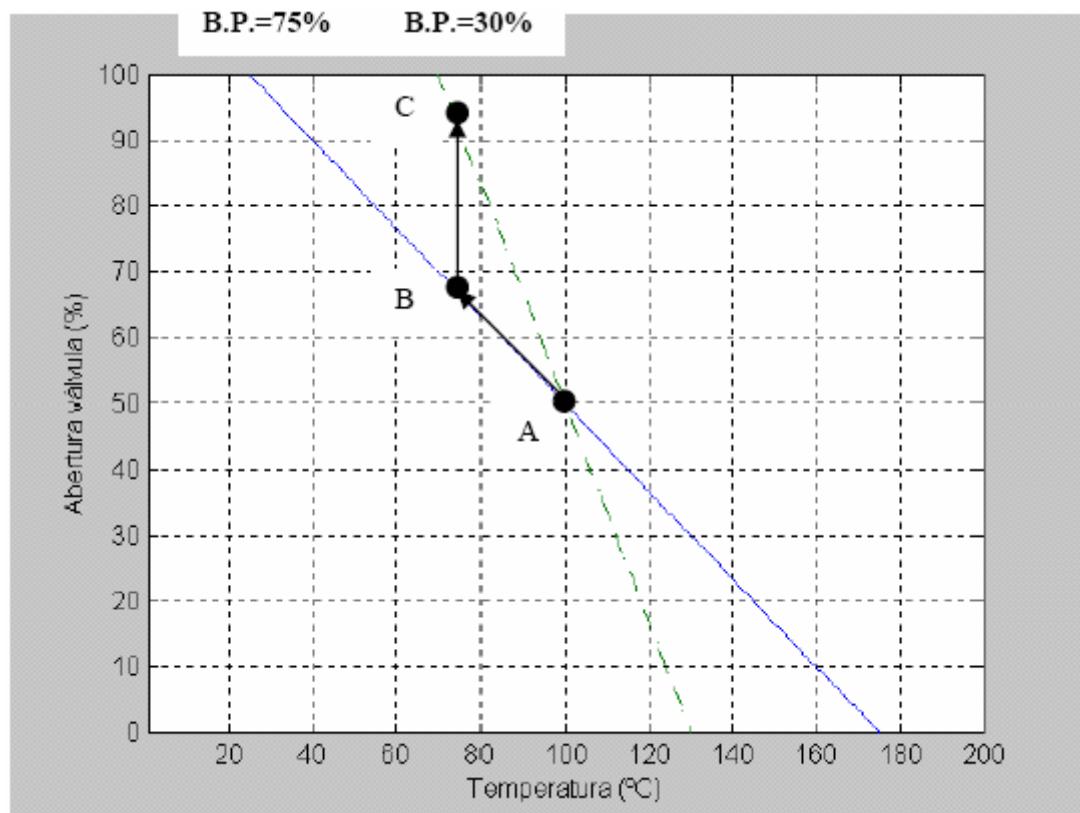
$$\% \text{ abertura válvula} = 50 + \frac{11 - 9}{12} \times 100\% = 66.6\%$$

Esta abertura corresponde na Fig.2.33 ao ponto B. No entanto devido à ação integral, a válvula irá continuar a abrir, atingindo ao fim de um certo tempo, por exemplo, o ponto C. Isto quer dizer que o percurso da válvula ABC **corresponde na prática ao percurso AC**.

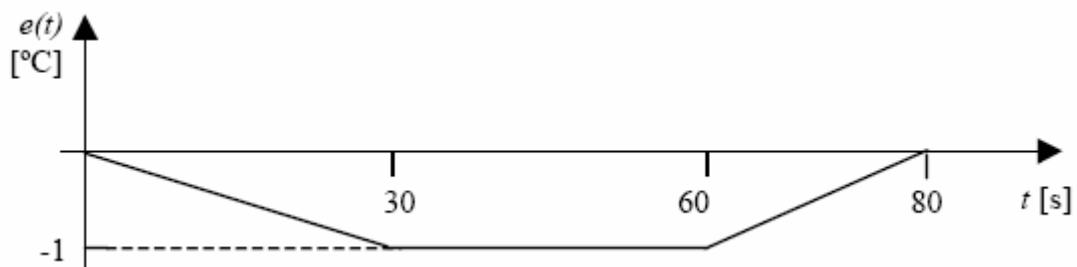
Como se pode ver no gráfico, a reta AC corresponde a uma B.P. bastante menor (ganho proporcional muito maior), que neste caso corresponde a 30%. Por esta razão, o controlador PI pode produzir uma resposta bastante oscilatória.

### Análise da evolução temporal das ações de controle

Vamos agora analisar a situação em que temos um gráfico de erro a variar no tempo de acordo com um diagrama temporal conhecido. Deste modo vamos considerar o exemplo inicial, em que o controlador tem como parâmetros  $BP = 40\%$  e  $T_i = 20$  s. Considere igualmente que surge um erro na temperatura da água à saída do tanque, de acordo com o gráfico temporal da Fig.2.34.



**Fig.2.33**  
**Exemplo de aplicação de um controlador com ação PI.**



**Fig.2.34.**  
**Evolução temporal do sinal de erro à entrada do controlador.**  
**Pretende-se determinar a evolução da saída do controlador PI.**

**Resolução:**

Da análise do gráfico do erro, verifica-se que:

# CST

## Arcelor Brasil

$e$  = referência – saída

$$-1 = T_{ref} - T = 70 - T$$

$$T = 71^\circ\text{C}$$

Logo, de acordo com o gráfico da Fig.2.31, verifica-se que estando  $T$  acima de  $70^\circ\text{C}$ , a pressão de regulação irá subir acima de 9 psi. Portanto este diagrama de erro tem como consequência um aumento de pressão de ar para a válvula de modo a que esta feche uma determinada vazão de vapor a fim de baixar a temperatura da água. Deste modo, teremos:

**1) Ação proporcional (P) – (NOTA: Considere neste caso que  $K_p=1.2 \text{ psi}/^\circ\text{C}.$ )**

**Traço [0 – 30 s]**

$$u_p = 9 - \left( \frac{-1}{30} t \right) \times 1.2$$

$$u_p(t=30s) = 9 - \left( \frac{-1}{30} 30 \right) \times 1.2 = 9 + 1.2 = 10.2 \text{ psi}$$

**Traço [30 – 60 s]**

$$u_p = 10.2 \text{ psi} \quad (\text{constante})$$

**Traço [60 – 80 s]**

Para  $t=90\text{s}$  a ação proporcional é de 9 psi, visto que o erro é nulo.

**Conclusão:** o gráfico da ação proporcional é do mesmo tipo do gráfico do erro visto que  $U_p$  é proporcional ao erro.

**2) Ação integral (I)**

**Traço [0 – 30 s]**

# CST

## Arcelor Brasil

$$u_i = 9 - \frac{1.2}{20} \int_0^{30} \left( \frac{-1}{30} t \right) dt$$

$$u_i = 9 + \frac{1.2}{20} \left( \frac{30^2}{60} \right) = 9 + 0.9 = 9.9 \text{ psi}$$

**Traço [30 – 60 s]**

$$u_i = 9.9 - \frac{1.2}{20} \int_{30}^{60} (-1) dt = 9.9 + 1.8 = 11.7 \text{ psi}$$

**Traço [60 – 80 s]**

Neste caso, para simplificar os cálculos vamos considerar que o eixo dos tempos é deslocado para  $t = 60\text{seg}$ . Deste modo, obtém-se:

$$u_i = 11.7 - \frac{1.2}{20} \int_0^{20} \left( -1 + \frac{1}{20} t \right) dt = 11.7 - 0.54 = 11.16 \text{ psi}$$

Na Fig.2.35 está representado o gráfico de evolução das ações de regulação P, I bem como a soma da ação de regulação P+I.

**Adição de ação derivativa**

No caso de se pretender adicionar ação derivativa, com  $Td = 6 \text{ seg.}$ , teríamos:

**3) Ação derivativa (D)**

**Traço [0 – 30 s]**

$$u_d = 9 - 1.2 \times 6 \times \left( \frac{-1}{30} \right) = 9.24 \text{ psi}$$

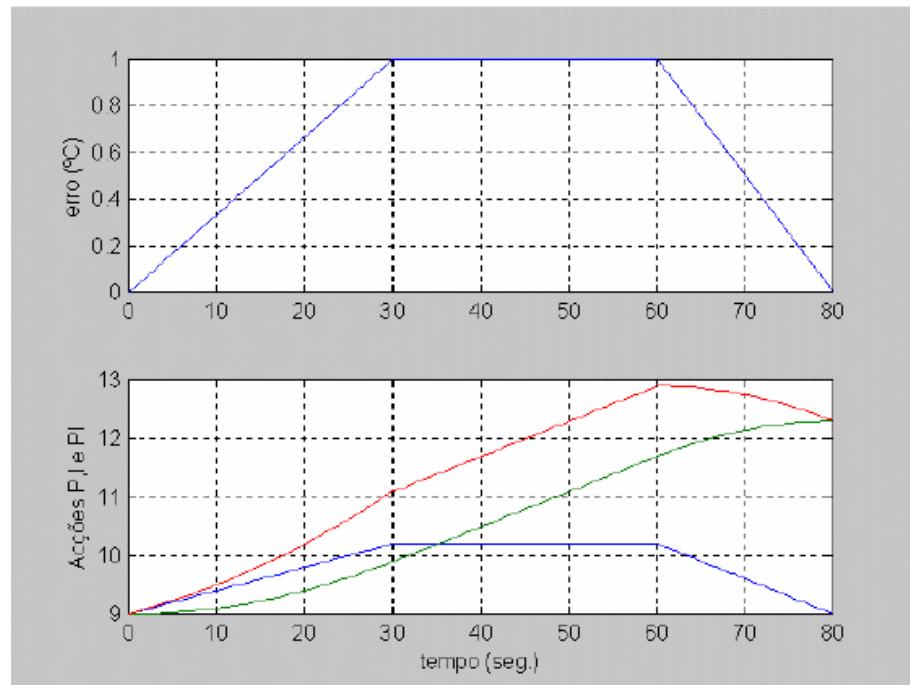
**Traço [30 – 60 s]**

$$u_d = 9 - 0 = 9 \text{ psi}$$

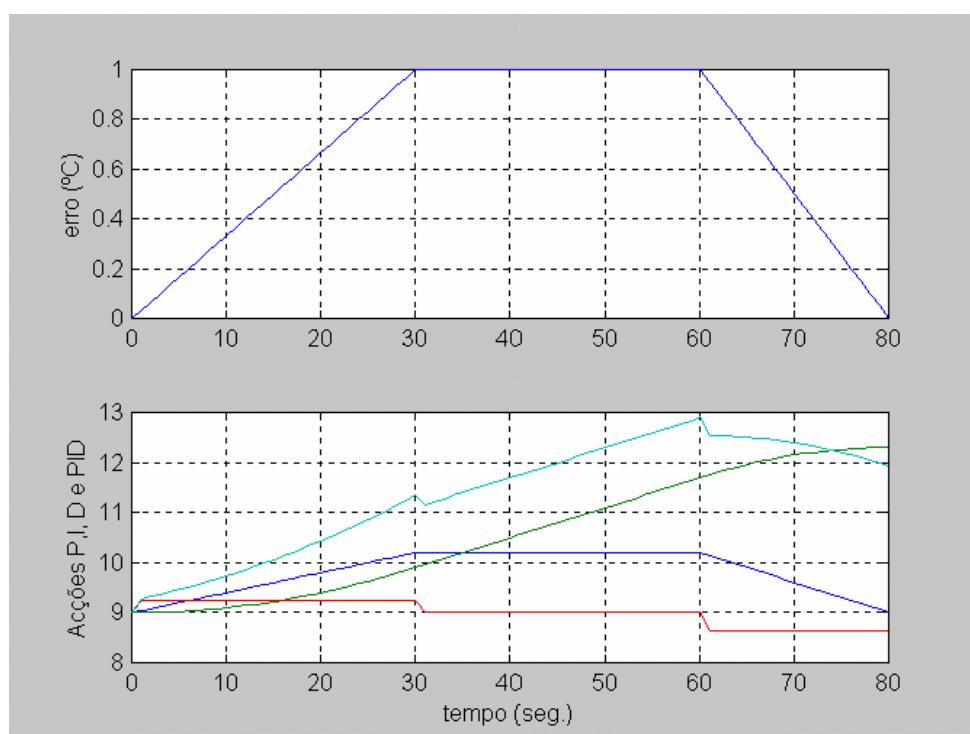
**Traço [60 – 80 s]**

$$u_d = 9 - 1.2 \times 6 \times \left( \frac{1}{20} \right) = 8.64 \text{ psi}$$

Neste caso o gráfico das ações de regulação P, I e D bem como da ação PID está representado na Fig.2.36.



**Fig.2.35.**  
**Evolução das ações de regulação P, I e PI para o exemplo anterior.**



**Fig.2.36.**

**Evolução das ações de regulação P, I, D e PID para o exemplo anterior.**

## 2.10 Malhas de Controle

### 2.10.1 Introdução

A malha de controle a realimentação negativa (feedback) convencional com entrada única e saída única (single input-single output) é o núcleo da maioria das estruturas de controle de processo. Porém, ultimamente, foram desenvolvidas estruturas mais complexas que podem, em alguns casos, melhorar significativamente o desempenho do sistema de controle.

A maioria das malhas de controle possui uma única variável controlada. A minoria dos sistemas mais complexos requer o controle mais avançado, envolvendo mais de uma variável, ora para manipular mais de um elemento final de controle, ora para monitorar mais de uma variável controlada. Estes sistemas, que são repetidos freqüentemente com pequenas modificações, são conhecidos como sistemas unitários de controle, sistemas estruturados de controle ou sistemas de controle multivariável. Eles são clássicos e podem ser disponíveis em instrumentos especiais, com as múltiplas funções para atender as aplicações mais complexas, facilitar a instalação, manutenção e operação.

Cada sistema unitário de controle encontra sua aplicação específica. A característica comum dos sistemas é que são manipuladas e medidas muitas variáveis simultaneamente, para se estabelecer o controle, no menor tempo possível e com o melhor rendimento do processo.

Serão tratados aqui e agora os conceitos e símbolos dos controles estruturados, que podem servir como blocos constituintes de um projeto completo de instrumentação. O controle pode ser implementado através das seguintes estratégias:

#### a) Controle Contínuo Linear

- Realimentação negativa
- Cascata
- Preditivo antecipatório
- Relação

**b) Controle com saídas múltiplas**

- Balanço de cargas
- Faixa dividida

**c) Malhas redundantes**

- Reserva (backup) redundante
- Tomada de malha integral
- Controle de posição da válvula

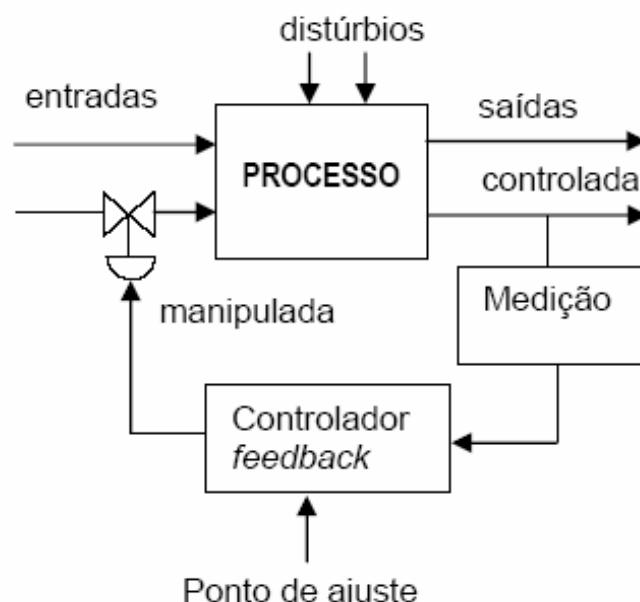
**2.10.2 Realimentação negativa**

O objetivo do controle com realimentação negativa é controlar uma variável medida em um ponto de ajuste. O ponto de ajuste nem sempre é aparente ou facilmente ajustável. Os estados operacionais são automáticos e manuais. Os parâmetros operacionais são o ponto de ajuste (em automático) e a saída (em manual).

Os valores monitorados são o ponto de ajuste, a medição e a saída. (monitorar não significa necessariamente indicar.)

A realimentação negativa é mais um conceito do que um método ou um meio. No sistema com realimentação negativa sempre há medição (na saída), ajuste do ponto de referência, comparação e atuação (na entrada).

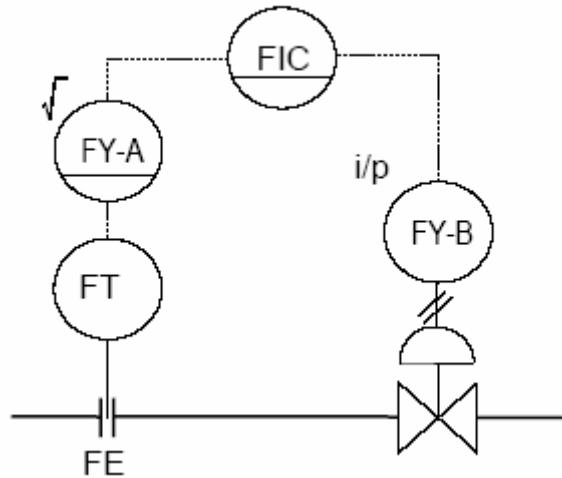
A saída pode alterar as variáveis controladas, que pode alterar a variável medida. O estado da variável medida é realimentado para o controlador para a devida comparação e atuação.



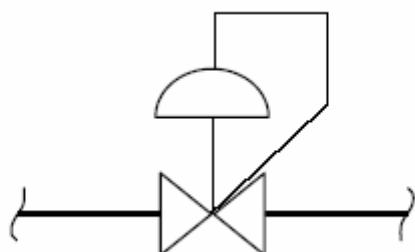
**Fig.2.37.**  
**Esquema da realimentação negativa.**

Em resumo, esta é a essência do controle à realimentação negativa. É irrelevante se há seis elementos na fig.2.38 e apenas um na válvula auto-regulada de pressão fig.2.39. Na válvula auto-operada, os mecanismos estão embutidos na própria válvula, não há display e os ajustes são feitos de modo precário na válvula ou nem são disponíveis. Na malha de controle convencional, os

instrumentos podem ter até circuitos eletrônicos microprocessados. É irrelevante também se as variáveis medida e manipulada são as mesmas na malha de vazão ou diferentes na malha de pressão. O conceito de controle é a realimentação negativa, independente do meio ou método de sua realização.



**Fig.2.38.**  
**Malha de controle de vazão.**



**Fig.2.39. Reguladora de pressão.**

Na malha de controle de vazão da Fig.2.38, a vazão é sentida pela placa (FE), o sinal é transmitido (FT), extraída a raiz quadrada (FYA) e finalmente chega ao controlador (FIC). Este sinal de medição é comparado com o ponto de ajuste (não mostrado na figura) e o controlador gera um sinal (função matemática da diferença entre medição e ponto) que vai para a válvula de controle (FCV), passando antes por um transdutor corrente para pneumático (FY-B), que compatibiliza a operação do controlador eletrônico com a válvula com atuador pneumático. A atuação do controlador tem o objetivo de tornar a medição igual (ou próxima) do ponto de ajuste. Na válvula auto-regulada acontece a mesma coisa, porém, envolvendo menor quantidade de equipamentos. O valor da pressão a ser controlado é levado para um mecanismo de comparação que está no atuador da válvula. No mecanismo há um ajuste do valor da pressão a ser controlado. Automaticamente a válvula vai para a posição correspondente à pressão ajustada.

Nos dois sistemas sempre há:

1. medição da variável controlada

2. ajuste do valor desejado
3. comparação entre medição e ajuste
4. atuação para tornar medição igual ao ponto de ajuste. Enquanto a medição estiver igual ao ponto de ajuste (situação ideal), a saída do controlador está constante (cuidado! Não é igual a zero!). Só haverá atuação (variação na saída) quando ocorrer diferença entre medição e ponto de ajuste.

A maioria absoluta dos sistemas de controle se baseia no conceito de realimentação negativa. Embora seja lento e suscetível à oscilação, ele é o mais fácil de ser realizado.

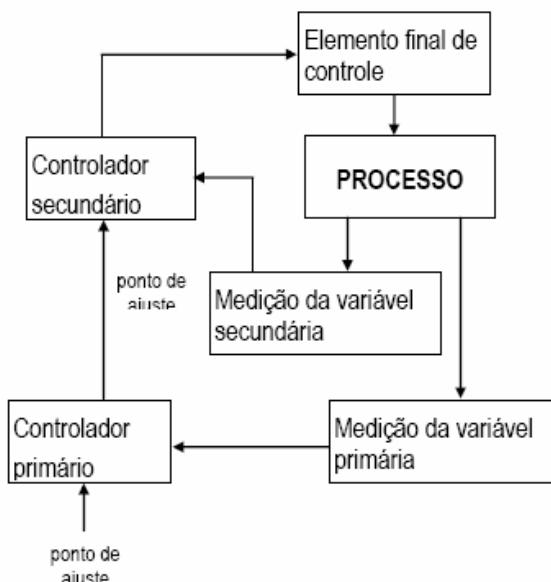
A minoria dos sistemas utiliza outras estratégias de controle ou combinação de várias malhas a realimentação negativa. O advento da instrumentação microprocessada (chamada estupidamente de inteligente) permite a implementação econômica e eficiente de outras técnicas de controle.

### 2.10.3 Controle Cascata

#### 2.10.3.1 Introdução

O controle cascata permite um controlador primário regular um secundário, melhorando a velocidade de resposta e reduzindo os distúrbios causados pela malha secundária. Uma malha de controle cascata tem dois controladores com realimentação negativa, com a saída do controlador primário (mestre) estabelecendo o ponto de ajuste variável do controlador secundário (escravo). A saída do controlador secundário vai para a válvula ou o elemento final de controle. O controle cascata é constituído de dois controladores normais e uma única válvula de controle, formando duas malhas fechadas. Só é útil desdobrar uma malha comum no sistema cascata quando for possível se dispor de uma variável intermediária conveniente mais rápida.

A Fig. 2.40 é um diagrama de blocos do conceito de controle de cascata, mostrando as medições (primária e secundária), o ponto de ajuste do primário estabelecido manualmente e o ponto de ajuste do secundário estabelecido pela saída do controlador primário.

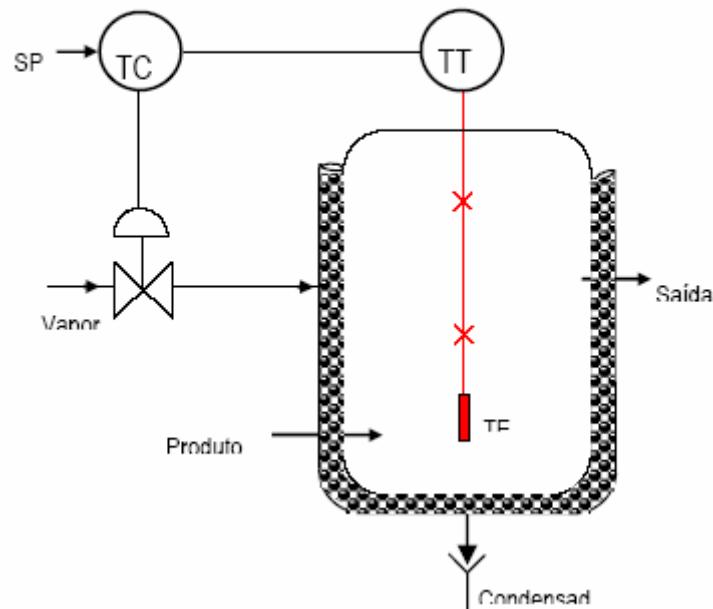


**Fig.2.40.**  
**Diagrama de blocos do controle cascata.**

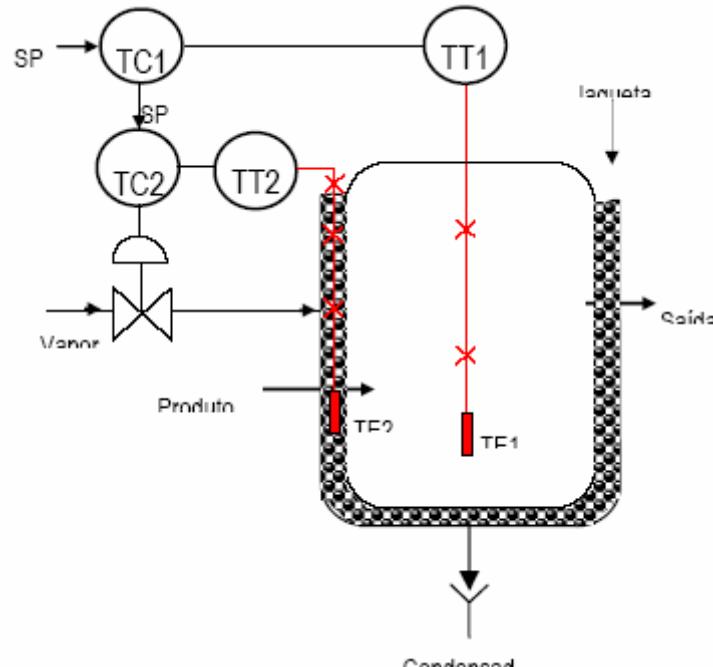
A característica principal do controle cascata é a saída do controlador primário ser o ponto de

ajuste do secundário. O controlador primário cascateia o secundário.

A Fig.2.41 é um exemplo de um controle convencional de temperatura, envolvendo uma única malha. Na Fig.2.42 tem-se controle de cascata. (É interessante notar como um esquema simples pode esconder fenômenos complexos. Por exemplo, eventualmente a reação da figura pode ser exotérmica e nada é percebido)

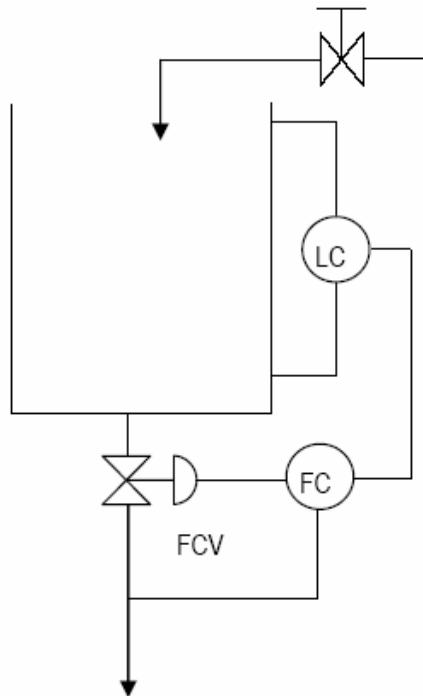


**Fig.2.41.**  
**Controle convencional de temperatura.**



**Fig.2.42.**  
**Controle de cascata temperatura – temperatura.**

No controle cascata a temperatura do vaso (mais lenta) cascateia a temperatura da jaqueta (mais rápida). Quando houver distúrbio no vapor fazendo a temperatura da jaqueta cair, o controlador secundário corrige esta variação mais rapidamente que o controlador primário.



**Fig.2.43.**  
**Controle Cascata: controlador de nível estabelece ponto de ajuste no de vazão**

#### 2.10.3.3 Conceito

O controle em cascata divide o processo em duas partes, duas malhas fechadas dentro de uma malha fechada. O controlador primário vê uma malha fechada como parte do processo. Idealmente, o processo deve ser dividido em duas metades, de modo que a malha secundaria seja fechada em torno da metade dos tempos de atraso do processo.

Para ótimo desempenho, os elementos dinâmicos no processo devem também ser distribuídos equitativamente entre os dois controladores.

É fundamental a escolha correta das duas variáveis do sistema de cascata, sem a qual o sistema não se estabiliza ou não funciona.

1. a variável primária deve ser mais lenta que a variável secundaria.
2. a resposta da malha do controlador primário deve ser mais lenta que a do primário.
3. o período natural da malha primária deve ser maior que o da malha secundaria.
4. o ganho dinâmico da malha primária deve ser menor que a da primária.
5. a banda proporcional do controlador primário deve ser mais larga que a do controlador secundário.
6. a banda proporcional do controlador primário deve ser mais larga que o valor calculado para o seu uso isolado,

Quando os períodos das malhas primárias e secundárias são aproximadamente iguais, o sistema de controle fica instável, por causa das variações simultâneas do ponto de ajuste e da medição da malha secundária.

Usualmente, o controlador primário é  $P + I + D$  ou  $P + I$  e o secundário é  $P + I$ .

As combinações típicas das variáveis primárias (P) e secundaria (S) no controle em cascata são:

temperatura (P) e vazão (S), composição (P) e vazão (S), nível (P) e vazão (S), temperatura (P) e pressão (S) e temperatura lenta (P) e temperatura rápida (S).

Quando o controlador secundário é de vazão e recebe o sinal de um transmissor de pressão diferencial associado a placa de orifício, deve se usar o extrator de raiz quadrada, para linearizar o sinal da vazão, a não ser que a vazão esteja sempre acima de 50% da escala.

Quando se tem controle de processo em batelada ou quando o controlador secundário está muito demorado, pode ocorrer a saturação do modo integral. Um modo de se evitar esta saturação é fazendo uma realimentação externa do sinal de medição do controlador secundário ao circuito integral do controlador primário. Em vez do circuito integral receber a realimentação do sinal de saída do controlador, ele recebe a alimentação do sinal de medição do controlador secundário.

#### **2.10.3.3 Objetivos**

Há dois objetivos do controle cascata:

1. eliminar os efeitos de alguns distúrbios (variações da carga próximas da fonte de suprimento)
2. melhorar o desempenho dinâmico da malha de controle, reduzindo os efeitos do atraso, principalmente do tempo morto.

Para ilustrar o efeito da rejeição do distúrbio, seja o revedor (*reboiler*) da coluna de destilação. Quando a pressão de suprimento do vapor aumenta, a queda da pressão através da válvula de controle será maior, de modo que a vazão de vapor irá aumentar. Com o controlador de temperatura convencional, nenhuma correção será feita até que a maior vazão de vapor aumente a temperatura na bandeja 5. Assim, o sistema inteiro é perturbado por uma variação da pressão do suprimento de vapor.

Com o sistema de controle cascata, com a temperatura da coluna cascanteando a vazão de vapor, o controlador de vazão do vapor irá imediatamente ver o aumento na vazão de vapor e irá fechar a válvula de vapor para fazer a vazão de vapor voltar para o seu ponto de ajuste. Assim o revedor e a coluna são pouco afetados pelo distúrbio na pressão de suprimento do vapor.

Outro sistema de controle cascata envolve um processo com resfriamento de um reator, através da injeção de água na jaqueta. A controlador da temperatura do reator é o primário; o controlador da temperatura da jaqueta é o secundário. O controle de temperatura do reator é isolado pelo sistema de cascata dos distúrbios da temperatura e pressão d'água de resfriamento da entrada.

Este sistema mostra como o controle cascata melhora o desempenho dinâmico do sistema. A constante de tempo da malha fechada da temperatura do reator será menor quando se usa o sistema cascata.

#### **2.10.3.4 Vantagens**

As vantagens do sistema de cascata são:

1. os distúrbios que afetam a variável secundaria são corrigidos pelo controlador secundário, que é mais rápido, antes que possam influenciar a medição primaria.
2. o atraso de fase existente na parte secundaria é reduzido pela malha secundaria, melhorando a velocidade de resposta da malha primaria.
3. a malha secundaria permite uma manipulação exata da vazão de produto ou energia pelo controlador primário.

#### **2.10.3.5 Saturação do modo integral**

O controle em cascata é utilizado para eliminar os efeitos de pequenos distúrbios no processo.

Em aplicações do controle em cascata sempre há a possibilidade de haver a saturação dos dois controladores. O problema da saturação do modo integral é criado pela excursão da carga do

processo além da capacidade da válvula de controle. A válvula irá ficar saturada em seu limite externo, 0 ou 100%, totalmente fechada ou aberta, fazendo com que haja um desvio permanente entre a medição e o ponto de ajuste do controlador primário. Se não for tomada nenhuma providência, o controlador primário irá saturar.

Como consequência, o controlador secundário também irá saturar.

Uma solução simples e prática é utilizar a medição da variável secundária como realimentação externa para o modo integral do controlador primário. Convencionalmente, o controlador primário é realimentado pela sua própria saída que é o ponto de ajuste do controlador secundário. Quando o controlador secundário estiver em operação normal, o seu ponto de ajuste coincide com a medição e o funcionamento da malha é igual ao modo convencional. Se houver uma diferença entre a medição e o ponto de ajuste do secundário, a ação integral do controlador primário fica estacionária e só é restabelecida quando a malha secundária voltar a normalidade.

O que se fez, realmente, nessa nova configuração foi incluir a resposta dinâmica da malha secundária dentro do circuito integral do controlador primário. A ação integral do controlador primário pode ser maior que a usual pois qualquer atraso ou variação na resposta da malha secundária é corrigido pela ação do controlador primário.

Há ainda uma vantagem adicional: o controlador primário raramente precisa ser transferido para manual. Quando o controlador secundário estiver em manual, o controlador primário não poderá saturar, pois é quebrada a realimentação positiva para o seu modo integral.

Dois requisitos são essenciais ao novo sistema:

1. o controlador primário deve ter disponível a opção de realimentação externa ao modo integral.
2. o controlador secundário é comum, porém, não pode haver desvio permanente entre sua medição e seu ponto de ajuste. Ou, em outras palavras, o controlador secundário deve ter, obrigatoriamente, a ação integral, para eliminar sempre o desvio permanente.

#### **2.10.3.6 Aplicações**

##### **Reator com temperatura e pressão**

Seja a malha de controle de temperatura do produto de um reator, feito através da manipulação da vazão de entrada de vapor.

Quando a pressão do vapor cai, o seu poder de aquecimento diminui. Para uma mesma vazão,

tem-se uma diminuição da temperatura do produto. Essa diminuição do efeito de aquecimento do vapor só é sentida pela malha de temperatura. O elemento primário sentirá a diminuição da temperatura e irá aumentar a abertura da válvula. Essa correção é demorada. Nesse intervalo de tempo, se houver a recuperação da pressão original, certamente haverá um super aquecimento. Essa oscilação pode se repetir indefinidamente, com o processo nunca se estabilizando, pois a sua inércia é muito grande. O controle do processo é sensivelmente melhorado com o controle em cascata.

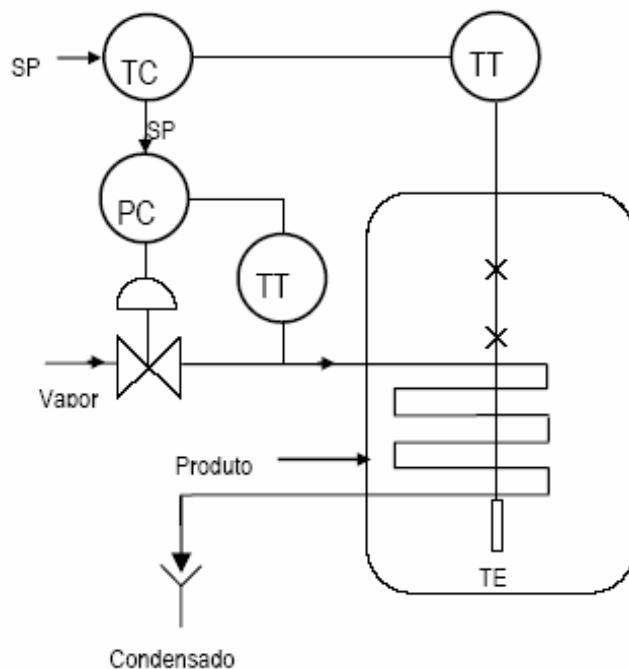
O controle de temperatura do reator anterior é melhorado colocando-se um outro controlador de pressão na entrada da alimentação de vapor. Agora, tem-se o controlador de pressão cascataeado pelo controlador de temperatura. A saída do controlador de temperatura, chamado de primário, estabelece o ponto de ajuste do controlador de pressão, chamado de secundário. Nessa nova configuração, quando houver a diminuição da pressão de vapor, mesmo com a vazão constante, o controlador de pressão irá abrir mais a válvula, para compensar a menor eficiência do vapor. As variações de pressão da alimentação do vapor são corrigidas rapidamente pela malha de pressão e em vez de serem corrigidas lentamente pela malha de temperatura.

#### **Reator com temperatura cascataeando temperatura**

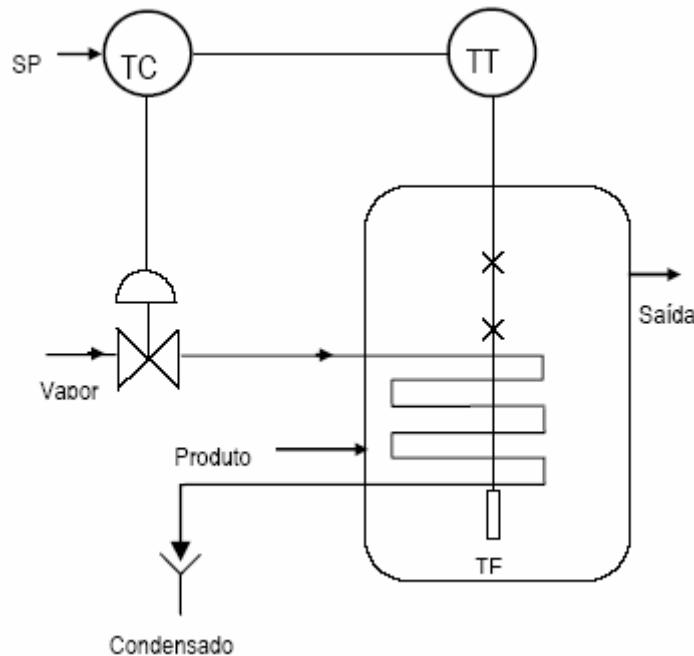
É possível se ter uma variável cascataeando outra variável da mesma natureza, por exemplo, temperatura cascataeando a temperatura.

Uma aplicação típica é a do controle de temperatura de reator, com aquecimento de vapor em jaqueta externa. As variações da temperatura do produto são mais lentas e demoradas que as variações da temperatura da jaqueta de aquecimento. Nessas condições, pode-se usar a temperatura do produto como a variável primária e a temperatura do aquecimento externo como a secundária.

Quando houver variações na temperatura da jaqueta, a correção é feita diretamente pelo controlador secundário.



**Fig.2.44.**  
**Controle de temperatura convencional**



**Fig.2.45.**  
**Controle cascata temperatura – pressão**

## 2.11 Controle de Faixa Dividida

### 2.11.1 Conceito

O objetivo de estender ou dividir a faixa é alterar a faixa normal de um elemento final da que ele dispõe, aumentando ou diminuindo-a.

Este controle é chamado de *split range*. Por exemplo, em vez de a válvula operar entre 20 e 100 kPa (normal), ela opera entre 20 e 60 kPa (metade inferior) ou entre 60 e 100 kPa (metade superior).

O controle de faixa dividida ou de *split range* consiste de um único controlador manipulando dois ou mais elementos finais de controle. Neste controle, é mandatório o uso do posicionador da válvula. Os posicionadores são calibrados e ajustados e as ações das válvulas são escolhidas para que os elementos finais de controle sejam manipulados convenientemente.

Por exemplo, uma válvula pode operar de 0 a 50% do sinal e a outra de 50 a 100% do sinal de saída do controlador.

### 2.11.2 Aplicações

#### Aquecimento e resfriamento

A Fig.2.47 mostra um esquema de controle de temperatura para um processo batelada (batch), usando um tanque de reação química que requer a temperatura de reação constante. Para começar a reação o tanque deve ser aquecido e isto requer uma vazão de vapor através da serpentina. Depois, a reação exotérmica produz calor e o tanque deve ser resfriado e isto requer

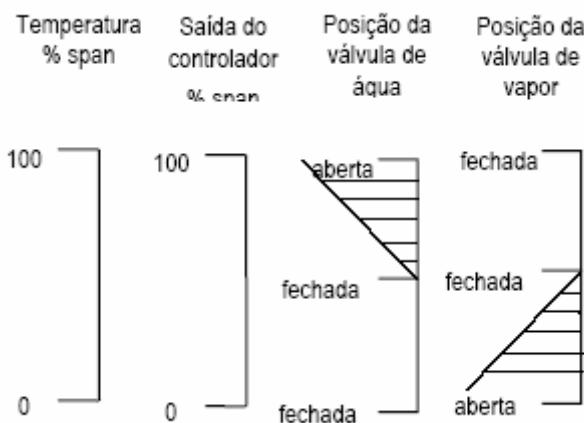
# CST

## Arcelor Brasil

uma vazão de fluido refrigerante, através de outra (ou da mesma) serpentina.

O controle suave da temperatura é conseguido pelo seguinte sistema básico:

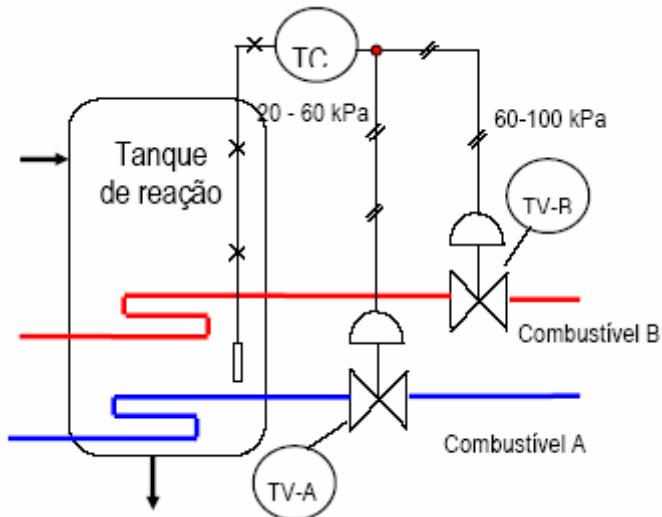
1. a saída do controlador de temperatura varia gradualmente quando a temperatura do tanque aumenta
2. quando o controlador solicita que a válvula de aquecimento esteja totalmente aberta, a válvula de resfriamento deve estar totalmente fechada;
3. quando o controlador solicita que a válvula de resfriamento esteja totalmente aberta, a válvula de aquecimento deve estar totalmente fechada;
4. no meio do caminho, ambas as válvulas devem estar simultaneamente fechadas, de modo que não haja nem aquecimento nem resfriamento.
5. cada válvula se move de modo contrário e seqüencial à outra.



**Fig.2.46.**  
**Sistema de controle de faixa dividida**

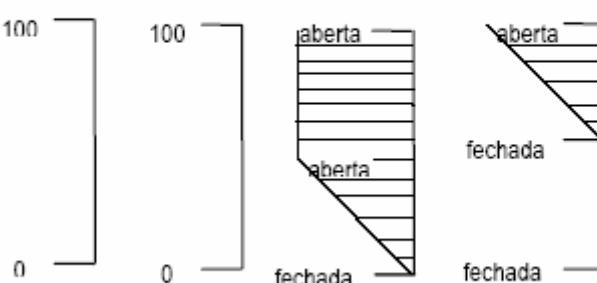
### Temperatura com dois combustíveis

Também há aplicações envolvendo o aquecimento por dois combustíveis, onde a primeira válvula A (do combustível mais barato) é atuada pela saída do controlador, indo de 0 a 100% de abertura. Depois de totalmente aberta, a segunda válvula B (do combustível mais caro) começa a atuar, indo também de 0 a 100%. Neste caso, pode-se ter as duas válvulas totalmente fechadas (no início do processo) ou totalmente abertas, (no máximo aquecimento) simultaneamente.



**Fig.2.47.**  
**Sistema com dois Combustíveis**

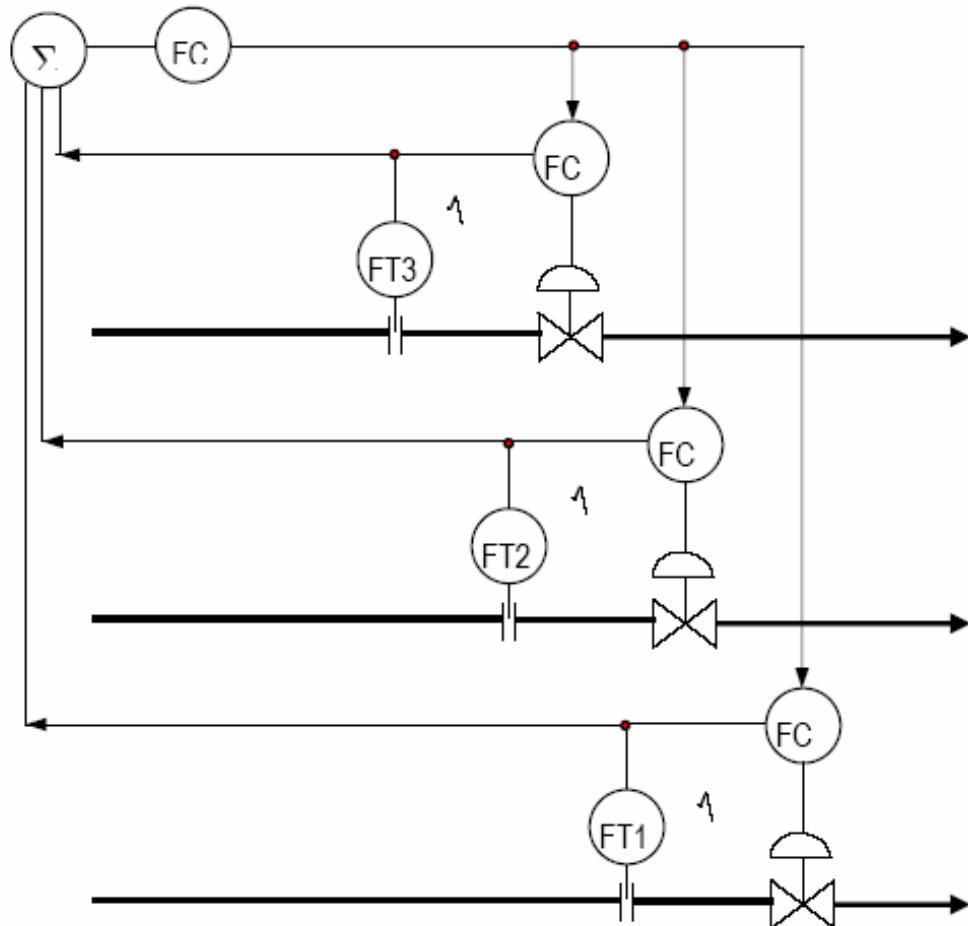
Temperatura % span	Saída do controlador	Posição da válvula A	Posição da válvula B
100	100	aberta	aberta



**Fig.2.48.**  
**Controle de Faixa Dividida**

## 2.12 Balanço de Cargas

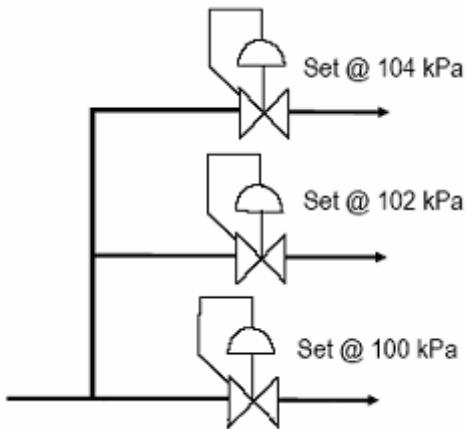
O objetivo do controle com balanço de carga é permitir a regulação da saída comum (somada) de várias malhas. Os estados operacionais são qualquer combinação dos estados normais de operação das malhas individuais. Qualquer malha pode estar em manual e a malha externa ainda tenta manter a vazão total em seu ponto de ajuste. Os parâmetros operacionais são os de todos os controladores, incluindo o controlador mais externo que balanceia a carga. (Isto não quer dizer que todas as combinações sejam úteis.)



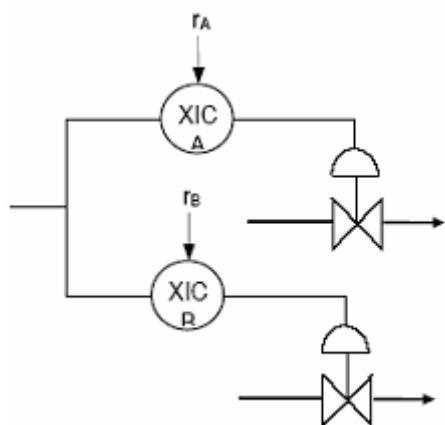
**Fig.2.49.**  
**Controle de balanço de cargas**

### 2.13 Controle de malhas redundantes

O objetivo do controle com malhas redundantes é fornecer controle mesmo quando há falha de uma malha, ou fazer controladores operarem em tempos diferentes, através da inclusão de ações de controle ou ajustes de ganho ou em pontos diferentes, através de diferentes pontos de ajuste.



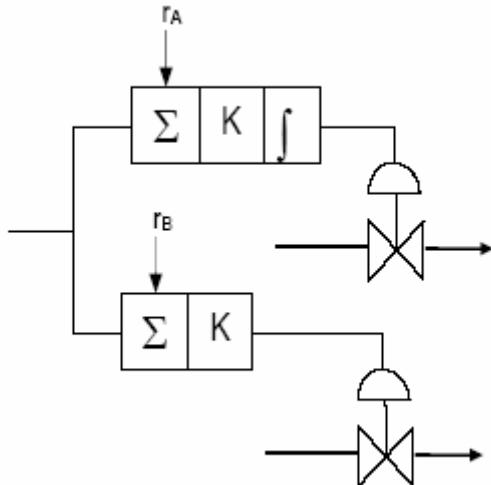
**Fig.2.50.**  
**Backup simples, malhas redundantes.**



**Fig.2.51.**  
**Malhas redundantes com ajustes de ganhos diferentes (controlador com maior ganho atua primeiro)**

A ação integral torna o controlador mais lento, de modo que um controlador PI é mais lento que um controlador P. A ação derivativa torna o controlador mais rápido, de modo que um controlador PID é mais rápido que um controlador PI.

Controlador com ganho grande (banda proporcional estreita) é mais rápido que um com ganho pequeno.



**Fig.2.52.**

**Malhas redundantes, com ações de controle diferentes (controlador P atua antes do controlador PI)**

## 2.14 Controles chaveados

Os conceitos de controle chaveados são divididos em

1. seletivo
2. seletor (alta ou baixa)
3. estrutura variável

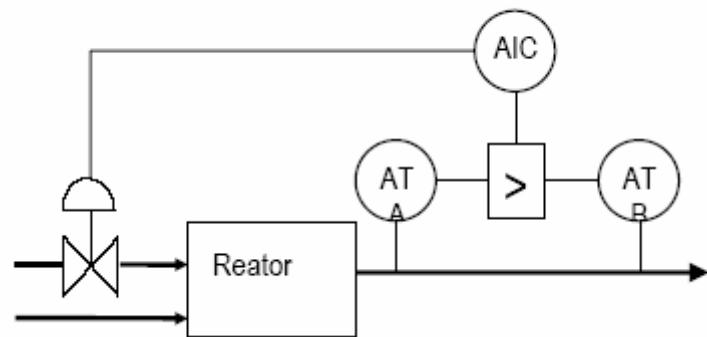
O controle seletivo Fig.2.53 envolve um chaveamento na entrada do controlador, que recebe o sinal de dois transmissores de análise. Quando um deles falha, o outro assume a função de enviar o sinal de medição.

O controle seletor Fig.2.54 envolve dois (ou mais) controladores com o chaveamento na saída, pois há um único elemento final de controle. Em operação normal o controlador de vazão (FIC) opera; quando o nível se aproxima de um valor crítico (muito baixo), automaticamente o controlador LIC assume o controle. Nesta configuração, é necessária a proteção contra saturação do modo integral dos controladores, pois o controlador que está fora de controle, mas ligado, pode saturar se tiver a ação integral.

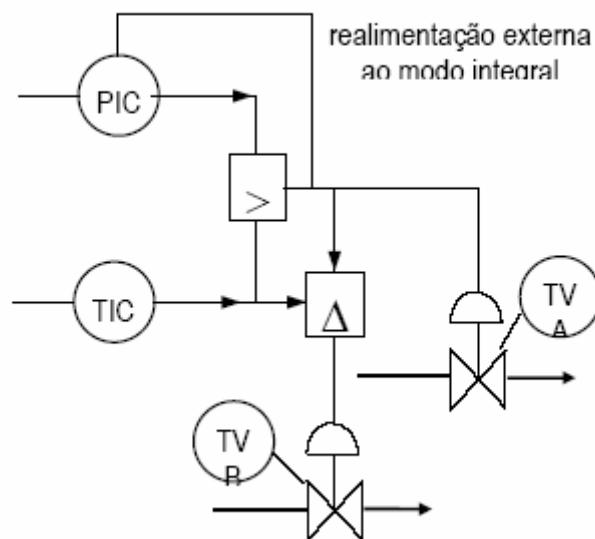
O controle de estrutura variável Fig.2.54 permite ao controlador TIC controlar o processo com uma válvula TVA, até que a pressão atinja valor perigoso. Agora o controlador de pressão assume o controle da válvula principal e o controlador de temperatura atua na válvula secundaria, TVB.

Também é necessária a realimentação externa ao modo integral ao PIC, para evitar a saturação da saída (não é necessária a realimentação ao TIC, pois ele sempre está operando).

Todo esquema de controle seletor chaveado inclui obrigatoriamente um seletor de sinais.



**Fig.2.53.**  
**Controle chaveado**

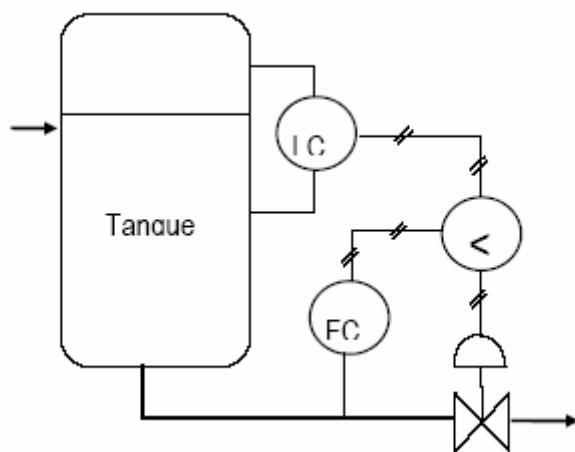


**Fig.2.54.**  
**Controle auto-seletor, com proteção contra saturação do modo integral.**

## 2.15 Controle Auto-Seletor

### 2.15.1 Conceito

O controle auto-seletor é também chamado de controle seletivo, limite, *override* ou *cut-back*. Há situações onde a malha de controle deve conhecer outras variáveis controladas, por questão de segurança e controle. Isto é principalmente verdade em plantas altamente automatizadas, onde o operador não pode tomar todas as decisões nas situações de emergência, de partida e de parada do processo.



**Fig.2.55.**  
**Controle auto-seletor entre nível e vazão do tanque**

O controle auto-seletor é uma forma de controle multivariável, em que a variável manipulada pode ser ajustada em qualquer momento, por uma variável, selecionada automaticamente entre diversas variáveis controladas diferentes.

A filosofia do controle auto-seletor é a de se usar um único elemento final de controle manipulado por um controlador, selecionado automaticamente entre dois ou mais controladores. Tendo-se duas ou mais variáveis medidas, aquela que estiver em seu valor crítico assumem o controle do processo.

Outro enfoque de se ver o controle auto-seletor é considerar os dois controladores ligados a uma única válvula de controle. Em condições normais, uma malha comanda a válvula; em condições anormais, a outra malha assume automaticamente o controle, mantendo o sistema dentro da faixa de segurança. O controle normal é cortado apenas durante o período necessário para se restabelecer a segurança do sistema. Quando a condição anormal desaparece, a malha normal assume novamente o controle.

### 2.15.2 Exemplos

O conceito de controle seletivo ou auto-seletor é explicado pelo exemplo na Fig.2.56, que mostra um tanque cujo nível é controlado pela modulação da válvula de controle na linha de dreno de saída. A vazão do dreno do tanque é controlada usando-se a mesma válvula. Há duas exigências do processo:

1. em operação normal, o tanque é esvaziado com uma vazão constante, estabelecida no

controlador de vazão. Vazão muito elevada é considerada crítica.

2. o nível muito baixo é considerado uma situação critica que deve ser evitada. Quando o nível ficar muito baixo, o controlador de nível entra automaticamente em ação e substitui o controlador da vazão. Quando a vazão tender a aumentar, o controlador de vazão está em ação e também corta o excesso de vazão. Sempre, a válvula toma a posição menos aberta dos comandos dos dois controladores.

A escolha de qual controlador deve assumir o controle é feita automaticamente por um relé seletor, que faz uma transição suave de um sinal de entrada para outro. A função seletora deste relé pode ser incorporada ao circuito do controlador.

Note que esta configuração é totalmente diferente do controle de cascata. No controle de cascata, nível cascateando a vazão, o ponto de ajuste do controlador de vazão é estabelecido automaticamente pelo controlador de nível. Assim, quando o nível diminui, a saída do controlador também diminui e o ponto de ajuste do controlador de vazão também diminui. No controle de cascata, a vazão é diminuída continuamente pelo abaixamento do nível.

No controle auto-seletor, a vazão é constante e o valor é estabelecido externamente pelo operador de processo. Em operação normal, a vazão é a variável controlada e manipulada, ao mesmo tempo.

Quando o nível atinge um valor crítico, automaticamente o controlador de nível assume o controle. A partir deste ponto, a vazão de saída do tanque tende a diminuir com a diminuição do nível do tanque. Quando o nível é baixo, a variável controlada passa a ser o nível e a manipulada continua sendo a vazão.

Outro exemplo de sistema de controle seletivo envolve sistemas com mais de um elemento sensor. Os sinais de três transmissores de temperatura localizados em vários pontos ao longo de um reator tubular entram em um seletor de alta (HS). A temperatura mais elevada é enviada ao controlador de temperatura cuja saída manipula a água fria. Assim, este sistema controla o pico de temperatura no reator, qualquer que seja o ponto onde ela esteja.

Outro exemplo comum é o controle de duas vazões de um reator, onde o excesso de um dos reagentes poderia levar a composição no reator para uma região onde poderia haver explosão. Assim, é vital que a vazão deste reagente seja menor do que alguns valores críticos, relativos a outra vazão. São usadas medições múltiplas e redundantes da vazão e o maior sinal das vazões é usado para o controle. Em adição, se as diferenças entre as medições de vazão excedem em algum valor razoável, o sistema inteiro será *intertravado*, até que a causa da discrepância seja encontrada.

Assim, os controles override e seletivo são muito usados para manipular problemas de restrições e segurança. Os limites de alta e baixo nas saídas do controlador são também muito usadas para limitar o valor da variação permitido.

### 2.15.3 Características

O sistema de controle auto-seletor, qualquer que seja o seu enfoque, sempre possui os seguintes componentes:

1. duas ou mais malhas de controle, com os transmissores de medição e os controladores.
2. um seletor de sinais, de mínimo ou de máximo. O seletor eletrônico de sinais pode receber até quatro sinais simultâneos. O seletor pneumático só pode receber dois sinais de entrada e são usados  $(n-1)$  seletores quando se utilizam  $n$  controladores pneumáticos.
3. um único elemento final de controle.

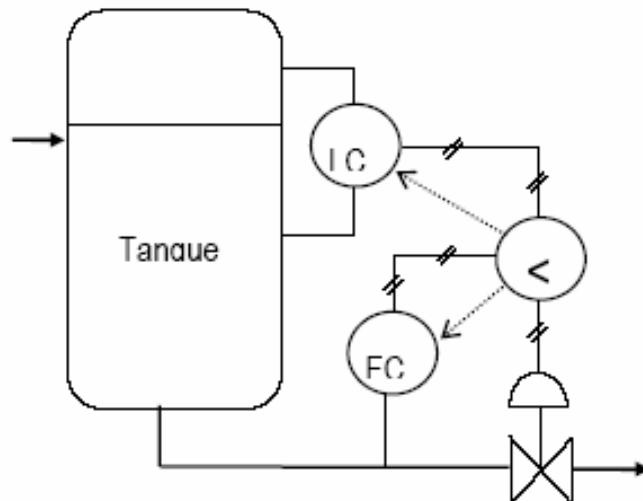
4. opcionalmente, o sistema pode ter uma estação manual de controle (HIC), para a partida suave. Há sistemas que provêm todos os controladores com a opção de seleção e atuação automático-manual e outros que possuem uma única e independente atuação manual.

#### 2.15.4 Cuidado para a não Saturação

No controle auto-seletor apenas um controlador atua, enquanto todos os outros estão fora do circuito. O sinal de um controlador vai até a válvula, os sinais de todos os outros acabam no seletor de sinais.

Esta é a condição mais favorável para o aparecimento da saturação: a saída inoperante de um controlador automático, contendo o modo integral e em funcionamento.

Para se evitar a saturação das saídas de todos os controladores que estejam na malha e cujos sinais são inoperantes, pois apenas um sinal é selecionado nos controladores do sistema, sem exceção. Essa realimentação é feita para o circuito integral de cada controlador do sistema e, portanto, todos devem ter essa possibilidade extra de realimentação externa.



**Fig.2.56.**  
**Realimentação externa para evitar saturação do modo integral dos controladores.**

A realimentação da saída do seletor de sinais para todos os controladores está redundante para aquele controlador momentaneamente selecionado e atuante no processo, porém a realimentação é essencial a todos os controladores restantes, pois ela os impede de saturarem.

Quando se tem o controlador eletrônico, basta prove-lo com a opção de realimentação externa. Quando se usam controladores pneumáticos e vários seletores de sinais são possíveis, através de ajustes convenientes nos seletores, se consegue um controle satisfatório do sistema. Porém, em sistemas mais difíceis é necessário se prover cada controlador pneumático com uma chave batelada, para otimizar a resposta dinâmica do processo. Mas, a aplicação das chaves só é necessária e justificável quando o processo sofre variações bruscas, se aproximando de um processo descontínuo, tipo batelada.

### **2.15.5 Aplicações**

O sistema de controle unitário de seleção automática é empregado nos seguintes casos:

1. para proteção de equipamentos, quando a saída do controlador da variável que atinge valores perigosos é cortada e outro controlador assume o controle.
2. para aumentar a confiabilidade da malha de controle, quando são colocados instrumentos redundantes.

É o que ocorre em instrumentação de plantas nucleares, onde se utilizam geralmente três transmissores para cada variável crítica; um seletor de sinais escolhe o valor mais seguro, conforme uma programação pré-determinada. Para otimizar o controle do sistema, de modo que a variável com valor mais próximo do valor crítico seja a responsável pelo controle. Têm-se vários controladores, porém, apenas o controlador da variável com o valor crítico assume o controle do sistema.

O operador final do controle estará sempre numa posição segura.

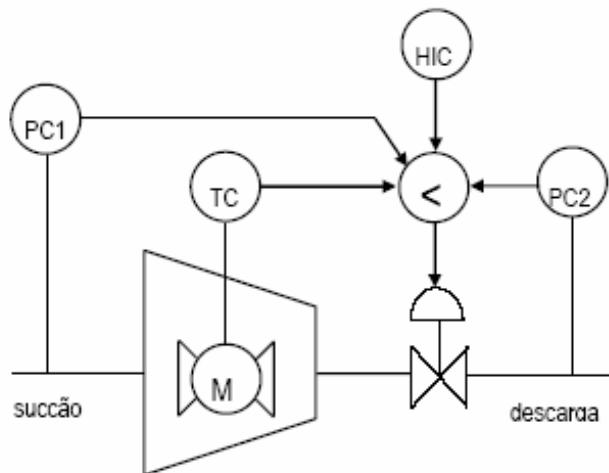
### **Controle de Compressor**

O funcionamento correto do compressor depende basicamente de três variáveis:

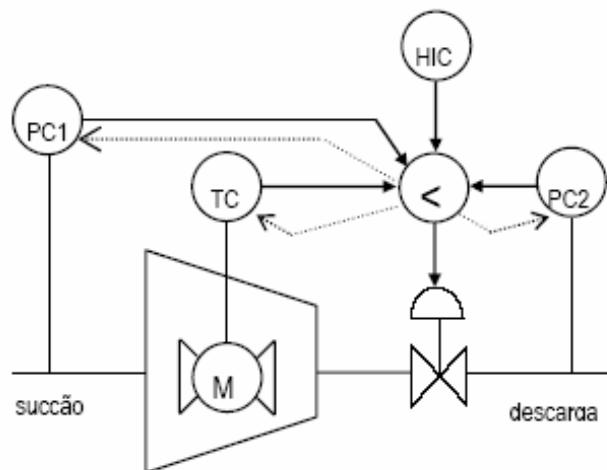
1. a pressão de sucção, que não pode ser muito baixa. Se a pressão de sucção for muito baixa, há problema de cavitação na bomba e o compressor pode inverter o sentido do fluxo.
2. a carga do motor, que não pode ser muito alta, sob pena de se queimar o motor.
3. a pressão de descarga, que não pode ser muito elevada.

Se a pressão da descarga subir muito, a vazão após a válvula pode aumentar demais e ficar pulsante e descontínua. O sistema de controle auto-seletor para o compressor é constituído de:

1. o transmissor e o controlador de pressão de sucção, de ação direta.
2. o transmissor de temperatura (ou corrente elétrica), proporcional a carga do motor elétrico, com controlador de ação inversa.
3. o transmissor e o controlador da pressão de descarga, com ação inversa.
4. o gerador de rampa, para a partida suave do sistema. O sinal gerador manualmente deve ser da mesma natureza que os sinais de saída dos controladores.
5. o seletor de sinais, no caso seletor do sinal mínimo. Quando o equipamento é pneumático, é necessário se utilizar vários reles, pois o relé pneumático só pode receber dois sinais simultâneos nas entradas.
6. a válvula de controle, com ação ar para-abrir.
7. como os controladores possuem a ação integral e para impedir que os modos integrais saturem, todos os controladores devem possuir a opção extra de realimentação externa ao modo integral. O sinal da saída do relé seletor, que vai para o elemento final de controle, deve ser realimentado externamente a todos os controladores.



**Fig.2.57.**  
**Controle auto-seletor de compressor**



**Fig.2.58.**  
**Controle auto-seletor com proteção contra Saturação do modo integral dos controladores**

## 2.16 Controle Feed-forward

### 2.16.1 Introdução

Alguns assuntos da área de teoria de controle de processo são conhecidos apenas pelo ouvir dizer. As pessoas, mesmo as do ramo, sabem de sua existência, conhecem superficialmente alguns conceitos, mas não passam disso. Certamente o controle preditivo antecipatório (*feed-forward*) é um desses assuntos, que o pessoal considera muito complicado e avançado para ser

aplicado no controle do processo de seu interesse.

O autor traduziu livremente o termo *feed-forward* como preditivo e antecipatório.

Na literatura técnica esse tipo de controle é chamado indistintamente de preditivo e de antecipatório. Ambos os nomes são justificados e fazem sentidos: a ação preditiva do controlador antecipa o aparecimento do erro no sistema. No presente trabalho, mesmo parecendo uma redundância, serão usados os dois nomes simultaneamente.

A maioria das estruturas de sistema de controle usa o conceito de realimentação negativa (feedback). Um erro deve ser detectado na variável controlada antes do controlador tomar uma ação corretiva para a variável manipulada. Assim, os distúrbios devem perturbar o processo antes que o controlador possa fazer algo.

Parece muito razoável que, se pudesse detectar um distúrbio entrando no processo, se começasse a corrigir o antes que ele perturbasse o processo. Esta é a idéia básica do controle preditivo antecipatório (*feed-forward*). Se for possível medir o distúrbio e envia-se este sinal através de um algoritmo de controle preditivo antecipatório que faça correções apropriadas na variável manipulada de modo a manter a variável controlada próxima de seu ponto de ajuste.

O controle preditivo antecipatório necessita de ferramentas matemáticas específicas, para ser realizado quantitativamente.

### **2.16.2 Funções Básicas**

As principais funções do controle preditivo antecipatório são:

1. detectar os distúrbios quando eles entram no processo e afetam a variável controlada
2. fazer computações matemáticas com esses dados e outros arbitrariamente estabelecidos
3. fazer compensação dinâmica do tempo de resposta, considerando as características dinâmicas do processo.
4. prever o comportamento da variável controlada e estabelecer o valor e a ocasião a ser aplicada da ação de controle e
5. manipular as variáveis do processo, de modo que as variáveis controladas da saída sejam mantidas constantes e iguais aos pontos de ajuste estabelecidos.

Deve se tomar cuidado de não confundir os conceitos de ação derivativa do controlador convencional e de controle preditivo antecipatório. A ação derivativa do controlador também apressa a ação corretiva do controlador e, freqüentemente, é chamada de ação antecipatória. Porém, ela será sempre uma ação corretiva, só atuando após o aparecimento do erro. Em resumo: a ação derivativa melhora a resposta dinâmica do controlador, porém, o princípio de atuação é totalmente diferente daquele do controle preditivo antecipatório.

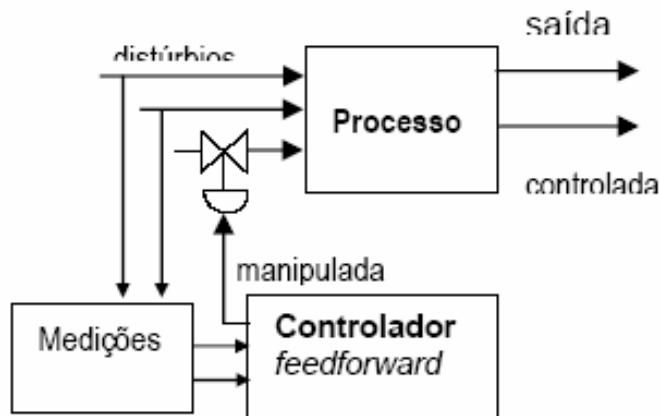
### **2.16.3 Partes Fundamentais**

As partes fundamentais do controle antecipatório são:

1. a medição da variável de processo, através de transmissores ou diretamente do processo,
2. o mecanismo de computação matemática, que manipula o valor da medição, recebe outros dados externos ao processo, como equações termodinâmicas, tabelas de dados,
3. o controlador do processo, que gera um sinal automático, relacionado com o valor da medição e das equações matemáticas de balanço de energia e de massa;
4. o elemento final de controle, ligado diretamente ao processo e recebendo o sinal do controlador;

5. o processo, que fecha a malha de controle.

Além das medições das variáveis na entrada do processo, há uma predição do resultado, após a computação matemática do valor medido nas equações fornecidas ao computador. Há um prognostico, como no controle de malha aberta e há uma ação corretiva, baseada na medição e no programa, como no controle de realimentação negativa.

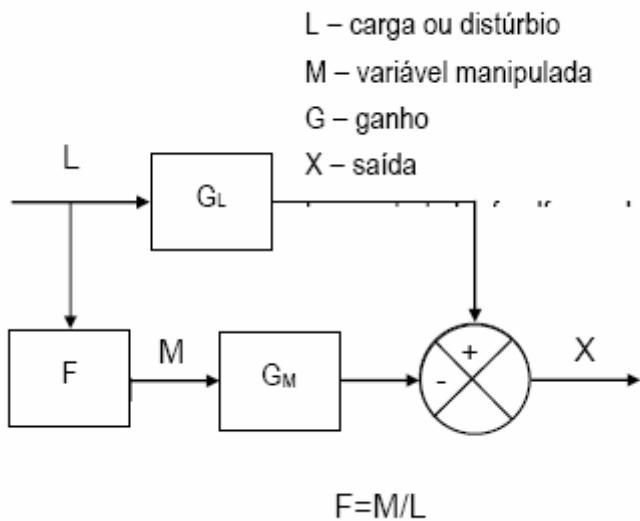


**Fig.2.59.**  
**Malha fechada feed-forward (preditiva antecipatória)**

#### 2.16.4 Características

As principais características do controle preditivo antecipatório são:

1. a ação do controlador é preditiva, baseada em um prognóstico. O controlador não espera que o desvio entre a medição e o ponto de ajuste seja detectado, através do processo, para atuar na variável manipulada. A atuação é feita no momento mais adequado, de modo que não haja aparecimento do erro. A variável manipulada é atuada antes que os distúrbios, principalmente a variação de carga do processo, afetem a variável controlada.
2. o controlador prevê quanto de ação deve ser aplicada e quando é mais conveniente. Geralmente se fala que o controlador toma uma providência imediata. Será visto mais tarde que, há aplicações, onde a ação é proposital e artificialmente adiantada ou atrasada.
3. o controlador faz medições nas variáveis de entrada e atua na variável manipulada, também na entrada do processo. Não há medição da variável controlada, pois não há realimentação. Por esse motivo, há quem diga que o controle preditivo antecipatório é de malha aberta, o que é incorreto. Mesmo não havendo realimentação, a malha de controle é fechada pelo processo.
4. o balanço entre o suprimento e a demanda é conseguido pela medição da carga da demanda real, pelo cálculo da demanda potencial e pela atuação no suprimento do processo. As medições, os pontos de ajuste e os cálculos matemáticos são usados para estabelecer a ação de controle a ser aplicada antes do aparecimento do erro entre medição e ponto de ajuste.
5. o distúrbio está na entrada do processo e na entrada do controlador. O conceito envolve o fluxo de informações adiante da malha.
6. teoricamente, quando bem projetado e calculado, um controlador preditivo antecipatório pode executar um controle perfeito. Seu erro é devido aos erros das medições e dos cálculos feitos por equipamentos reais. Quanto mais difícil e complexa for a computação, maior será o erro antecipado.
7. O controlador preditivo antecipatório não exibe nenhuma tendência a oscilação.



**Fig.2.60.**

**Diagrama de blocos do sistema de controle preditivo antecipatório (feed-forward)**

### 2.16.5 Limitações

A primeira aplicação prática do controle preditivo antecipatório foi em 1925, no controle de nível de caldeira.

Embora o seu resultado possa ser teoricamente perfeito, o seu desenvolvimento foi lento, principalmente pelas limitações na sua aplicação prática e pelos seguintes motivos:

1. os distúrbios que não são medidos, ou porque são desconhecidos ou suas medições são impraticáveis, tornam o resultado do controle imperfeito. As alterações da variável controlada não são compensadas pelo controlador, porque não foram consideradas. Todo distúrbio que afete a variável controlada deve ser detectado e medida; quando não se pode medi-lo, não se pode usar o conceito de controle preditivo antecipatório.
2. deve se saber como os distúrbios e as variáveis manipuladas afetam a variável controlada. Deve se conhecer o modelo matemático do processo e a sua função de transferência, no mínimo, de modo aproximado. Uma das características mais atraente e fascinante do controle preditivo antecipatório é que, mesmo sendo rudimentar, aproximado, inexato e incompleto, o controlador pode ser muito eficiente na redução do desvio causado pelo distúrbio.
3. As imperfeições e erros das medições, dos desempenhos dos instrumentos e das numerosas computações provocam desvios no valor da variável controlada. Tais desvios não podem ser eliminados porque não são medidos ou conhecidos.
4. a pouca disponibilidade ou o alto custo de equipamentos comerciais que pudessem resolver as equações matemáticas desenvolvidas e simulasse os sinais analógicos necessários para o controle. Porém, com o advento da eletrônica de circuitos integrados aplicada a computadores, a microprocessadores e a instrumentos analógicos, foram conseguidos instrumentos de altíssima qualidade, baixo custo, fácil operação, extrema confiabilidade e, principalmente, adequados para implementar a técnica avançada de controle preditivo antecipatório.

## 2.16.6 Comparação com o Feedback

### Semelhanças

Mesmo sendo conceitualmente diferente a malha de controle com realimentação negativa possui algumas características comuns a malha de controle preditivo antecipatório. Assim,

1. ambas as malhas são fechadas.
2. em ambas as malhas há os componentes básicos: dispositivo de medição, controlador e válvula atuadora.
3. o controlador é essencialmente o mesmo, para ambas as malhas.
4. ambos controladores possuem o ponto de ajuste, essencial a qualquer tipo de controle.

### Diferenças

As diferenças entre os sistemas com realimentação negativa e preditivo antecipatório são mais acentuadas.

No controle com realimentação negativa a variável controlada é medida, na saída do processo. O controlador atua nas variáveis manipuladas de entrada para manter a variável controlada igual ou próxima os valores desejados. Como a variável controlada depende de todas as variáveis de entrada, indiretamente através do processo e geralmente com atraso, o controle com realimentação negativa leva em consideração todas as variáveis de entrada. Porém, os atrasos na ação corretiva podem ser praticamente inaceitáveis, em alguns processos de grande capacidade e longo termo morto.

No controle preditivo antecipatório as variáveis de saída controladas não são medidas para a comparação com o valor desejado. O controlador apenas mede as variáveis de entrada detectáveis e conhecidas, recebe o valor do ponto de ajuste, recebe outras informações do processo e computando todos esses dados, prevê o valor e a ocasião adequados para a ação de controle ser aplicada na variável manipulada de entrada.

Ele é mais convencido que o controlador com realimentação negativa: não verifica se a ação de controle levou a variável controlada para o valor de referência ajustado. Há casos onde a previsão foi incorreta e consequentemente, há erro na variável controlada. Também, os efeitos das variáveis de entrada não medidas não são compensados pelo controle preditivo antecipatório.

### Associação

As vantagens e desvantagens de ambos sistemas são complementares, de modo que a associação dos dois sistemas é natural.

Desse modo, em sistemas de controle difícil que requerem malhas de controle complexas, é prática universal a associação dos dois conceitos de controle.

As responsabilidades de controle ficam assim distribuídas:

1. o controlador preditivo antecipatório cuida dos distúrbios e variações de carga grandes e freqüentes que afetam as variáveis controladas.
2. o controlador a realimentação negativa cuida de quaisquer outros erros que aparecem através do processo, cuida dos efeitos dos distúrbios não medidos, cuida dos erros residuais provocados pelas imprecisões dos instrumentos reais de medição, controle e computação da malha antecipatória.

Como o principal objetivo do controlador a realimentação negativa é eliminar o desvio permanente, ele deve ser, necessariamente, proporcional mais integral (PI). Como a quantidade de trabalho a ser executado por ele é diminuído pela presença do controlador preditivo, normalmente basta ser PI.

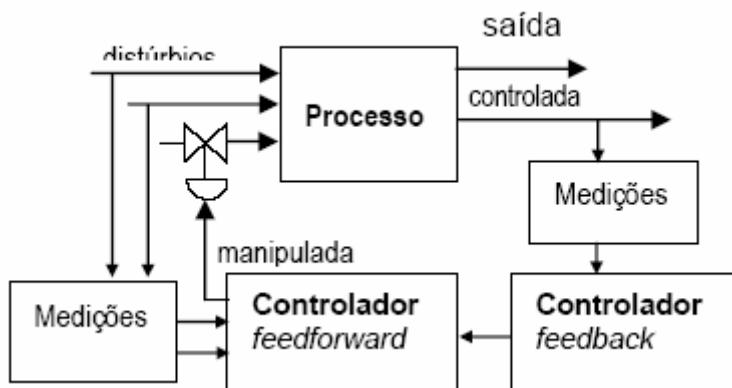
A presença do controlador preditivo antecipatório na malha de controle à realimentação negativa

não provoca tendência a oscilação. Em termos de função de transferência, a presença do controlador preditivo não altera o denominador da função de transferência original.

A configuração mais utilizada na associação das duas malhas de controle é o sistema em cascata. Porém, é controvertida a opção de quem cascateia quem. Shinskey diz que é mandatório que o controlador à realimentação estabeleça o ponto de ajuste do controlador preditivo.

Porém, em todas as aplicações práticas, raramente o sinal do controlador preditivo é aplicado diretamente na válvula de controle.

Nessa configuração, é o controlador preditivo que estabelece o ponto de ajuste do controlador convencional a realimentação negativa.



**Fig.2.61.**  
**Controle feedback cascateando o feed-forward**

### 2.16.7 Desenvolvimento do Controlador

Qualquer processo pode ser descrito em termos das relações entre as suas saídas e suas entradas. As saídas do processo são as variáveis dependentes e geralmente são as variáveis a serem controladas. As variáveis de entrada são as independentes. Embora todas as variáveis de entrada afetem as de saída, elas podem, sob o ponto de vista de controle, ser divididas em três grupos:

1. variáveis de entrada que podem ser detectadas e medidas;
2. variáveis de entrada desconhecidas e não possíveis de ser medidas praticamente.
3. variáveis de entrada manipuladas, para a obtenção do controle.

As variáveis de entrada que chegam ao processo em pontos diferentes afetam de modo diferente as variáveis controladas. A aplicação do sistema de controle preditivo antecipatório requer o conhecimento prévio e completo do processo a ser controlado. Antes de se aplicar o controle preditivo antecipatório, deve ser possível desenvolver as equações termodinâmicas, geralmente de balanço de materiais e de balanço de energia,

que modelam o processo. E, principalmente, deve-se conhecer a integração entre ambos balanços. Aliás, o desenvolvimento do controle antecipatório foi atrasado por causa da falta de tais conhecimentos.

Assim que as equações são escritas e resolvidas para a variável controlada, devem ser especificados os equipamentos de controle, comercialmente disponíveis, que as manipulem. A falta desses equipamentos e o seu alto custo, também dificultaram a implementação do controle

preditivo antecipatório. Tais equipamentos podem ser pneumáticos ou eletrônicos. Atualmente, são mais usados os instrumentos eletrônicos, principalmente os microprocessadores de processo. Computações que requerem dois ou mais instrumentos pneumáticos interligados são feitas por um único instrumento eletrônico, com maior precisão, menor custo, maior confiabilidade e operação mais simples.

O processo opera em duas situações distintas: em regime e em transitórios entre regimes. Mesmo depois de estabilizado, o processo sofre variações transitórias quando há variação em sua carga. O controlador preditivo é o modelo matemático do processo e, portanto, deve também possuir duas componentes: dinâmica e estática. Essa divisão é essencial principalmente durante a Calibração e ajuste de partida.

O controlador de regime permanente é igual ao dinâmico, quando a variável manipulada de entrada e os distúrbios de entrada estão matematicamente localizados do mesmo lado, relativamente ao lado da variável de saída controlada.

#### **Desenvolvimento da equação do controlador**

As equações termodinâmicas de balanço de energia e de materiais são usadas para se chegar ao controlador preditivo antecipatório de regime estático. As equações diferenciais, relativas aos transitórios dos processos determinam o modelo do controlador transitório. Obviamente, o controlador de regime permanente é mais fácil de ser desenvolvido e modelado que o transitório. O procedimento a ser seguido é mais ou menos o seguinte:

1. definir todas as variáveis do processo, separando-as em distúrbios mensuráveis, variáveis controladas e variáveis manipuladas. Também devem ser conhecidas as constantes do processo, tais como capacidades de tanque, diâmetros de tubulações, densidades de produtos, pontos de ajuste das variáveis controladas.

Sempre que uma variável de processo é pouco alterada, ela deve ser considerada como constante. Os fatos de medir ou não medir um distúrbio de entrada e de considerar ou não considerar constante uma variável do processo podem tornar linear o modelo do controlador preditivo antecipatório.

2. fazer as hipóteses simplificadoras, relativas ao processo. Por exemplo, quando se tem um tanque de mistura, deve se considerar perfeita a mistura.

As perdas de calor nas vizinhanças de um tocador de calor devem ser consideradas desprezíveis. O acúmulo de calor nas paredes de um reservatório é nulo. As capacidades de calor independem da temperatura do processo. São essas simplificações que tornam nítidos e separados os modelos estáticos e dinâmicos do controlador.

3. escrever as equações termodinâmicas e diferenciais, na forma dimensional padrão. Reescrever as equações, atribuindo-se as entradas e saídas os sinais analógicos normalizados (valores entre 0 e 1,0).

4. resolver a equação, ou seja, encontrar o sinal de saída em termo de todos os sinais de entrada mensuráveis. Para encontrar a equação do controlador, o modelo do processo é invertido: as variáveis manipuladas são as incógnitas e as variáveis controladas e as entradas medidas do processo são as variáveis independentes da equação matemática. Na solução, as variáveis controladas devem assumir os valores dos pontos de ajuste e entrar como constantes na equação. A equação final é a equação do controlador preditivo antecipatório e está na forma escalonada. Ela mostra como o controlador deve atuar ou modificar a variável manipulada. Em sistemas mais complexos, o método analítico anterior também se torna muito complexo e impraticável. A solução é usar técnicas numéricas.

### **Componentes do controlador**

A equação resultante do controlador preditivo antecipatório, conseguida a partir do modelo do processo, pode possuir mais de um termo, referente as componentes, computação analógica e compensação dinâmica. O controlador preditivo antecipatório possui as ações de controle convencionais: proporcional, integral e derivativa. Aliás, todo o controlador é igual ao convencional, de realimentação negativa. Ele recebe ponto de ajuste, local ou remoto, possui chave de transferência automática manual. Quando há associação dos conceitos de controle a realimentação e preditivo antecipatório, há aplicações que utilizam apenas a unidade de controle da malha com realimentação negativa. Apenas são usados os módulos de compensação dinâmica e de computação. A computação matemática é essencial ao controle preditivo antecipatório. A unidade de computação recebe todos os sinais analógicos, provenientes das medidas dos distúrbios e cargas de entrada mensuráveis.

O equipamento pode ser pneumático ou eletrônico, embora o eletrônico moderno seja mais eficiente, barato, versátil e preciso. As operações matemáticas envolvidas são: multiplicação, divisão, extração de raiz quadrada, soma, subtração, integração e polarização.

O compensador dinâmico corrige o desbalanço do transitório do processo. Sempre é necessária a compensação dinâmica quando os elementos dinâmicos da variável manipulada e da carga são diferentes. Quando são iguais e quando a variável manipulada e a carga entram no mesmo local do processo, em relação a variável controlada, o compensador dinâmico pode ser dispensado. Por exemplo, no controle de relação de vazões, não se usa o compensador dinâmico. O compensador dinâmico é também chamado de unidade de avanço /atraso (lead /lag) A função avanço /atraso só se processa durante os transitórios do processo, provocados pela variação de sua carga. A unidade avanço /atraso repete o sinal de entrada na sua saída quando a entrada é constante.

Quando há variação na entrada, o sinal de saída é atrasado ou adiantado. Obviamente, é impossível se fazer uma compensação quando se deve criar um avanço de tempo.

Na prática, isso é conseguido fazendo-se um atraso na saída do controlador.

O compensador dinâmico, desse modo, pode ser colocado antes ou depois do controlador. Quando anterior ao controlador, ele modifica o sinal da variável medida.

Quando há associação das malhas de realimentação e preditiva antecipatório, deve se cuidar de sempre deixar o compensador dinâmico fora da malha de realimentação.

### **2.16.8 Aplicações**

Nem todo processo requer a aplicação do controle preditivo antecipatório. Inclusive, há processos onde a implementação do controle antecipatório é impossível ou impraticável.

Como a implantação de um controle antecipatório requer o uso de vários instrumentos adicionais, a sua aplicação deve se justificar economicamente.

Sob o ponto de vista de engenharia de controle de processo, é justificada a aplicação do controle preditivo antecipatório quando:

1. as variações nos distúrbios e cargas de entrada do processo levam um tempo considerável para afetar a variável controlada na saída, tornando pouco eficiente o controle convencional a realimentação negativa;
2. as variáveis de entrada que afetam significativamente a variável controlada são possíveis de ser medidas por equipamentos disponíveis comercialmente;
3. o processo é bem conhecido e suas equações termodinâmicas de balanço de materiais e de energia, bem como as equações diferenciais de seus transientes são facilmente resolvidas teoricamente;

# CST

## Arcelor Brasil

4. as equações matemáticas finais são resolvidas por equipamentos de controle, encontráveis no mercado e a custos razoáveis.

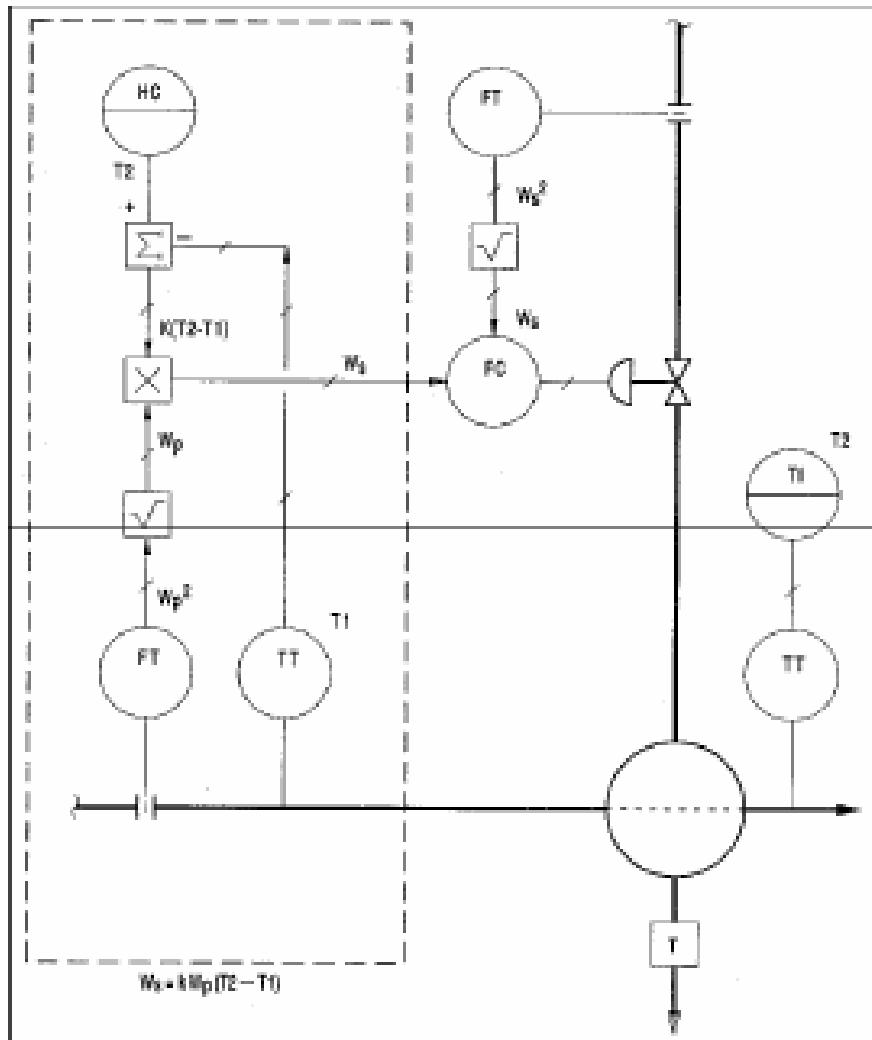
Embora o sistema de controle antecipatório seja menos usado que o sistema convencional a realimentação negativa, sua aplicação se torna cada vez mais freqüente. São áreas de aplicação: coluna de destilação, trocador de calor, neutralização de pH, controle de caldeira, controle de mistura automática de vários componentes (blending).

A seguir serão mostrados alguns exemplos de aplicações, para fins didáticos, pois é necessário se conhecer completamente o processo a ser modelado.

### Caldeira a três elementos

A Fig.2.62 mostra um sistema de controle de alimentação de água de caldeira a três elementos padrão. O exemplo é dado para enfatizar a importância de ter conceitos claros. A porção de feed-forward é destacada.

Mesmo que esta porção esteja no lado da descarga da caldeira, é ainda *feed-forward*, desde que este conceito trata dos distúrbios do processo onde eles ocorrem. O objetivo desta malha feed-forward é calcular a vazão de alimentação de água necessária para satisfazer a demanda, a carga (também um distúrbio). O objetivo da malha de controle de nível é ajustar o cálculo, de modo que o nível permaneça próximo do ótimo para a eficiência e segurança da caldeira. A malha de controle de nível é uma falha de feedback cascanteando a malha de controle de vazão da água de alimentação. O objetivo da malha de controle de vazão de água de alimentação é melhorar a eficiência da resposta para o ponto de ajuste calculado e estabelecido. Ela é também feedback.



**Fig.2.62.**  
**Controle feed-forward aplicado à caldeira.**

O estado operacional normal é automático. Porém, para entradas anormais, pode se entrar com uma entrada fixa manualmente, sob certas circunstâncias. Os parâmetros operacionais são o ponto de ajuste e, algumas vezes, entradas manuais (sistema em falha). Os valores monitorados são as entradas medidas e a saída calculada.

#### Coluna de destilação

Certamente, é no controle da coluna de destilação onde se aplica com maior freqüência o controle preditivo antecipatório.

A destilação binária é um processo de separação, onde uma matéria prima é decomposta em dois produtos: um leve (destilado) e um pesado (produto de fundo). Na coluna de destilação um jato de vapor mais rico em um componente mais leve entra em contato contínuo com um fluxo de líquido mais rico em um componente mais pesado, de modo que o vapor fica cada vez mais rico do componente mais leve e o líquido cada vez mais pobre desse componente mais leve. O vapor é

gerado no revedor e o líquido é gerado no condensador. Para se garantir que os produtos finais fiquem dentro da especificação de pureza desejada, são controladas as temperaturas e pressões da coluna, bem como o balanço de energia, as vazões de alimentação principal, de saída do destilado, do vapor do revedor, do refluxo. Simplificando, são envolvidos essencialmente os balanços de energia e de materiais, propícios para a aplicação do controle preditivo antecipatório. Há vários problemas associados com o controle da coluna de destilação: resposta lenta, por causa da grande capacidade da coluna e dos tempos envolvidos, influência de muitas variáveis, dificuldades de uso de analisadores em linha, interação entre os balanços de energia e de materiais.

As variáveis de entrada independentes e não controladas são: composição da alimentação, vazão da alimentação, entalpia da alimentação, entalpia do vapor do revedor, temperatura do refluxo. As variáveis manipuladas de entrada são: vazão do refluxo, do destilado, do produto de fundo, calor de entrada no revedor, calor de saída do condensador.

As variáveis de saída, dependentes das variáveis de entrada e manipuladas, a serem controladas são as seguintes: composição do destilado, composição do produto pesado, temperatura das bandejas da coluna, nível do acumulador, nível do fundo da coluna.

Nem todas as variáveis podem ser controladas e manipuladas arbitrariamente. Mesmo assim, há dezenas de configurações práticas para o controle convencional da coluna de destilação, pela combinação das diversas variáveis controladas e manipuladas. Quando se acrescenta o controle preditivo antecipatório, o número de configurações aumenta, pois há também um grande número de variáveis de entrada, que afetam as variáveis controladas e que podem ser medidas.

O controle preditivo antecipatório mais simples, aplicado a coluna de destilação é mostrado. Consiste na colocação de um multiplicador e de um compensador dinâmico. O multiplicador permite que a vazão da alimentação da coluna modifique o ponto de ajuste do controlador de vazão do destilado.

A vazão do destilado será ajustada de conformidade com a vazão da alimentação. A colocação do compensador dinâmico determina o timing correto da ação de controle. No caso, há um atraso no sinal de vazão da alimentação. Quando há uma variação na vazão da entrada da coluna, deverá se alterar o ponto de ajuste da vazão do destilado. Porém, a variação na entrada irá demorar para afetar a vazão do destilado e portanto, a alteração do ponto de ajuste do controlador de vazão do destilado também deverá ser retratada. O compensador dinâmico avanço /atraso cuidará desse atraso. Outra configuração simplificada é esquematizada, mostrando como as variáveis de entrada podem ser medidas e usadas para prover o controle preditivo antecipatório. O computador analógico recebe os sinais de medição da composição do produto de alimentação, vazão da alimentação, temperatura do topo da coluna, temperatura do refluxo, executa as operações matemáticas previamente calculadas. Os controladores devem atuar nas variáveis manipuladas: vazão do refluxo e vazão do produto de fundo. A saída do controlador que atua na vazão do produto de fundo, além da componente de computação, sofre um atraso dinâmico e uma correção na realimentação do controlador convencional.

### **Neutralização de pH**

O controle de pH é um dos mais complexos e difíceis, pois envolve funções não lineares, grande tempo morto e grande tempo característico.

A atividade do íon H<sup>+</sup> de uma solução pode ser medida continuamente através de um eletrodo de pH. Esse eletrodo desenvolve uma milivoltagem proporcional a atividade do íon H<sup>+</sup> na solução

# CST

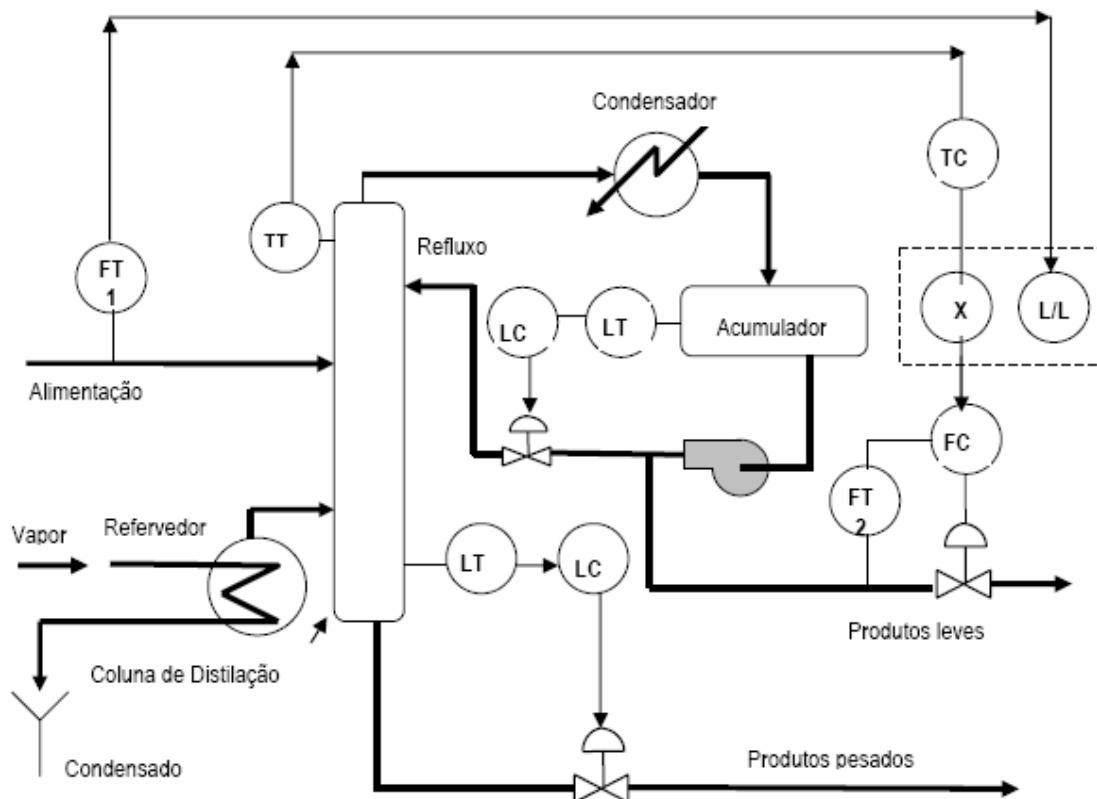
## Arcelor Brasil

aqueosa. A medição de pH não é linear, mas logarítmica:  $pH = -\log_{10} H^+$ . A não linearidade do pH significa que próximo da neutralidade ( $pH = 7$ ), pequenas variações do reagente causam grandes variações no pH e longe do ponto de neutralização (próximo de 0 ou de 14) grandes quantidades do reagente são necessárias para provocar pequenas variações no pH.

O modelo matemático do processo é fácil de ser desenvolvido, pois é muito conhecido e estudado. A equação do controlador preditivo antecipatório dá a vazão do reagente necessária para neutralizar a mistura final, o efluente, quando a vazão e o pH do efluente variam. As variáveis medidas são: pH do efluente na entrada, pH do efluente na saída, vazão da entrada do efluente. A variável manipulada é a vazão do reagente. Freqüentemente se utilizam várias válvulas, de tamanhos diferentes, para prover maior relação entre a medição máxima e medição mínima. Nesse caso deve ser acrescentado um sistema lógico seqüencial.

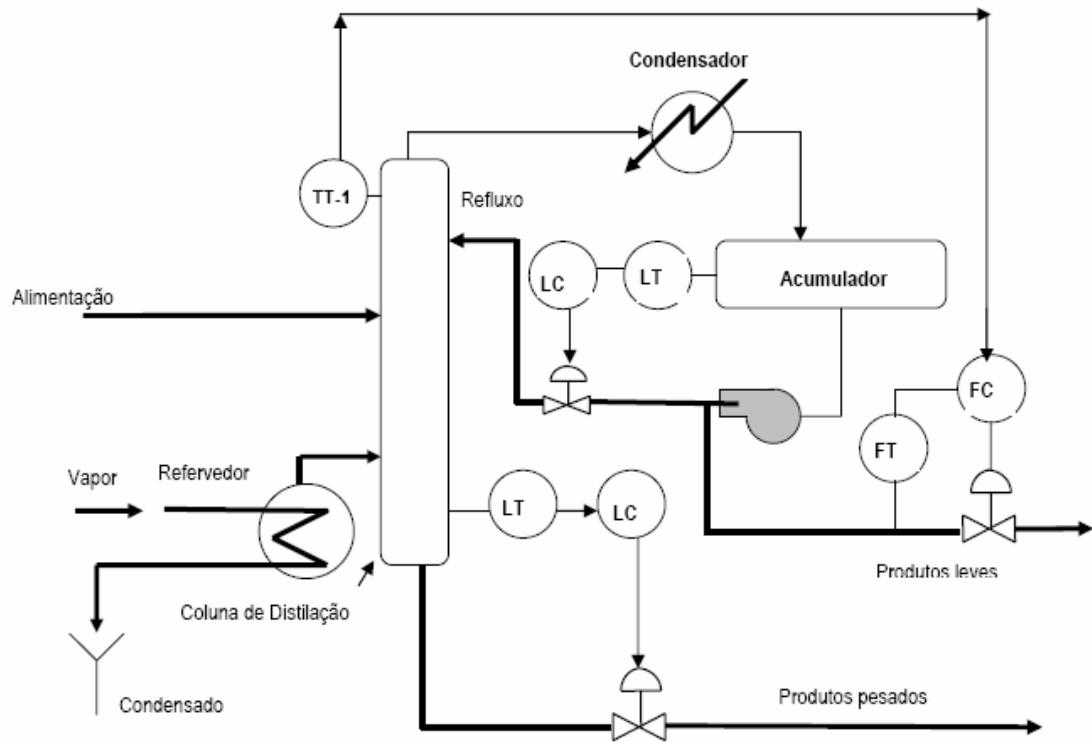
São hipóteses simplificadoras: que a medição seja feita onde a reação está completa e que a mistura seja homogênea e perfeita.

Como não é admissível desvio permanente no pH do efluente final e principalmente, por causa da grande sensibilidade da curva de pH justamente na região próxima da neutralização, deve-se usar um controlador a realimentação negativa convencional. O controlador convencional é não linear, com uma curva característica complementar a curva de pH: pequeno ganho próximo do ponto de ajuste e grande ganho quando o desvio aumenta. De outro modo: o controlador deve ter ganho proporcional ao erro entre medição e ponto de ajuste.



**Fig.2.63a.**

**Esquema simplificado do controle convencional com realimentação negativa aplicada a uma coluna de destilação**



**Fig.2.63b.**  
**Esquema simplificado do controle com realimentação negativa cascatevero pelo controlador preditivo antecipatório aplicado a uma coluna de destilação**

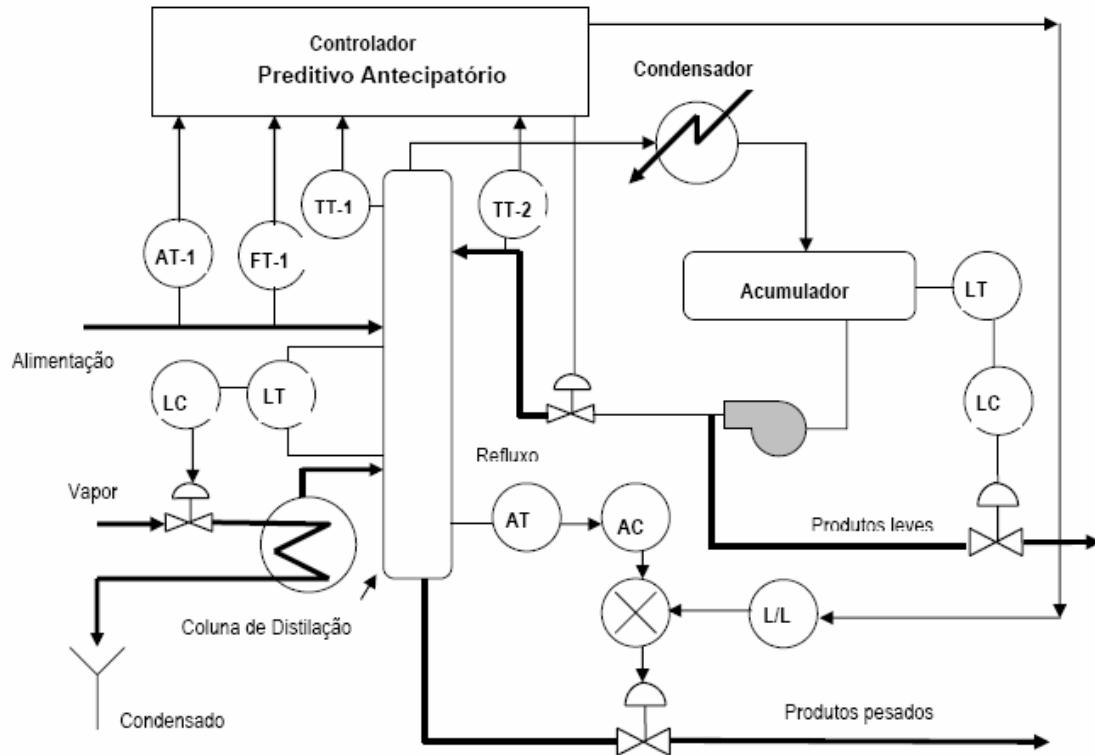
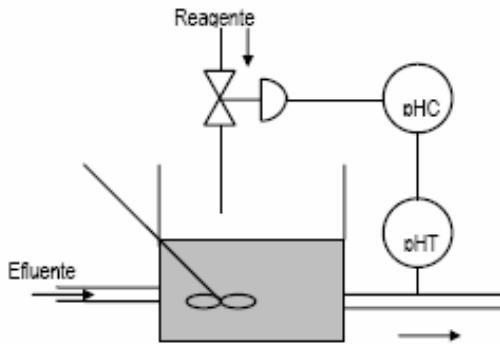


Fig.2.63c.

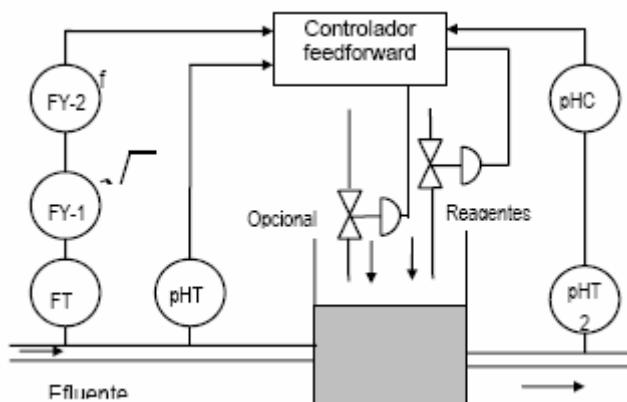
**Esquema simplificado do controle preditivo antecipatório aplicado a uma coluna de destilação, associado ao controle com realimentação negativa.**

O sistema de controle pode ter o controlador com realimentação negativa associados ao controlador preditivo antecipatório. A medição da vazão de entrada do efluente deve ser modificada, de modo que se tenha a mesma natureza logarítmica do pH.

O instrumento a ser usado, além do eventual extrator de raiz quadrada, é o caracterizador de sinais. Quando se utiliza a Calha Parshall essa modificação pode ser dispensada.



**Fig.2.64a.**  
**Controle de pH convencional, com realimentação negativa.**



**Fig.2.64b.**  
**Controle de pH preditivo antecipatório.**

Os sistemas de controle avançado se aplicam a processos determinados e seu objetivo é o de obter o melhor controle do processo. As vantagens que apresentam a aplicação dos sistemas de controle avançado são a economia de energia conseguida na operação da planta, o aumento da capacidade de fabricação, a diminuição do custo de operação e a diminuição da percentagem de recuperação dos produtos que saem fora de especificação durante o processo de fabricação.

Os rendimentos típicos que oferecem os sistemas de controle avançado são:

1. economia de energia com 5% de aumento na produção;
2. capacidade de fabricação da planta aumenta de 3% a 5%;
3. custo de operação da planta se vê reduzido de 3% a 5%;
4. recuperação dos produtos melhora de 3% a 5%;
5. retorno da inversão de produz em um tempo de 1 a 5 anos;
6. rendimento global é de 5% a 35%.

As aplicações dos sistemas de controle avançado aumentam dia a dia e se aplicam a processos tais como fabricação de amônia, processos batelada, fornos, caldeiras de vapor, plantas petroquímicas, sistemas de economia de energia, reatores químicos, plantas de gás natural, compressores, serviços gerais, controle estatístico de processo.

### **2.16.9 Conclusão**

A adição de uma malha de controle preditivo típica envolve vários instrumentos, de medição, controle, computação analógica e de compensação dinâmica. O retorno econômico do acréscimo da malha de controle preditivo deve ser quantificado, mesmo que as variáveis econômicas de custo, retorno e economia não sejam diretamente medidas. Devem ser considerados os fatores relacionados com a economia dos tanques de armazenagem (controle de neutralização de pH e de mistura automática), produtos com a especificação de pureza desejada e com pouco refugo (coluna de destilação e fracionador), economia de energia (trocador de calor e torre de resfriamento).

Sob o ponto de vista técnico, as principais áreas de aplicação do controle preditivo antecipatório, que produzem resultados difíceis de serem conseguidos através de outra técnica são:

1. os processos complexos, com grandes períodos de oscilação natural e submetidos a distúrbios e variações de carga grandes e freqüentes, incontroláveis pelo sistema convencional de realimentação negativa.
2. os processos onde as variáveis a serem controladas não são possíveis de medição precisa, confiável ou rápido. Mesmo que seja usada uma outra variável secundária, inferida da principal, o controle convencional a realimentação negativa é insuficiente para prover um produto dentro das especificações desejadas.

Como conclusão, o controle de malha aberta é raramente empregado em processos industriais contínuos.

O controle preditivo antecipatório é uma técnica alternativa, e adicional para o controle de processos complexos e difíceis. Geralmente ele é associado ao controle com realimentação negativa, quando são combinadas as duas técnicas.

O controle com realimentação negativa ainda é empregado na maioria das malhas de controle do processo industrial.

## **2.17 Controle de Relação (Ratio)**

### **2.17.1 Conceitos**

O controle de relação é também chamado de razão, fração ou proporção. O controlador de fração de vazões ou de relação de vazões é simbolizado com o tag FFC ou FrC.

O controle de relação é freqüentemente parte de uma estrutura de controle feed-forward; há quem considere o controle de relação como um sistema de controle elementar de feed-forward.

O controle de relação é um sistema unitário de controle, com a função de manter uma proporção fixa e determinada entre duas variáveis, normalmente duas vazões. Exemplos comuns industriais incluem:

1. manter uma relação de refluxo constante em uma coluna de destilação,
2. manter quantidades estequiométricas de dois reagentes sendo alimentados em um reator,
3. purgar fora uma percentagem fixa de um jato de alimentação de uma unidade,
4. misturar dois produtos, como gasolina e álcool numa relação constante.

Um sistema é considerado de controle de relação quando:

1. as duas variáveis X e Y são medidas;
2. apenas uma das duas variáveis é manipulada, por exemplo, X.
3. a variável realmente controlada é a relação K entre as duas variáveis X e Y.

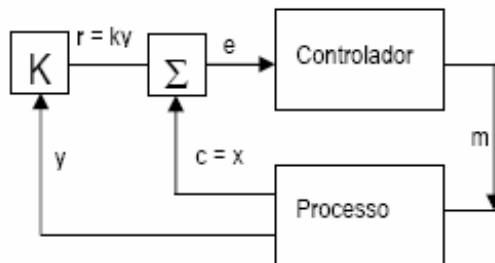
O controle de relação (geralmente de vazões) é aplicado para regular misturas ou quantidades estequiométricas em proporções fixas e definidas.

O objetivo do controle de relação é ter uma relação controlada fixa entre as quantidades de duas substâncias, como:

$$\frac{A}{B} = r$$

Assim, é possível se ter  $A = r B$  ou então

$$B = \frac{1}{r} A$$



**Fig.2.65.**  
**Diagrama de blocos do controle de relação**

Blending é uma forma comum de controle de relação envolvendo a mistura de vários produtos, todos em proporções definidas. A Fig.2.65 mostra o diagrama de blocos do conceito de controle de relação. A álgebra é feita fora do controlador para evitar problemas de ganho e, como consequência, de estabilidade.

No controle de relação de duas vazões, uma vazão necessariamente deve variar livremente e a outra é manipulada. Quando se tem o controle de relação de várias ( $n$ ) vazões, uma delas deve ser livre e as  $(n-1)$  são manipuladas. Enfim, sempre deve haver um grau de liberdade, no mínimo. Os estados operacionais dependem da aplicação. Quando se tem várias malhas, é possível tirar

# CST

## Arcelor Brasil

algumas do modo relação e operá-las independentemente. É possível também se manter a relação, mesmo com a malha em manual. Os parâmetros operacionais dependem da aplicação. Os valores monitorados são o ponto de ajuste (relação) e os valores medidos das duas vazões.

### 2.17.2 Características

A maioria das aplicações se refere ao sistema de relação de vazões ou de quantidades. O sistema pode envolver mais de duas substâncias.

Para se evitar os problemas de não linearidade e as variações do ganho, o cálculo da relação deve estar fora da malha de controle. O ponto de ajuste passa a ser a relação desejada

$$r = KY$$

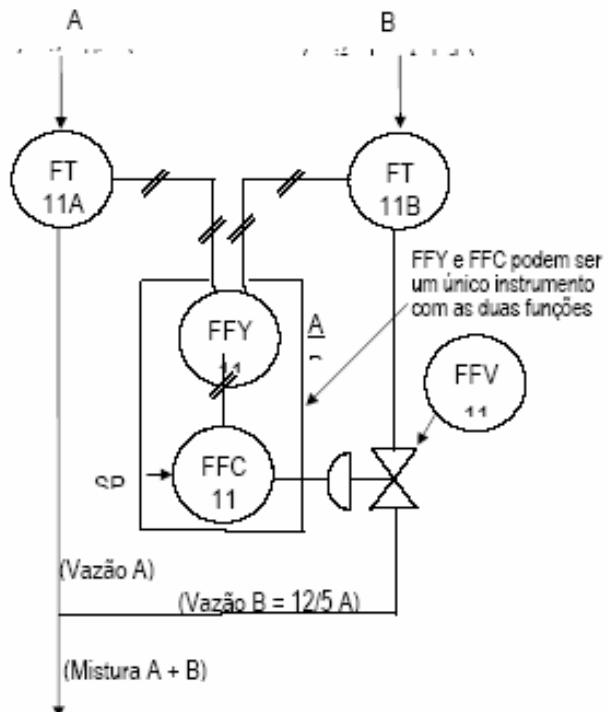
Se X for a variável controlada. Ou então,

$$r = Y/K$$

Se Y for a variável controlada.

Tipicamente, o ganho ou a relação de uma estação de relação é ajustado entre 0,3 a 3,0. A soma das relações deve ser sempre constante, de modo que quando um componente aumenta o outro deve diminuir correspondentemente. A soma das relações é sempre igual a 100%, ou na forma normalizada, igual a 1,0. Quando as medições das vazões são feitas através das placas de orifício, a relação entre a pressão diferencial e a vazão é não-linear, o ganho da estação de relação é o quadrado do ajuste de relação.

Portanto, o ajuste de relação é a raiz quadrada do ganho e, portanto, variável entre 0,6 a 1,7. O controle de relação é conseguido por dois esquemas alternativos, com um divisor ou com um multiplicador. No esquema com o divisor, as duas vazões são medidas e sua relação é computada por um divisor. A saída do divisor entra em um controlador PI convencional como um sinal de medição do processo. O ponto de ajuste do controlador de relação é a relação desejada. A saída do controlador vai para a válvula na variável manipulada que altera uma vazão, mantendo constante a relação das duas vazões. Este sinal computado pode também ser usado para acionar um alarme ou um interlock.



**Fig.2.66.**  
**Controle de Relação de Vazões**

No esquema com o multiplicador, a vazão livre é medida e este sinal é multiplicado por uma constante, que é a relação desejada. A saída do multiplicador é o ponto de ajuste de um controlador com ponto de ajuste remoto. A faixa típica do multiplicador de 0 a 2,0.

O controle de relação deve ter todos os componentes da malha montados próximos um do outro e os tempos de respostas devem ser os menores possíveis. Uma variação na variável não controlada deve ser detectada imediatamente pela controlada.

O controle de relação pode ser considerado como um caso simplificado de controle preditivo antecipatório. As medições são feitas na entrada do sistema e as variações da vazão não-controlada causam a mudança da variável controlada. A vazão misturada (variável controlada) não é medida.

A vazão não-controlada para o controle de relação pode ser controlada independentemente ou manipulada por outro controlador, que responda a outras variáveis.

Ambas as vazões devem estar nas mesmas unidades.

Ambos os sinais devem ser da mesma natureza (pneumático ou eletrônico), da mesma relação matemática (linear ou raiz quadrada) e os transmissores devem possuir a mesma rangeabilidade.

Há diferentes tipos de controle, quanto as parcelas com relação controlada. Assim, pode se ter:

1. relação fixa de duas partes, sendo ambas as variáveis de vazão medidas e somente uma vazão é controlada. A variável secundária é controlada numa proporção direta com uma variável primária não controlada. Como extensão, podem ser misturados até n componentes, sendo necessárias ( $n-1$ ) estações de relação de vazões.

2. relação fixa entre uma parte e o total. Mede-se e controla-se a parte e a soma das partes é medida e não controlada. Essa aplicação ocorre quando a medição da variável não controlada é

impossível, inacessível, de alta viscosidade, corrosiva.

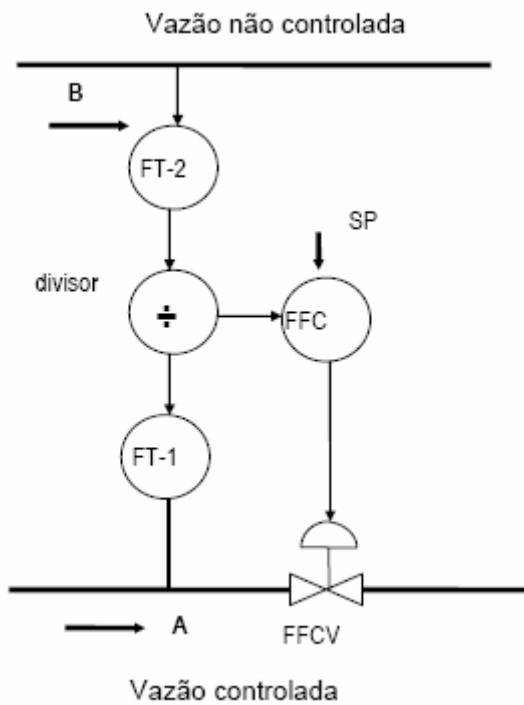
3. relação fixa de duas quantidades de vazão. Em vez de se ter a relação de duas vazões, tem-se relação de duas totalizações de vazões. A quantidade da variável secundaria é controlada numa direta com a quantidade de uma variável primária não controlada. Geralmente se aplica quando se requer alta precisão e se utilizam turbinas, que são apropriadas para a totalização e são muito precisas.

4. relação entre duas ou mais variáveis, não necessariamente vazões. São usados computadores analógicos para executar as operações matemáticas envolvidas.

### 2.17.3 Aplicações

#### Controle de relação com o divisor

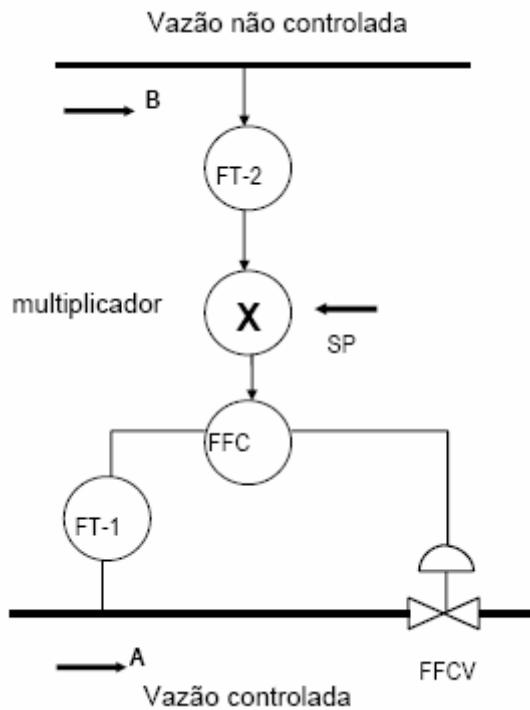
As duas vazões são medidas e sua relação é computada pelo divisor. Esta relação computada entra no controlador convencional PI como o sinal de medição do processo. O ponto de ajuste é a relação desejada. A saída do controlador faz a vazão controlada seguir uma relação fixa com a outra vazão não controlada. Este sistema é usado quando se quer saber continuamente a relação entre as vazões. O sinal da relação pode ser usado para alarme, override ou intertravamento.



**Fig.2.67.**  
**Controle de relação com divisor**

#### Controle de relação com o multiplicador

A vazão não controlada é medida e passa por um multiplicador, cuja constante é a relação das vazões desejada. A saída do multiplicador é o ponto de ajuste remoto do controlador de vazão. A saída do controlador manipula a vazão controlada.

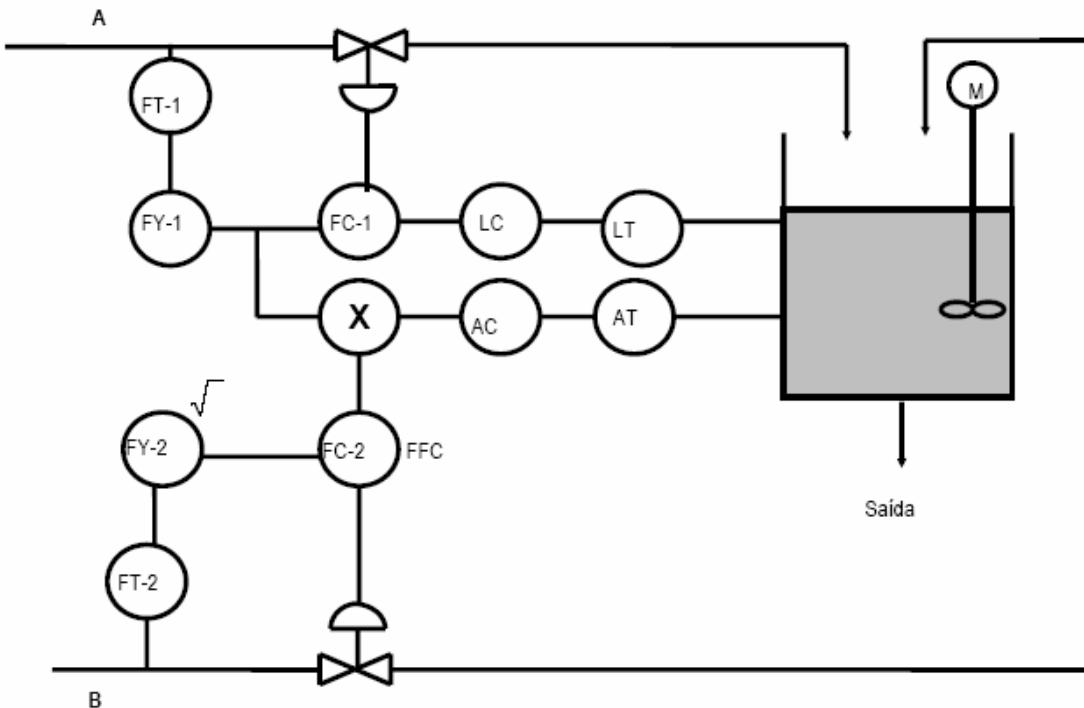


**Fig.2.68.**  
**Controle de relação com multiplicador**

#### Controle de relação e cascata

Sejam as duas vazões dos componentes A e B, alimentando o tanque. O nível do líquido é afetado pela vazão total, por isso o controlador de nível cascata o controlador da vazão A, ou seja, o ponto de ajuste do controlador da vazão A é estabelecido pela saída do controlador de nível do tanque. A vazão A, por sua vez, está relacionada fixamente com a vazão B, através do controlador de relação de vazão. A composição do líquido do tanque depende exclusivamente da relação das vazões A e B. O controlador de análise de composição estabelece o fator de relação do multiplicador.

O controlador de relação atua na vazão B. Para se evitar altos ganhos em baixas vazões por causa das placas de orifício, usam-se extratores de raiz quadrada. Para diminuir o efeito do controlador de composição no nível do líquido, a vazão B deve ser a menor das duas vazões.



**Fig.2.69.**  
**Controle de Relação e Cascata**

### 2.18 Conceitos de Projeto do Controle

Após ter aprendido um pouco acerca do equipamento e de várias estratégias usadas em controle, é possível agora falar acerca de alguns conceitos básicos de projeto do sistema de controle. Neste ponto, a discussão será totalmente qualitativa, fornecendo uma visão ampla de como encontrar uma estrutura de controle efetivo e projetar um processo facilmente controlado.

Deve-se, feita a consideração da dinâmica no projeto de uma planta, nos primeiros estágios, preferivelmente durante a operação e projeto da planta piloto. Por exemplo, é importante ter pausa em vasos de surge, linhas de refluxo, bases de coluna, para fornecer um amortecimento efetivo dos distúrbios (p. ex., de 5 a 10 minutos). Um excesso suficiente de transferência de calor deve ser disponível em reboilers, condensadores, jaquetas de resfriamento, para ser capaz de manipular as variações dinâmicas e distúrbios durante operação. Os sensores e as medições devem ser localizados, de modo que possam ser usadas para controle efetivo.

#### 2.18.1 Critérios Gerais

Alguns critérios recomendados são discutidos abaixo, juntos com alguns exemplos de suas aplicações.

1. Manter o sistema de controle tão simples quanto possível. Todo mundo envolvido no processo, do operador até o gerente da planta, deve ser capaz de entender o sistema. Use o menor número possível de instrumentos de controle. Cada equipamento adicional que é incluído no sistema é um item a mais que pode falhar ou se desviar. O vendedor nunca irá dizer isso a ninguém, é claro.
  2. Usar o controle feed-forward para compensar distúrbios da medição grandes, freqüentes e mensuráveis.
  3. Usar o controle override para operar em ou para evitar limites.
  4. Evitar atrasos e tempos mortos em malhas de realimentação negativa. O controle é melhorado mantendo os atrasos e tempos mortos dentro da malha tão pequenos quanto possíveis. Isto significa que os sensores devem ser localizados próximos dos pontos onde a variável manipulada entra no processo.
  5. Usar controlador de nível apenas com a ação proporcional em tanques de surge e bases de coluna para amortecer os distúrbios.
  6. Eliminar os pequenos distúrbios, usando sistemas de controle cascata, onde possível.
  7. Evitar interação de malha de controle, se possível, mas se não for possível, garanta que os controladores sejam sintonizados para fazer todo o sistema estável.
  8. Verificar o sistema de controle com relação a problemas dinâmicos potenciais durante as condições anormais de operação ou nas condições de operação que não sejam iguais às de projeto. A habilidade do sistema de controle trabalhar bem sobre uma grande faixa de condições é chamada de flexibilidade.
- Partidas e paradas também devem ser estudadas. A operação em pontos de baixa produção ou no início da faixa pode também ser um problema. Os ganhos do processo e constantes de tempo podem variar drasticamente em baixas vazões e a re-sintonia do controlador pode ser necessária. A instalação de válvulas iguais de controle (uma grande, outra pequena) pode ser necessária.
9. Evitar a saturação da variável manipulada. Um bom exemplo de saturação é o controle de nível de uma linha de refluxo em uma coluna de destilação que tem uma relação de refluxo muito alta.
  10. Evitar associar malhas de controle. As malhas de controle devem ser agrupadas somente se a operação da malha externa depender da operação da malha interna.

### **2.18.2 Controle Global da Planta**

A discussão até agora só tratou de um único controlador a realimentação negativa e estabeleceu uma estratégia de controle para uma operação unitária: um reator, uma coluna, uma torre de resfriamento, um trocador de calor, uma caldeira, um compressor. O próximo nível de complexidade é olhar uma planta inteira operando, que é constituída de muitas operações unitárias ligadas em série e paralelo, com material e energia de reciclo entre as várias partes da planta. Isto é um dos trabalhos mais difíceis do controle de processo.

Buckley foi um dos pioneiros neste aspecto de controle. Sua metodologia de projeto da planta global consiste dos seguintes passos:

1. Fazer o esquema lógico do controle para manipular todas as malhas de níveis e pressão de líquidos, em toda planta, de modo que as vazões de uma unidade para a próxima sejam tão suaves quanto possíveis. Buckley chamou estas malhas de balanço de material. Se a vazão de alimentação é estabelecida na frente do processo, as malhas de balanço de material devem ser colocadas na direção da vazão, i.e., a vazão de saída de cada unidade é estabelecida por um nível ou pressão de líquido na unidade. Se a vazão de saída do produto da planta é estabelecida, as malhas de balanço de material deve ser na direção oposta da vazão, i.e., a vazão em cada unidade é estabelecida por um nível ou pressão de líquido na unidade.
2. Depois projetar as malhas de controle de composição para cada operação unitária. Buckley

chamou estas malhas de qualidade do produto. Determine as constantes de tempo de malha fechada destas malhas de qualidade do produto.

3. Dimensionar os volumes de pausa, de modo que as constantes de tempo de malha fechada das malhas de balanço de material sejam um fator de 10 maiores que as constantes de tempo das malhas de qualidade de produto.

Isto quebra a interação entre os dois tipos de malhas.

#### **2.18.3 Otimização de controle**

Genericamente, otimização é a estratégia que dá o melhor resultado sob um determinado conjunto de condições. Matematicamente, otimização é a tarefa de achar um grande pico em um espaço multidimensional. Para o engenheiro prático, otimização sugere um exercício altamente teórico, que não é muito relevante no mundo real, onde tubulações vazam, sensores se entopem e bombas cavitam. Otimização é a integração do *know-how* do controle de processo para maximizar a produtividade industrial.

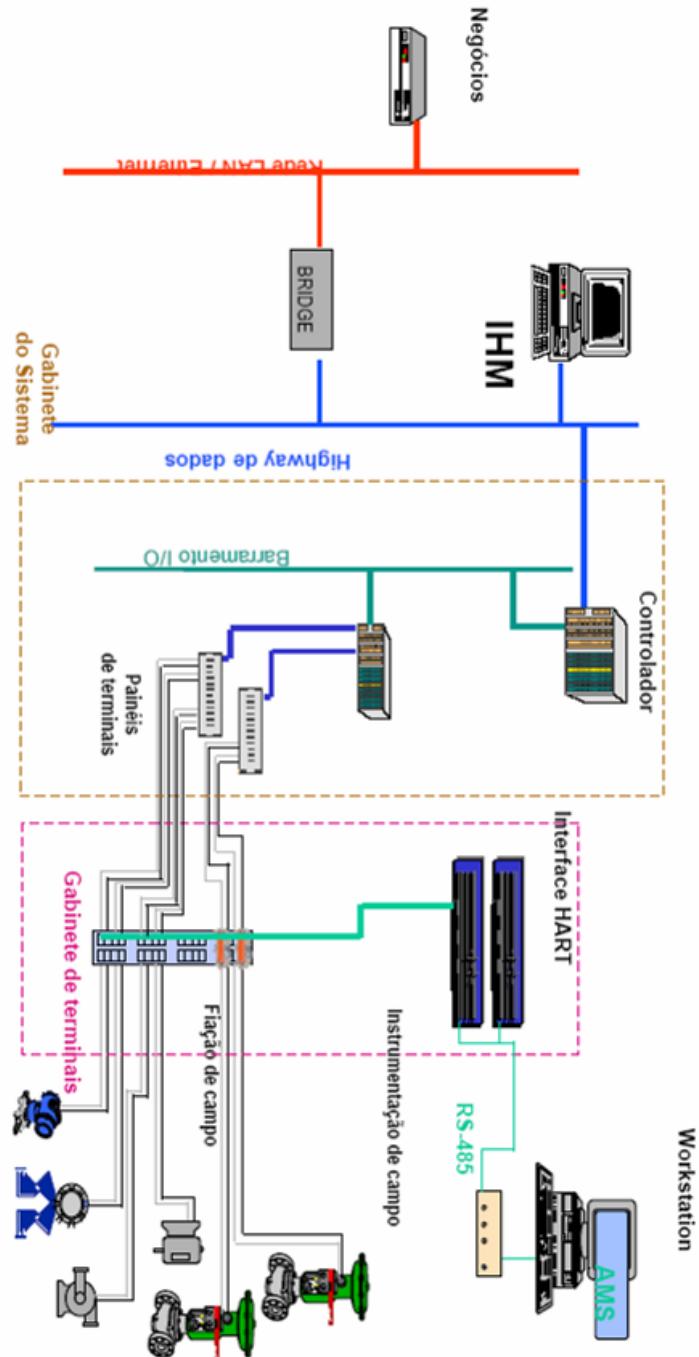
É desejável controlar o que uma planta produz. Plantas não produzem vazão, pressão, temperatura, nível e análise, portanto, estas variáveis são apenas limites ou restrições. As variáveis controladas podem se relacionar com a produtividade ou eficiência da planta. A otimização causa o fim da era das malha de controle isoladas e o início do controle de envelope multivariável.

O envelope é um polígono, com os lados representando vazão, pressão, temperatura, nível, análise e outras variáveis de processo.

Dentro deste envelope está o processo que é continuamente movido para a máxima eficiência.

A otimização multivariável é o enfoque do senso comum ou a técnica de controle aplicada pela natureza e freqüentemente é também o método de controle mais simples e mais elegante.

Só se aplica otimização a um processo que já opere. Otimizar um controle é aumentar o modelo do processo, adicionando o custo, com ponto de ajuste zero.



**Fig.2.70.**  
Vista de uma planta instrumentada globalmente

### 3 NOÇÕES DE CIRCUITOS LÓGICOS

#### 3.1 Tópicos da Álgebra de Boole

É uma técnica matemática que é usada quando consideramos problemas de natureza lógica. Em 1847, o matemático inglês George Boole desenvolveu leis básicas aplicadas em problemas de lógica dedutiva. Até 1938, isto se restringia ao estudo de matemática, quando então um cientista do Bell Laboratories, Claude Shannon, começou a utilizar tais leis no equacionamento e análise de redes com multi-contatos. Paralelamente ao desenvolvimento dos computadores, a álgebra de Boole foi ampliada, sendo hoje ferramenta fundamental no estudo de automação.

A álgebra de Boole utiliza-se de dois estados lógicos, que são 0 (zero) e 1(um), os quais, como se vê, mantém relação íntima com o sistema binário de numeração. As variáveis booleanas, representadas por letras, só poderão assumir estes dois estados: 0 ou 1 , que aqui não significam quantidades.

O estado lógico “0” representa um contato aberto, uma bobina desenergizada, um transistor que não está em condução, etc.; ao passo que o estado lógico 1 representa um contato fechado, uma bobina energizada, um transistor em condução, etc.

### 3.2 Conceitos Introdutórios

#### 3.2.1 Grandezas Analógicas e Digitais

Grandezas analógicas são aquelas que podem variar em um intervalo contínuo de valores. Por exemplo, a velocidade de um veículo pode assumir qualquer valor de 0 a 200 Km/h.

Grandezas digitais são aquelas que variam em passos discretos. Por exemplo, o tempo varia continuamente, mas a sua medição através de um relógio digital é feita a cada minuto.

Um sistema analógico contém dispositivos que podem manipular quantidades físicas analógicas. Por exemplo, a saída de um amplificador pode variar continuamente dentro de um certo intervalo. Um sistema digital contém dispositivos capazes de manipular informações lógicas (representadas na forma digital). Um exemplo seria um computador.

As vantagens das técnicas digitais são várias:

- Sistemas digitais são mais fáceis de projetar;
- Fácil armazenamento de informação;
- Maior exatidão e precisão;
- A operação do sistema pode ser programada;
- Circuitos digitais são menos afetados pelo ruído;
- Um maior número de circuitos digitais pode ser colocado em um circuito integrado.

#### 3.2.2 Sistemas de Numeração Digital

Sistema Decimal – contém 10 algarismos (0 a 9).

Representação:

$$(273,41)_{10} = (2 \times 10^2) + (7 \times 10^1) + (3 \times 10^0) + (4 \times 10^{-1}) + (1 \times 10^{-2})$$

Pesos	$10^2$	$10^1$	$10^0$	$10^{-1}$	$10^{-2}$
	2	7	3	4	1

Sistema Binário – contém 2 algarismos (0 e 1).

Representação:

$$(101,01)_2 = (1 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (1 \times 2^0) + (0 \times 2^{-1}) + (1 \times 2^{-2}) = 5,25_{10}$$

Pesos	$2^2$	$2^1$	$2^0$	$2^{-1}$	$2^{-2}$
	1	0	1	0	1

Sistema Octal – contém 8 algarismos (0 a 7).

Representação:

$$(157,2)_8 = (1 \times 8^2) + (5 \times 8^1) + (7 \times 8^0) + (2 \times 8^{-1}) = 111,25_{10}$$

Pesos	$8^2$	$8^1$	$8^0$	$8^{-1}$
	1	5	7	2

Sistema Hexadecimal – contém 16 algarismos (0 a F).

Representação:

$$(15A,2)_{16} = (1 \times 16^2) + (5 \times 16^1) + (10 \times 16^0) + (2 \times 16^{-1}) = 346,125_{10}$$

Pesos	$16^2$	$16^1$	$16^0$	$16^{-1}$
	1	5	10	2

### 3.2.3 Representação de Quantidades Binárias

Em sistemas digitais, a informação geralmente apresenta a forma binária. Essas quantidades binárias podem ser representadas por qualquer dispositivo que apresente dois estados de operação.

Uma chave, por exemplo, pode estar aberta ou fechada. Podemos dizer que a chave aberta corresponde ao dígito binário “0” e a chave fechada corresponde ao dígito binário “1”. Outros exemplos: uma lâmpada (acesa ou apagada), um diodo (conduzindo ou não), um transistor (conduzindo ou não) etc.

Em sistemas digitais eletrônicos, a informação binária é representada por níveis de tensão (ou

correntes). Por exemplo, zero volts poderia representar o valor binário “0” e +5 volts poderia representar o valor binário “1”. Mas, devido a variações nos circuitos, os valores binários são representados por intervalos de tensões: o “0” digital corresponde a uma tensão entre 0 e 0,8 volts enquanto o “1” digital corresponde a uma tensão entre 2 e 5 volts.

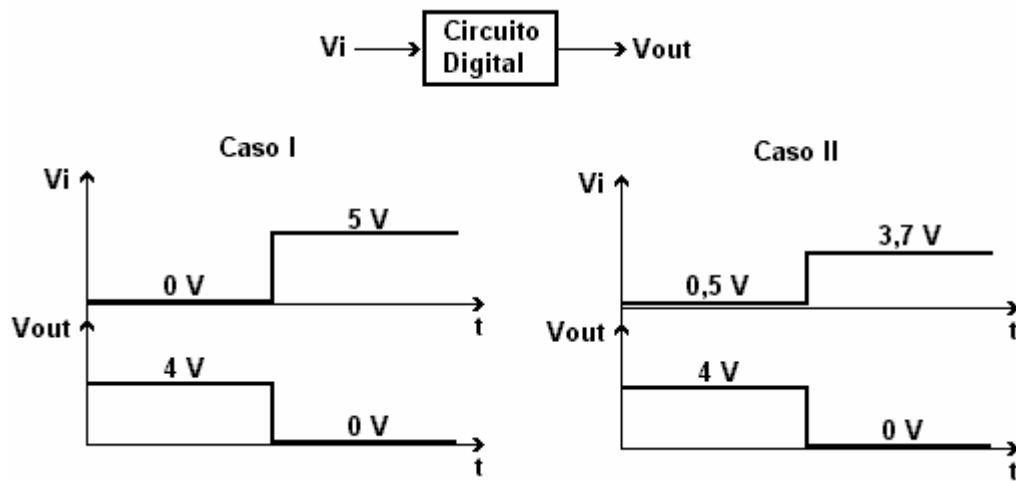
Com isso percebemos uma diferença significativa entre um sistema analógico e um sistema digital. Nos sistemas digitais, o valor exato da tensão não é importante.



**Fig.3.1.**  
Intervalos típicos de tensão para os binários 0 e 1.

### 3.2.4 Circuitos Digitais /Circuitos Lógicos

Circuitos digitais são projetados para produzir tensões de saída e responder a tensões de entrada que estejam dentro do intervalo determinado para os binários 0 e 1. O exemplo abaixo mostra isso:



**Fig.3.2.**  
**Resposta de um circuito digital**

Praticamente todos os circuitos digitais existentes são circuitos integrados (CIs), o que tornou possível a construção de sistemas digitais complexos menores e mais confiáveis do que aqueles construídos com circuitos lógicos discretos.

### 3.2.5 Sistemas de Numeração e Códigos

O sistema binário de numeração é o mais importante em sistemas digitais. O sistema decimal também é importante porque é usado por todos nós para representar quantidades. Já os sistemas octal e hexadecimal são usados para representar números binários grandes de maneira eficiente.

**Conversões Binário-Decimal** – Cada dígito tem um peso correspondente à sua posição.

$$11011_2 = (1 \times 2^4) + (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) = 27_{10}$$

**Conversões Decimal-Binário** – O método usado é o das divisões sucessivas:

$$\begin{array}{r}
 25 \longdiv{2} \\
 \textcircled{1} \quad 12 \longdiv{2} \\
 \textcircled{0} \quad 6 \longdiv{2} \\
 \textcircled{0} \quad 3 \longdiv{2} \\
 \textcircled{1} \quad 1 \longdiv{2} \\
 \textcircled{1} \quad 0
 \end{array}$$

$25_{10} = 11001_2$

**Conversão Octal-Decimal** – Cada dígito tem um peso correspondente à sua posição.  
 $372_8 = (3 \times 8^2) + (7 \times 8^1) + (2 \times 8^0) = 250_{10}$

**Conversão Decimal-Octal** – O método usado é o das divisões sucessivas:

$$\begin{array}{r}
 266 \text{ | } 8 \\
 \textcircled{2} \quad 33 \text{ | } 8 \\
 \textcircled{1} \quad 4 \text{ | } 8 \\
 \textcircled{4} \quad 0 \\
 \hline
 266_{10} = 412_8
 \end{array}$$

**Conversão Octal-Binário** – Cada dígito octal é convertido para o seu correspondente em binário.

Dígito Octal	0	1	2	3	4	5	6	7
Equivalente Binário	000	001	010	011	100	101	110	111

$$472_8 = (100)(111)(010) = 100111010_2$$

**Conversão Binário-Octal** – O número binário é dividido em grupos de 3 dígitos iniciando-se a partir do dígito de menor peso. Cada grupo é convertido no seu correspondente octal.

$$100111010_2 = (100)(111)(010) = 472_8$$

**Conversão Hexadecimal-Decimal** – Cada dígito tem um peso correspondente à sua posição.  
 $2AF_{16} = (2 \times 16^2) + (10 \times 16^1) + (15 \times 16^0) = 687_{10}$

**Conversão Decimal-Hexadecimal** – O método usado é o das divisões sucessivas:

$$\begin{array}{r}
 214 \text{ | } 16 \\
 \textcircled{6} \quad 13 \text{ | } 16 \\
 \textcircled{13} \quad 0 \\
 \hline
 214_{10} = D6_{16}
 \end{array}$$

**Conversão Hexadecimal-Binário** – Cada dígito hexadecimal é convertido para o seu

correspondente em binário.

$$9F2_{16} = (1001) (1111) (0010) = 100111110010_2$$

**Conversão Binário-Hexadecimal** – O número binário é dividido em grupos de 4 dígitos iniciando-se a partir do dígito de menor peso. Cada grupo é convertido no seu correspondente hexadecimal.

$$1110100110_2 = (0011) (1010) (0110) = 3A6_{16}$$

**O Código BCD** – O código BCD não constitui um sistema de numeração. Ele apenas relaciona cada dígito do sistema decimal com um grupo de 4 dígitos do sistema binário.

$$874_{10} = (1000) (0111) (0100) = 100001110100 (\text{BCD})$$

### Relacionando as Representações

Decimal	Binário	Octal	Hexadecimal	BCD
0	0	0	0	0000
1	1	1	1	0001
2	10	2	2	0010
3	11	3	3	0011
4	100	4	4	0100
5	101	5	5	0101
6	110	6	6	0110
7	111	7	7	0111
8	1000	10	8	1000
9	1001	11	9	1001
10	1010	12	A	0001 0000
11	1011	13	B	0001 0001
12	1100	14	C	0001 0010
13	1101	15	D	0001 0011
14	1110	16	E	0001 0100
15	1111	17	F	0001 0101

### 3.3 Aritmética Digital

#### 3.3.1 Introdução

Uma máquina digital (computadores e calculadoras) manipula e armazena dados na forma binária. Dessa forma, as operações aritméticas também serão realizadas sobre os números na forma binária.

A aritmética digital não é muito diferente da aritmética tradicional (base 10). As operações de adição, subtração, multiplicação e divisão são praticamente as mesmas, a não ser pelo número de algarismos usados nessas operações: 2.

#### 3.3.2 Adição Binária

A Adição decimal é mostrada a seguir:

$$\begin{array}{r}
 3 \ 7 \ 6 \\
 + 4 \ 6 \ 1 \\
 \hline
 8 \ 3 \ 7
 \end{array}$$

A adição é feita a partir do algarismo menos significativo. Quando a adição resulta em um valor maior que 9 ocorre um carry (vai um) para a próxima posição.

Na adição binária podemos encontrar apenas quatro possibilidades:

- 0 + 0 = 0
- 0 + 1 = 1
- 1 + 0 = 1
- 1 + 1 = 10 (0 + carry 1 para a próxima posição)

Por exemplo:

$$\begin{array}{r}
 011 \\
 + 110 \\
 \hline
 1001
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 11,011 \\
 + 10,110 \\
 \hline
 110,001
 \end{array}$$

### 3.3.3 Representação de Números com Sinal

Em sistemas digitais, os números binários são armazenados e manipulados em conjuntos de flip-flops, os registradores. Um registrador com 6 flip-flops pode armazenar números binários de 000000 a 111111 (0 a  $63_{10}$ ), representando a magnitude do número.

Como os computadores e calculadoras podem operar com números positivos e negativos, uma maneira de representar números positivos e negativos é mostrada na figura seguir:

A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
0	1	1	0	1	0	0	$= +52_{10}$
Bit de Sinal (+)	Magnitude = $52_{10}$						

A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
1	1	1	0	1	0	0	$= -52_{10}$
Bit de Sinal (-)	Magnitude = $52_{10}$						

O bit A6 é chamado bit de sinal, ou seja, ele determina qual o sinal do número. Esse número possui magnitude de 6 bits mais um bit de sinal.

Embora esse sistema seja direto, computadores e calculadoras não as utilizam normalmente porque a implementação do circuito é mais complexa. O sistema de representação de números binários com sinal mais utilizado é o sistema de complemento a 2.

### 3.3.4 Forma do Complemento a 1

O complemento a 1 de um número binário é obtido substituindo-se cada 0 por 1 e cada 1 por 0. Isso pode ser visto a seguir:

$$\begin{array}{ccccccc}
 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0
 \end{array}$$

### 3.3.5 Forma do Complemento a 2

O complemento a 2 de um número binário é obtido tomando-se o complemento a 1 do número e adicionando-se 1 na posição do bit menos significativo. Por exemplo:

$$\begin{array}{r}
 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \quad \text{Equivalente binário de } 45_{10} \\
 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \quad \text{Complemento a 1} \\
 + \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{Adiciona-se 1} \\
 \hline
 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \quad \text{Complemento a 2 do número binário original}
 \end{array}$$

### 3.3.6 Representação de Números com Sinal Usando Complemento a 2

O sistema de complemento a 2 para representar números com sinal funciona do seguinte modo:

- Se o número é positivo, a magnitude é mostrada na sua forma binária direta e um bit de sinal 0 é colocado na frente do bit mais significativo (MSB).
- Se o número é negativo, a magnitude é representada na sua forma de complemento a 2 e um bit de sinal 1 é colocado na frente do bit mais significativo (MSB).

A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
0	1	0	1	1	0	1	$= +45_{10}$
Bit de Sinal (+)	Binário direto						

A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
1	0	1	0	0	1	1	$= -45_{10}$
Bit de Sinal (-)	Complemento a 2						

### 3.3.7 Negação

A negação é a operação que converte um número positivo no seu negativo equivalente ou um

número negativo no seu positivo equivalente. Por exemplo:

0	1	0	0	1	= +9 (número binário original)
1	0	1	1	1	= -9 (complemento a 2, negar)
0	1	0	0	1	= +9 (negar novamente)

### 3.3.8 Faixa de Representação do Complemento a 2

A faixa completa de valores que pode ser representada no sistema de complemento a 2 que tem N bits de magnitude é:

$$-2^N \text{ a } +(2^N-1)$$

Por exemplo, com N = 3 bits, a faixa de números sinalizados é mostrada na tabela abaixo:

Valor Decimal	Complemento a 2
+7 = $2^3 - 1$	0111
+6	0110
+5	0101
+4	0100
+3	0011
+2	0010
+1	0001
0	0000
-1	1111
-2	1110
-3	1101
-4	1100

-5	1011
-6	1010
-7	1001
$-8 = -2^3$	1000

Por exemplo, com N = 7 bits, mais um bit de sinal, a faixa de valores fica:

$$1000000_2 = -2^7 = -128_{10}$$

$$0111111_2 = 2^8 = +127_{10}$$

### 3.3.9 Adição no Sistema de Complemento a 2

Vamos analisar vários casos de adição:

Dois números positivos: A adição de dois números positivos é direta.

$$\begin{array}{r}
 +9 \quad \rightarrow \boxed{0} \ 1001 \\
 +4 \quad \rightarrow \boxed{0} \ 0100 \\
 \hline
 +13 \quad \boxed{0} \ 1101
 \end{array}$$

Um número positivo e um outro menor e negativo: O número negativo deve estar na forma de complemento a 2.

$$\begin{array}{r}
 +9 \quad \rightarrow \boxed{0} \ 1001 \\
 -4 \quad \rightarrow \boxed{1} \ 1100 \\
 \hline
 +5 \quad \boxed{1} \ 0 \ 0101
 \end{array}$$

A soma é feita sobre todos os bits, inclusive os bits de sinal. O carry (vai um) gerado na última posição (MSB) é sempre descartado.

Um número positivo e um outro maior e negativo:

$$\begin{array}{r}
 -9 \quad \rightarrow \boxed{1} \ 0111 \\
 +4 \quad \rightarrow \boxed{0} \ 0100 \\
 \hline
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} -5 \\ \hline 1 & 1011 \end{array}$$

Dois números negativos:

$$\begin{array}{r} -9 \rightarrow 1011 \\ -4 \rightarrow 1100 \\ \hline -13 & 10011 \end{array}$$

Dois números iguais em magnitude mas de sinais contrários:

$$\begin{array}{r} +9 \rightarrow 01001 \\ -9 \rightarrow 10111 \\ \hline 0 & 10000 \end{array}$$

### 3.3.10 Subtração no Sistema de Complemento a 2

A operação de subtração no sistema de complemento a 2, na verdade, envolve uma operação de adição. Quando subtraímos um número binário (o subtraendo) de outro número binário (minuendo), usamos o seguinte procedimento:

Negar o subtraendo.

Adicionar o número obtido ao minuendo.

Por exemplo,  $+9 - (+4) = +5$

$$\begin{array}{r} +9 \rightarrow 01001 \\ +4 \rightarrow 00100 \\ \hline +5 & 10101 \end{array}$$

### 3.3.11 Overflow Aritmético

O Overflow aritmético ocorre quando temos, por exemplo, a adição de +9 e +8:

$$\begin{array}{r} +9 \rightarrow 01001 \\ +8 \rightarrow 01000 \\ \hline 10001 \end{array}$$

O resultado esperado seria +17, mas a resposta tem um sinal negativo e uma magnitude incorreta. A representação do 17 precisa de mais de quatro bits, ocasionando um erro de overflow. O overflow pode ocorrer sempre que dois números positivos ou dois números negativos estão sendo somados.

### 3.3.12 Multiplicação de Números Binários

A multiplicação de números binários é mostrada abaixo:

$$\begin{array}{r}
 1001 = 9_{10} \\
 1011 = 11_{10} \\
 \hline
 & 1001 \\
 & 1001 \\
 & 0000 \\
 & \hline
 & 1001 \\
 \hline
 1100011 = 99_{10}
 \end{array}$$

Na multiplicação acima os bits de sinais não foram usados. Observe que o primeiro multiplicando (1001) é deslocado para a esquerda com relação ao segundo multiplicando (1011). Depois disso, os resultados parciais são somados para obter o produto final.

#### Multiplicação no Complemento a Dois

A multiplicação no complemento a dois é feita do mesmo modo descrito anteriormente, desde que os dois multiplicandos estejam na forma binária verdadeira.

Se os números a serem multiplicados forem positivos a multiplicação é feita conforme mostrado anteriormente e o bit de sinal é 0. Se os números forem negativos, eles devem ser convertidos para a forma binária verdadeira e o resultado será positivo (bit de sinal igual a 0).

Quando os números a serem multiplicados tiverem sinais opostos, o número negativo deve ser convertido para a forma binário verdadeira através do complemento a dois. Como resultado esperado é negativo, deve ser aplicado o complemento a dois e o bit de sinal será 1.

### 3.3.13 Divisão Binária

A divisão binária é mostrada a seguir:

$$\begin{array}{r}
 1001 \quad | \quad 11 \\
 011 \quad \quad | \quad 11 \\
 \hline
 0011 \\
 \hline
 11 \\
 \hline
 0
 \end{array}$$

A divisão binária é igual à divisão decimal. A divisão de números com sinal é feita de maneira idêntica à multiplicação, onde os números negativos são transformados em positivos através do complemento a dois.

### 3.3.14 Adição BCD

Muitos computadores e calculadoras usam o código BCD para representar números decimais. Na operação de adição usando números representados pelo código BCD devem ser levadas em consideração duas possibilidades:

Soma menor ou igual a 9 – Por exemplo, 5 + 4:

$$\begin{array}{r}
 5 \\
 +4 \\
 \hline
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 0101 \\
 +0100 \\
 \hline
 \end{array}$$

9            1001

Outro exemplo, 45 + 33:

$$\begin{array}{r}
 45 \\
 +33 \\
 \hline
 78
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 0100 \\
 +0011 \\
 \hline
 0111
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 0101 \\
 +0011 \\
 \hline
 1000
 \end{array}$$

A soma de cada dígito não gerou nenhum vai-um (carry).

Soma maior do que 9 – Por exemplo, 6 + 7:

$$\begin{array}{r}
 6 \\
 +7 \\
 \hline
 13
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 0110 \\
 +0111 \\
 \hline
 1101
 \end{array}$$

O resultado da soma não é um código BCD, já que o resultado é um número maior do que 9. O resultado esperado seria 0001 0011 (13 BCD) e para corrigir isso devemos somar ao resultado o código 0110 (6 BCD), ou seja:

$$\begin{array}{r}
 0110 \\
 +0111 \\
 \hline
 1101
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 6 \text{ (BCD)} \\
 7 \text{ (BCD)} \\
 \text{soma} > 9 \\
 \text{soma 6} \\
 \hline
 0001\ 0011 \text{ (BCD)}
 \end{array}$$

### 3.3.15 Aritmética Hexadecimal

Números hexadecimais são amplamente utilizados na programação de computadores em linguagem de máquina e na especificação de endereços de memória de computadores.

### 3.3.16 Adição em Hexadecimal

O procedimento para a adição em hexadecimal é o seguinte:

Some os dois dígitos hexadecimais em decimal, inserindo mentalmente o decimal equivalente para os dígitos maiores do que 9;

Se a soma é menor ou igual a 15, ele pode ser expresso por um dígito hexadecimal;

Se a soma é maior ou igual a 16, subtraia 16 e coloque um carry na próxima posição.

Por exemplo:

$$\begin{array}{r}
 58 \\
 +4B \\
 \hline
 \end{array}$$

A3

### 3.3.17 Subtração em Hexadecimal

Um modo eficiente de representar números binários é através dos números hexadecimais. A subtração hexadecimal utiliza o mesmo método dos números binários: o complemento a dois do subtraendo é somado ao minuendo e qualquer carry da posição MSD deverá ser descartado. O complemento a dois de um número hexadecimal é mostrado a seguir:

73 <sup>A</sup>	Número hexadecimal
0111 0011 1010	Converte para binário
1000 1100 0110	Complemento a 2
8C6	Converte para hexadecimal

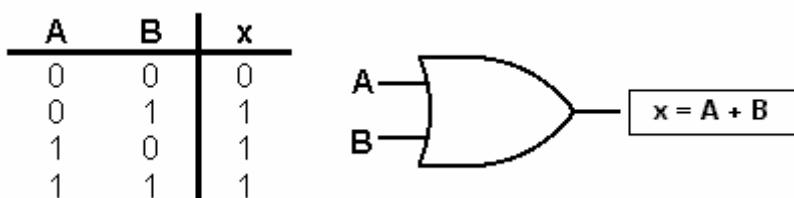
Um outro método é mostrado a seguir:

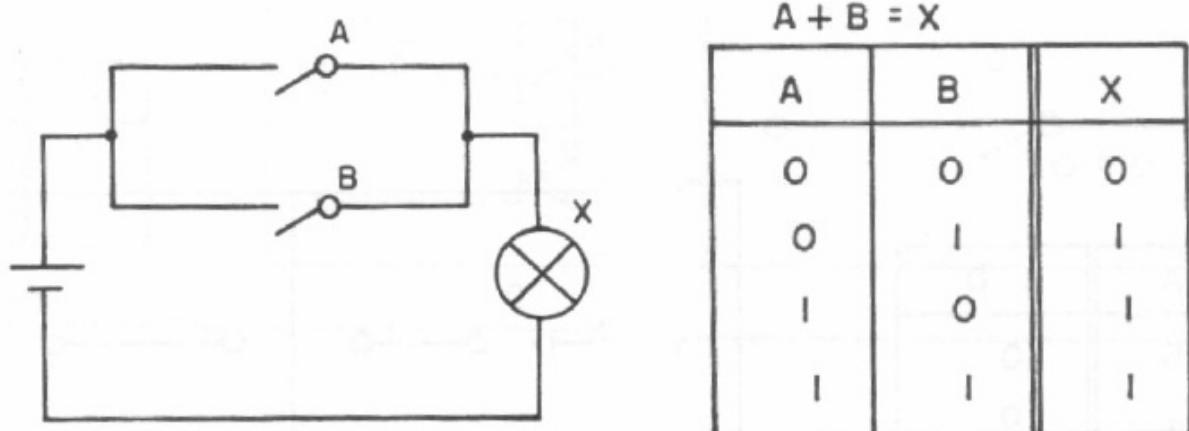
$$\begin{array}{r}
 F & F & F \\
 -7 & -3 & -A \\
 \hline
 8 & C & 5 \\
 & +1 & \\
 \hline
 8 & C & 6
 \end{array}$$

### 3.4 Portas Lógicas e Álgebra Booleana

A álgebra booleana é a ferramenta fundamental para descrever a relação entre as saídas de um circuito lógico e suas entradas através de uma equação (expressão booleana). Existem três operações básicas: OR (OU), AND (E) e NOT (NÃO).

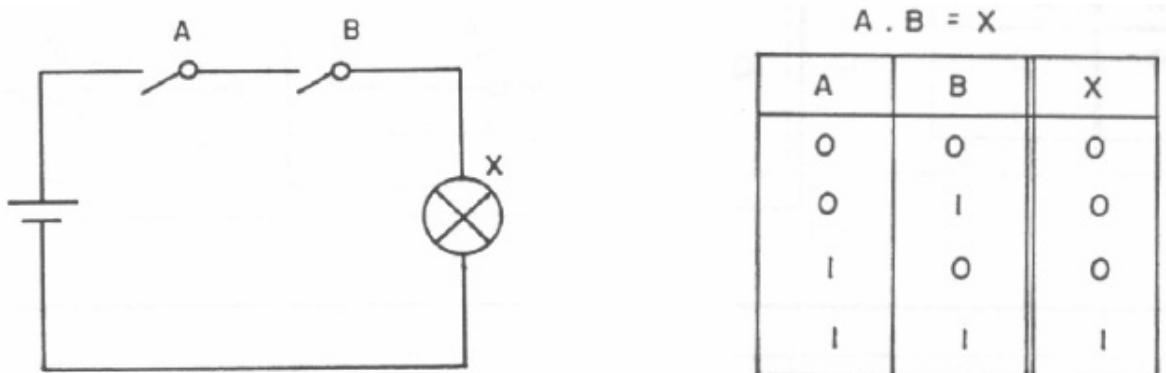
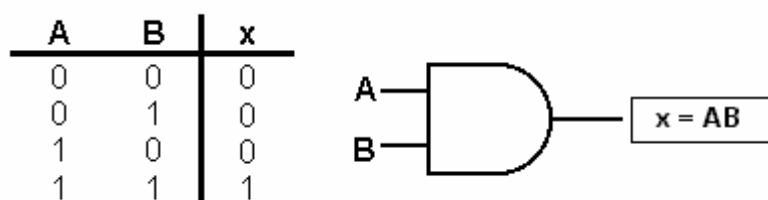
- Operação Lógica OR (OU)





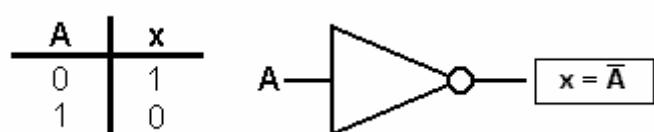
**Fig.3.3.**  
**Circuito Lógico “OU”**

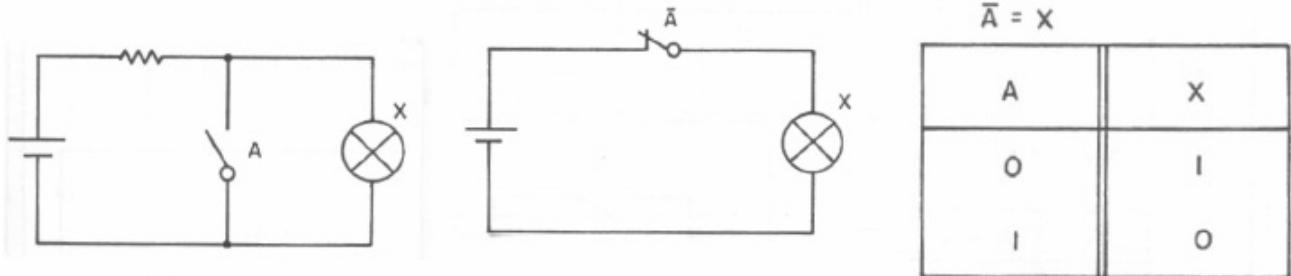
- Operação Lógica AND (E)



**Fig.3.4.**  
**Circuito Lógico “E”**

- Operação Lógica NOT (NÃO)

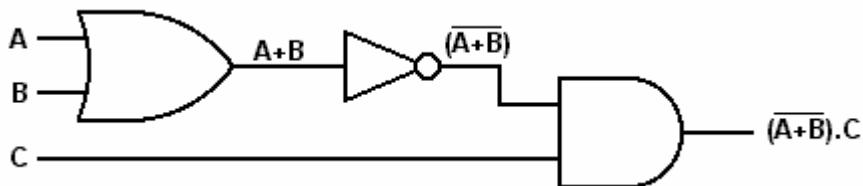




**Fig.3.5.**  
**Círculo Lógico “Não”**

### 3.4.1 Descrevendo Circuitos Lógicos Algebricamente

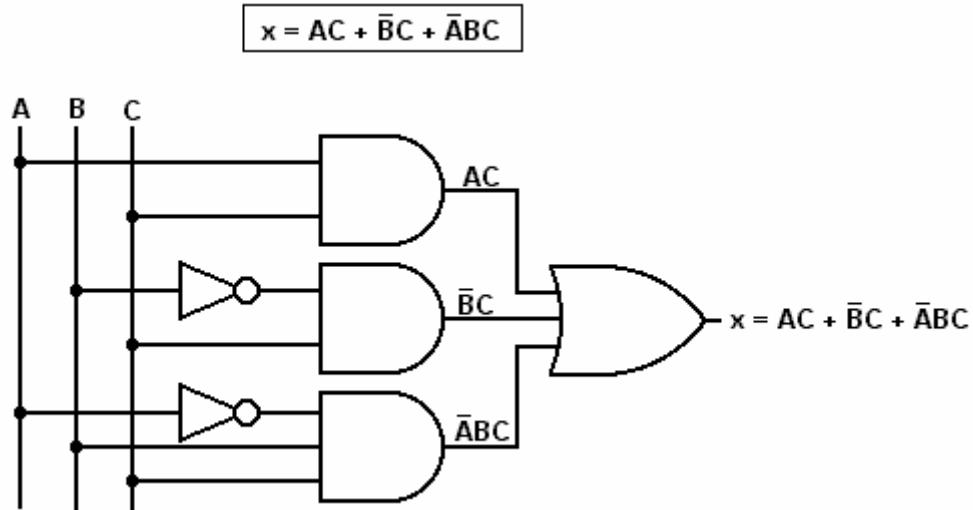
Qualquer circuito lógico pode ser descrito usando as portas AND, OR e NOT. Essas três portas são os blocos básicos na construção de qualquer sistema digital.



**Fig.3.6.**  
**Círculo Lógico e sua Expressão Lógica**

Implementando Circuitos Lógicos a partir de Expressões Booleanas

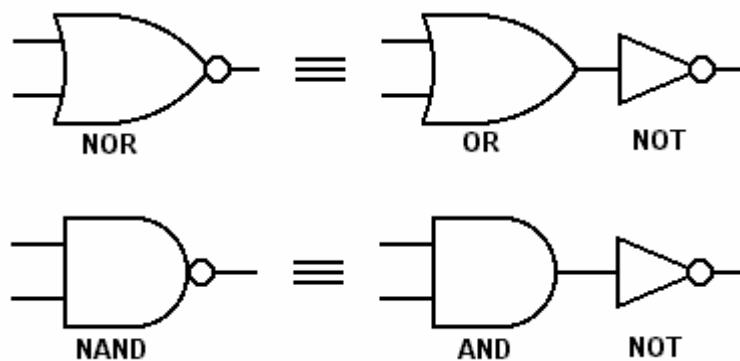
Podemos usar a expressão booleana para gerar o circuito lógico. Por exemplo:



**Fig.3.7.**  
**Expressão Lógica e seu Circuito Lógico**

### 3.4.2 Portas NOR e NAND

Outros tipos de portas lógicas existentes são as portas NOR e NAND, que na verdade são combinações das portas OR, AND e NOT.



**Fig.3.8.**  
**Portas NOR e NAND**

### 3.4.3 Teoremas da Álgebra de Boole

Esses teoremas, aplicados na prática, visam simplificar as expressões booleanas e consequentemente os circuitos gerados por estas expressões.

### Teoremas Booleanos

$$1) x \cdot 0 = 0$$

$$2) x \cdot 1 = x$$

$$3) x \cdot x = x$$

$$4) x \cdot \bar{x} = 0$$

$$5) x + 0 = x$$

$$6) x + 1 = 1$$

$$7) x + x = x$$

$$8) x + \bar{x} = 1$$

$$9) x + y = y + x$$

$$10) x \cdot y = y \cdot x$$

$$11) x + (y + z) = (x + y) + z = x + y + z$$

$$12) x(yz) = (xy)z = xyz$$

$$13) x(y + z) = xy + xz$$

$$14) x + xy = x$$

$$15) x + \bar{x}y = x + y$$

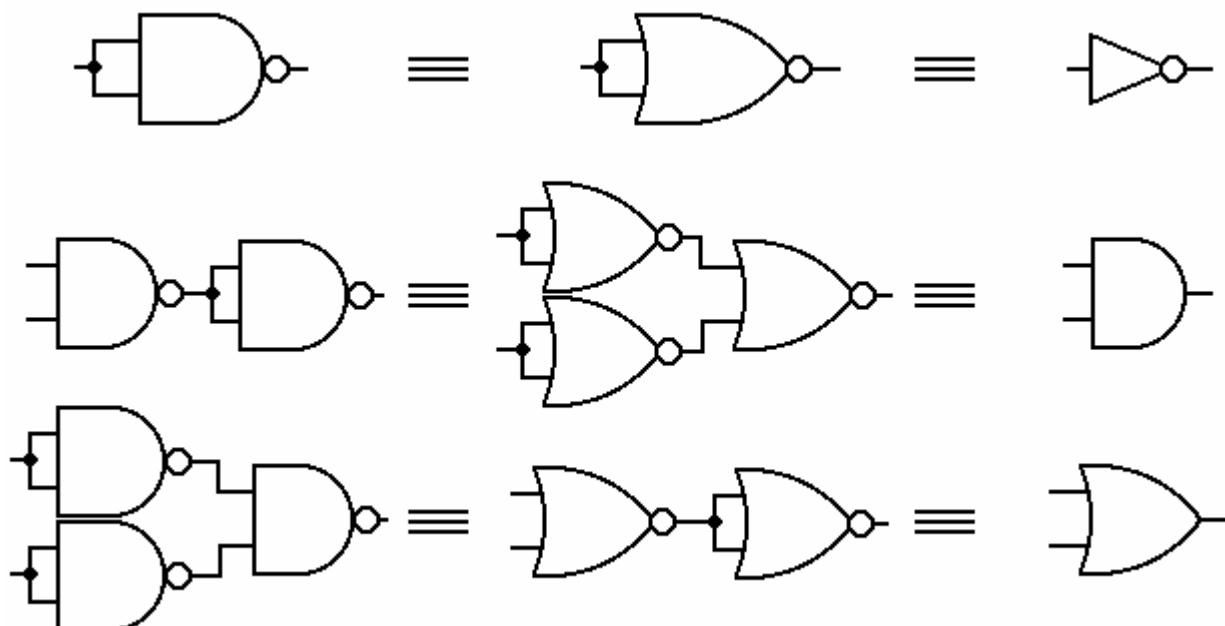
### Teoremas de De Morgan

$$\overline{(x + y)} = \bar{x} \cdot \bar{y}$$

$$\overline{(x \cdot y)} = \bar{x} + \bar{y}$$

#### 3.4.4 Universalidade das Portas NAND e NOR

Qualquer expressão lógica pode ser implementada usando apenas portas NAND ou portas NOR. Isso porque podemos representar portas OR, AND ou NOT usando apenas portas NAND ou NOR.



### 3.4.5 Simplificação de Circuitos Lógicos

Depois de encontrada as expressões de um circuito lógico, podem-se reduzi-la para uma forma mais simples. A intenção é diminuir o número de variáveis nessa expressão, o que significa diminuir o número de portas lógicas e conexões em um circuito lógico.

#### 3.4.5.1 Simplificação Algébrica

A simplificação algébrica é feita com o uso dos teoremas da álgebra booleana e de DeMorgan. Exemplo:

$$\begin{aligned}
 x &= A \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot (\bar{A} \cdot \bar{C}) \\
 x &= A \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot (A + C) \\
 x &= A \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot A + A \cdot \bar{B} \cdot C \\
 x &= A \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} + A \cdot \bar{B} \cdot C \\
 x &= A \cdot C \cdot (B + \bar{B}) + A \cdot \bar{B} \\
 x &= A \cdot C + A \cdot \bar{B} \\
 x &= A \cdot (C + \bar{B})
 \end{aligned}$$

### 3.4.6 Projetando Circuitos Lógicos

Passos para o projeto completo de um circuito lógico:

- Montar a tabela-verdade:

A	B	C	x
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0

1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

- Analisar a saída:

Quando qualquer entrada de uma porta OR for “1” então a saída será “1”. Então podemos deduzir que a saída  $x$  é uma operação OR de todos os casos em que a saída  $x$  é “1”.

Cada caso corresponde a uma operação lógica AND com todas as variáveis de entrada.

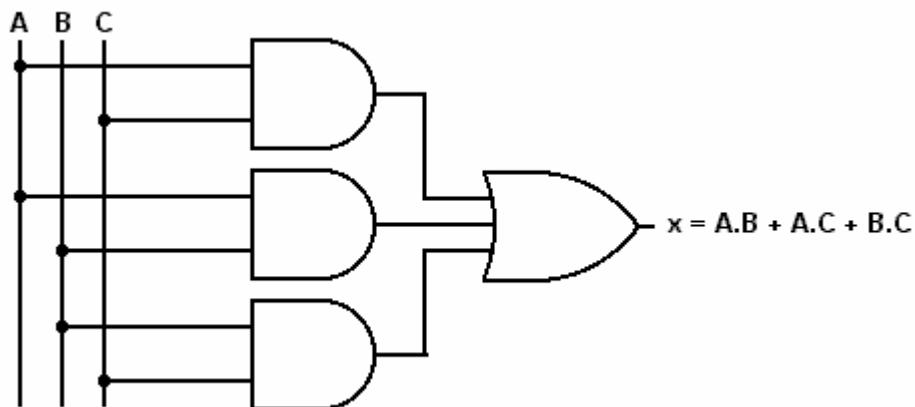
$$x = \bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot B \cdot \bar{C} + A \cdot B \cdot C$$

- Simplificar a expressão lógica obtida:

A expressão pode ser reduzida a um número menor de termos se aplicarmos os teoremas booleanos e de DeMorgan.

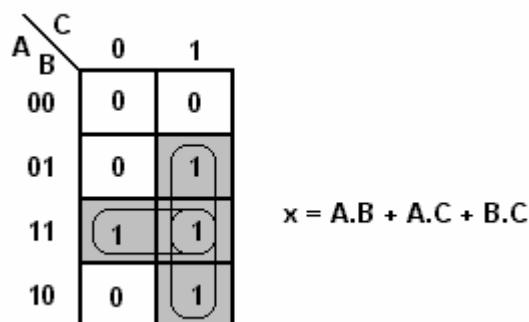
$$x = A \cdot B + A \cdot C + B \cdot C$$

- Implementar o circuito através da expressão lógico:



### 3.4.7 Método do Mapa de Karnaugh para Simplificação Circuitos Lógicos

Vamos usar a tabela anterior como exemplo.



## **4 SISTEMAS DE SUPERVISÃO E DE CONTROLE**

Neste capítulo, apresenta-se uma visão geral dos sistemas digitais de controle, partindo-se dos sistemas analógicos com painéis mímicos e concluindo-se com os modernos sistemas de supervisão e de controle integrados em redes de computadores.

### **4.1 Sistemas Analógicos com Painéis Mímicos**

Esse processo, que até hoje é utilizado em muitas instalações industriais, era a única opção de comando centralizado até o início do uso de computadores de processo, na década de 60.

O comando centralizado de equipamentos industriais vem sendo utilizado há muitas décadas. Esse método consiste em se concentrar, em uma sala de controle, as chaves necessárias para se ligar e desligar os equipamentos existentes na indústria. Em muitos casos, estas salas eram colocadas em locais elevados na planta industrial para que os operadores pudessem ter uma visão ocular dos equipamentos para poderem manobrá-los. Utilizavam-se somente chaves e equipamentos de medição.

O passo seguinte na evolução dessas salas de comando foi à introdução dos medidores, que eliminaram a exigência de uma visão ocular das instalações. Inicia-se, assim, o desenvolvimento dos painéis mímicos e das centrais de comando, incluindo os centros de comando de motores (CCM). Na década de 50 e início da década de 60, esses sistemas integrados de comando eram totalmente analógicos, incluindo botoeiras, medidores analógicos, e registradores para a medição e arquivamento de dados de operação. A evolução desses sistemas veio com os computadores de processo lançados na década de 60 e que são analisados na seção seguinte.

### **4.2 Sistemas de Supervisão e Comando com Painéis Mímicos atualizados por Computadores.**

Na época dos computadores de segunda geração, foram lançados os computadores de processo que foram os precursores dos modernos sistemas digitais de controle distribuídos. Esses computadores, empregados tanto nas indústrias como em concessionárias de energia, tinham a função de coletar dados provenientes das estações remotas, atualizar os painéis mímicos e enviar para o campo os comandos executados pelos operadores do sistema. Esses computadores, com memórias em núcleo de material ferro magnético e com capacidades de 8 ou 16 kbytes, eram capazes de comandar fábricas inteiras ou sistemas elétricos com dezenas de subestações. Como não possuíam capacidade gráfica, toda a informação de conjunto do sistema comandado era desenhada em painéis mímicos com centenas de lâmpadas indicadoras. Essas lâmpadas podiam ser atualizadas pelo próprio computador, ou ser ligadas diretamente aos equipamentos de campo. Neste caso, havendo perda do computador, os operadores podiam perfeitamente operar o sistema. Em muitos casos, devido à alta taxa de falhas dos computadores e à precariedade dos serviços de manutenção, os sistemas eram operados sem o computador por muitas horas e até dias.

Uma característica importante destes sistemas era a centralização da supervisão e comando, deixando-se, na maioria dos casos, para se efetuar o controle através de equipamentos pneumáticos ou de eletrônica analógica. O próximo passo na evolução dos sistemas de controle vem com os microprocessadores e Controladores Lógico Programáveis.

A idéia de se utilizar uma grande tela para mostrar dados de supervisão e controle em uma sala existe há muito tempo. O quem tem mudado de tempos em tempos é a tecnologia por trás dessas grandes telas. Entre 1965 e 1985 se usavam painéis de cerâmica montados em estrutura metálicas (painéis mímicos). Sobre a cerâmica era feito o desenho (serigrafia) lógico do sistema a ser controlado. Os elementos dinâmicos eram representados por componentes luminosos, tais com lâmpadas ou LEDS. De 1985 a 1997 foi à vez dos painéis CRT ou LCD - painéis compostos por monitores CRT (Cathode Ray Tube) ou LCD (Liquid Crystal Display). No período de 1997 a 2001, surgiu a primeira geração dos painéis DLP e, finalmente, de 2001 a 2003, os painéis DLP SIP Inteligentes - painéis compostos por cubos DLP com inteligência integrada ao sistema, através do programa tecnológico SIP - System Intelligent Processing.

### 4.3 Controladores Lógicos Programáveis

#### 4.3.1 Introdução

Este capítulo pretende apresentar uma visão moderna dos controladores industriais, cobrindo não só as funções de lógica e seqüenciamento, mas também os módulos de controle realmente presentes em grande parte dos controladores existentes no mercado. Devido a grande quantidade de fabricantes dedicados à produção destes controladores, procurou-se exemplificar de forma geral, para não se restringir à abrangência do trabalho. Inicialmente, será apresentado um breve histórico da evolução destes dispositivos.

A história dos controladores lógicos programáveis coincide, em parte, com o desenvolvimento dos microprocessadores que vieram viabilizar a implementação de funções complexas de controle digital em equipamentos industriais. Antigamente, as funções de seqüenciamento de operações eram executadas em painéis de controle lógico com centenas e até milhares de relés que efetuavam o acionamento de contadores que, por sua vez, ligavam e desligavam os motores e chaves presentes nos sistemas automáticos industriais. Com a evolução dos minicomputadores, no final da década de 60 e início da década de 70, parte destas funções passaram a ser executadas por estes computadores ligados aos processos industriais e que, na época, eram conhecidos como computadores de processo.

A criação do microprocessador e dos computadores pessoais viabilizou o desenvolvimento do que hoje se denomina Controlador Lógico Programável (CLP). Os primeiros CLPs totalmente programáveis [1] foram desenvolvidos em 1969 por uma firma de engenharia denominada Bedford Associates. Posteriormente, a Bedford Associates mudou de nome para Modicon. O seu primeiro CLP foi projetado como um sistema de controle por computador, especialmente idealizado para uma divisão da General Motors. O primeiro sistema recebeu o número 084 e foi denominado *Hard Hat*. O número 084 se refere às 84 tentativas de criação do sistema. Os modelos foram evoluindo, sendo que os modelos 184 e 384 se pareciam bastante com os CLPs que estão à venda hoje no mercado. Estes modelos eram totalmente programáveis, usando a lógica de escada. O hardware era composto de microprocessador e lógica de estado sólido.

O modelo 284 da Modicon era um sistema pequeno com 80 entradas e 40 saídas. Já o modelo 1084 era capaz de controlar 5120 entradas e 5120 saídas. A sua memória era de 40 K bytes.

Em 1977, a Modicon foi comprada pelo Gould Inc. No ano seguinte, foi projetada rede Modbus que permitia aos modelos 484 transmitirem dados entre si. A primeira rede entrou em operação em 1979. Em 1980 a Modicon apresentou um sistema pequeno, compacto, de baixo custo e bastante poderoso. Este sistema, denominado Micro 84, era capaz de controlar 64 entradas e saídas e possuía contadores, temporizadores, seqüenciadores, e funções matemáticas. Em 1984,

# CST

## Arcelor Brasil

foi apresentado o modelo 984 que incluía funções de PID.

O primeiro sistema da Allen Bradley também foi apresentado em 1969 para o mesmo projeto da General Motors, embora não tenha sido empregado no projeto. Na realidade, o primeiro sistema da Allen-Bradley foi desenvolvido em 1959 e foi denominado PDQ. O primeiro controlador da Allen-Bradley com temporizadores, contadores e demais funções de CLP, foi apresentado em 1970 e foi denominado PMC. Em 1975, foi lançado o PLC-2 e, em 1979, o PLC 2/20. Diversos outros modelos foram lançados, posteriormente, pela mesma companhia.

A Texas Instruments também lançou vários modelos a partir de 1973, se tornando, juntamente com a Modicon e Allen-Bradley, os maiores fabricantes destes equipamentos.

Os CLPs hoje existentes consistem basicamente, de um microprocessador com entradas e saídas digitais e analógicas e que podem ser programados para ligar ou desligar as saídas dependendo dos valores das suas entradas, ou então, variar os valores das saídas analógicas, dependendo dos valores introduzidos em suas entradas analógicas. As saídas são comandadas por um programa, que calcula os valores das saídas com base nas entradas. Este programa fica constantemente em loop, fazendo a varredura das entradas, em intervalos de tempo bastante pequenos.

Basicamente, entende-se por Controladores Lógicos Programáveis (CLP) os dispositivos empregados em controle de processos que executam funções que podem ser classificadas em dois tipos:

- Seqüenciamento de operações
- Controle realimentado

Por razões didáticas, estas duas funções são apresentadas separadamente, neste texto, embora estejam integradas em grande parte dos CLPs encontrados no mercado. Assim sendo, há três tipos de CLPs, no que se refere às suas funções:

- Tipo 1 - Somente com funções de seqüenciamento de operações
- Tipo 2 - Somente com funções de controle realimentado
- Tipo 3 - Com controle realimentado e funções de seqüenciamento de operações

Como exemplo do tipo 3 pode-se citar a linha 5 da Allen Bradley. O controlador MicroLogix 1000 é um exemplo do tipo 1, enquanto que o CD600 da Smar é um caso típico de controlador do tipo 2. Inicialmente, serão tratados os CLPs do tipo 1.

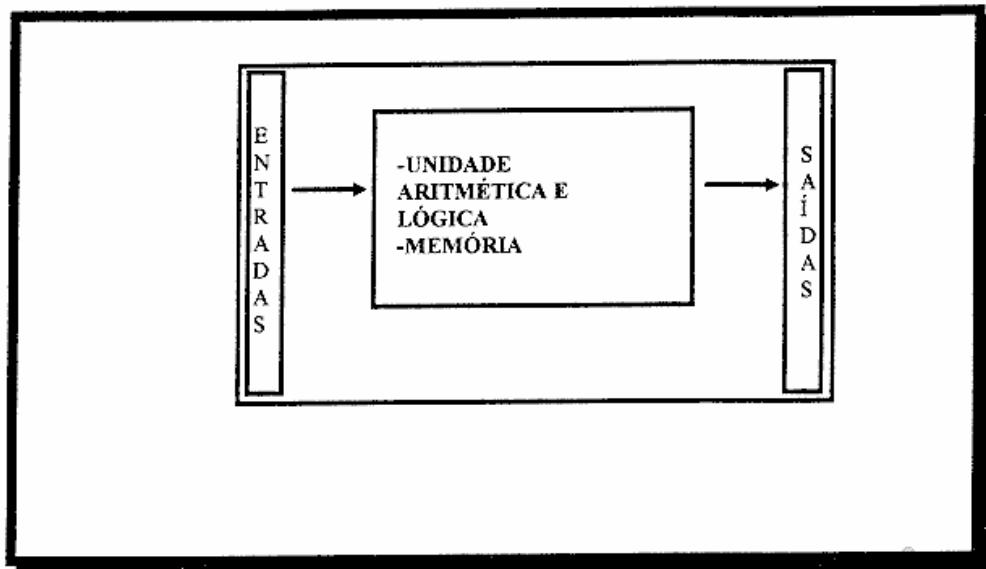
### 4.3.2 Controladores Lógicos Programáveis usados no Seqüenciamento de operações.

Este tipo de controlador tem sido amplamente utilizado nos processos industriais. O termo programável se refere ao fato de que os CLPs trabalham com programas armazenados na

# CST

## Arcelor Brasil

memória e que podem ser facilmente alterados para atender às diversas condições de operação das indústrias. Os CLPs substituem os antigos painéis de controle lógico, amplamente utilizados no passado.



**Fig.4.1.**  
Representação esquemática de um CLP.

A diferença básica entre um CLP e um painel de controle lógico é que no CLP, a lógica de controle é executada através de um programa digital armazenado em sua memória. No painel de controle lógico, a lógica de controle é executada através da abertura e fechamento das chaves e relés fisicamente instalados.

A utilização de um CLP tem duas fases distintas:

- Programação
- Operação

Na fase de programação, toma-se como base o diagrama de contatos do painel lógico de controle e se introduz o programa na memória do CLP. Na fase de operação, o CLP é conectado ao processo para comandar as ações de ligar e desligar seqüencialmente os motores e demais equipamentos. Nesta fase, o CLP executa o programa do usuário em um ciclo fechado, isto é, faz as varreduras nos módulos de entrada e saída e executa o programa, repetidamente.

Conforme se pode observar pela fig.4.1, o CLP possui uma entrada física onde se conecta a fiação de entrada, da mesma forma que em um painel de controle lógico. A cada uma dessas entradas corresponde um bit na memória. Ao conjunto de bits correspondentes à entrada, denomina-se palavra de entrada.

Na fase de operação, o CLP usa a palavra de entrada para alimentar o programa do usuário. O resultado deste programa é armazenado na palavra de saída que, então, servirá de base para energizar as saídas físicas correspondentes, com os níveis preestabelecidos.

Em geral, os CLPs são compostos dos componentes básicos que estão descritos a seguir.

#### 4.3.3 Componentes básicos de um CLP

Uma configuração mínima de CLP deverá ser composta dos seguintes componentes:

- Processador
- Memória
- Circuito de Entrada
- Circuito de Saída
- Painéis de Programação
- Fonte de Alimentação

#### 4.3.4 Processador

Os CLPs mais simples empregam processadores de 8 bits, devido à pouca exigência de processamento numérico de suas funções. São empregados microprocessadores tais como o Z80 e o 8085 além de microcontroladores 8031, 8032, etc. Diversos fabricantes desenvolveram seus próprios processadores especialmente para os seus CLPs.

Todos esses processadores possuem um conjunto de instruções básicas que permitem:

- Processamento aritmético e lógico
- Acesso à memória
- Acesso às portas de entrada e saída

Com estas instruções, são desenvolvidos os programas que permitem a execução das tarefas exigidas dos CLPs. Em geral, os fabricantes de CLP fornecem o software necessário para que o usuário possa, de forma bastante amigável, introduzir os diagramas de contatos e solicitar do equipamento a execução das funções desejadas.

#### 4.3.5 Memória

Os CLPs empregam memórias dos tipos ROM (Read Only Memory), RAM (Random Access Memory), EPROM (erasable and Programmable Read Only Memory) e, principalmente, as memórias do tipo RAM não volátil. Esta última é fundamental para que o CLP não perca os programas armazenados em caso de perda de alimentação elétrica.

Uma parte da memória RAM já vem dentro do próprio chip do microprocessador, enquanto que o restante é introduzido em módulos, pelo fabricante do CLP. A quantidade total de memória é definida pelo fabricante com base na capacidade desejada para o seu equipamento.

As exigências de memória dos CLPs são mínimas comparadas com os computadores convencionais. Isto, também, se deve ao fato de que os CLPs trabalham, basicamente, com diagramas lógicos, com pouco processamento numérico e com quase nenhuma manipulação algébrica.

Os CLPs empregam também memórias do tipo EPROM que são utilizadas para armazenamentos dos programas básicos e dados numéricos. Fica também residente na memória EPROM o programa monitor que inicia as operações básicas e gerencia todas as operações do CLP.

Em geral, as memórias dos CLPs são divididas nas seguintes áreas.

- Área de armazenamento de programas
- Área de dados
- Memória de entrada e saída

A primeira se refere à área onde o programa do usuário fica armazenado. A área de dados se refere às posições de memória para armazenamento de constantes, tais como parâmetros de PID,

valores analógicos, dados de contadores, temporizadores, etc. A memória de entrada e saída guarda o estado dos bits que representam as chaves fechadas ou abertas, tanto da entrada como da saída. Em geral, todas estas áreas são do tipo RAM não volátil, pois é importante que, na falta de energia, o programa e os dados não se percam.

#### **4.3.6 Circuito de Entrada**

Trata-se de um circuito eletrônico capaz de identificar as entradas que estiverem energizadas, fazendo com que as posições correspondentes da palavra de entrada sejam habilitadas caso a entrada correspondente esteja energizada. As entradas, propriamente ditas, podem ser de 110 ou 220 Vac, ou 24 Vdc.

#### **4.3.7 Circuito de Saída**

Trata-se de um circuito eletrônico capaz de ligar as saídas caso as posições correspondentes na palavra de saída estejam habilitadas. As saídas, propriamente ditas, podem ser de 110 ou 220 Vac, ou 24 Vdc, ou ainda, contatos secos.

#### **4.3.8 Painéis de Programação**

Os painéis de programação são dispositivos especiais que servem para auxiliar a introdução de programas nos CLPs. Estes dispositivos possuem um teclado especial e podem ser conectados diretamente aos CLPs, em operação. Atualmente estes dispositivos estão caindo em desuso devido ao baixo custo dos computadores do tipo laptop, que os substituem com grandes vantagens.

#### **4.3.9 Fonte de Alimentação**

Os CLPs necessitam de uma fonte de alimentação capaz de energizar os seus circuitos eletrônicos e, em certos casos, outra fonte para a energização dos elementos de saída. Em alguns CLPs, as saídas são constituídas apenas de contatos secos.

As seções seguintes serão dedicadas ao detalhamento das instruções básicas mais utilizadas nos CLPs. Para que se possa efetuar aplicações práticas, serão utilizadas as convenções do fabricante [Micrologix 1000, ALLEN BRADLEY], embora grande parte dos princípios apresentados tenha caráter geral. Assim sendo, estes conceitos podem ser aplicados à maioria dos CLPs disponíveis no mercado. Inicialmente, serão apresentados os detalhes de endereçamento.

#### **4.3.10 Endereçamento**

Para se programar o CLP, deve-se referenciar os bits correspondentes às entradas, às saídas, aos bits que correspondentes aos relés auxiliares etc. Deve-se também endereçar as posições de memória correspondem aos valores analógicos. Cada fabricante usa uma determinada convenção para referenciar estes elementos. No caso específico dos CLPs do fabricante [Micrologix 1000, ALLEN BRADLEY], são utilizadas as convenções apresentadas na tabela 4.1.

**Tabela 4.1-Endereçamento**

TIPO DO ARQUIVO	IDENTIFICADOR LETRA	EXEMPLO	NÚMERO DO ARQUIVO
SAÍDA (output)	O	O:0/1	0
ENTRADA (input)	I	I:0/4	1

ESTADO (Stage)	S	S:0/3	2
Bit	B	B3/5	3
TEMPO (Tempo)	T	T4:0/DN	4
CONTADOR (Counter)	C	C5:0/DN	5
CONTROLE (Control)	R	R6:0	6
INTEIRO (Integer)	N	N7:10	7

A especificação dos endereços é feita por **xf:e**, onde **x** é o tipo de arquivo **f** é o número do arquivo, **e** é o número do elemento. As convenções utilizadas em cada tipo de endereço estão apresentadas juntamente com as explicações das instruções, nas seções seguintes.

Pode-se também especificar endereços indexados. Para isto, deve-se colocar o caractere **#** antes do identificador do tipo de arquivo, em um endereço lógico. Pode-se usar mais do que um endereço indexado em um programa. O programa sempre armazena um valor de off-set na palavra S:24. Todas as instruções que usam endereços indexados armazenam o valor de off-set na palavra S:24. O processador começa a operação no endereço indicado pela soma do endereço base com o valor de off-set. Desta forma, pode-se manipular o valor de off-set através de programa do tipo Ladder. Entretanto, para se especificar endereços indexados devem-se seguir as seguintes diretivas:

- Deve-se ter certeza de que o endereço indexado não venha a ultrapassar os limites de cada tipo de arquivo.
- Quando uma instrução usar mais do que os dois endereços indexados, o processador tomará o mesmo índice para cada endereço indexado.
- Deve-se atribuir o valor do off-set à palavra de índice, imediatamente antes de se usar o endereço indexado.

#### 4.3.11 Exemplo de um Endereço Indexado

Neste exemplo, uma instrução Masked Move - MVM (veja seção seguinte) faz uso de endereços indexados, tanto nos endereços da fonte como nos endereços de destino. Considere que o valor de off-set, armazenado em S:24 seja igual a 10. Então, o processador irá manipular o conteúdo das posições correspondentes ao endereço base, mais o valor 10. A Fig.4.2 mostra a instrução MVM dentro do diagrama Ladder e a tabela 4.2 mostra os endereços correspondentes.

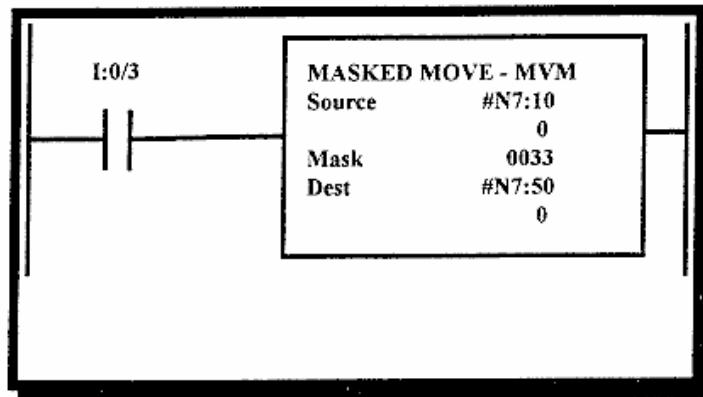


Fig.4.2.

**Um exemplo de instrução com endereçamento indexado.**

**Tabela 4.2 – Endereços do exemplo**

VALOR	ENDEREÇO BASE	VALOR DE OFF-SET ARMAZENADO EM S:24	ENDEREÇO DE OFF-SET
Fonte	N7:10	10	N7:20
Destino	N7:50	10	N7:60

#### 4.3.12 Endereçamento de Instruções de Arquivo

As instruções abaixo manipulam os arquivos das tabelas de dados. Os arquivos são endereçados com o sinal #. Através destas instruções, pode-se armazenar um valor de off-set na palavra S:24, da mesma forma que o endereçamento indexado apresentado anteriormente.

**Tabela 4.3 - Instruções de Arquivo**

INSTRUÇÃO	SIGNIFICADO
COP	Copy File: Copia arquivo
FLL	Fill File: preenche o arquivo
BSL	Bit Shift Left: desloca o bit para a esquerda
BSR	Bit Shift Right: desloca o bit para a direita
FFL	FIFO Load: carrega a pilha do tipo “primeiro que entra, primeiro que sai”.
FFU	FIFO Unload: descarrega a pilha do tipo “primeiro que entra primeiro, que sai”
LFL	LIFO Load: carrega a pilha do tipo “último que entra primeiro que sai”
LFU	LIFO Unload: descarrega a pilha do tipo “último que entra primeiro que sai”
SQO	Sequencer Output: saída do sequenciador
SQC	Sequencer Compare: comparação do sequenciador
SQL	Sequencer Load: carrega o sequenciador

#### 4.3.13 Constantes Numéricas

Pode-se introduzir constantes numéricas diretamente em diversas instruções. A faixa de variação para a maioria destas instruções é de -32768 até +32767. Estes valores podem ser mostrados como:

- Números inteiros
- Números binários
- ASCII
- Hexadecimal

Quando se introduz uma constante em uma instrução ou tabela, pode-se especificar o tipo da constante através do operador &, seguido de um caractere que define o tipo, isto é:

**Tabela 4.4 - Especificação de Constantes**

TIPO	OPERADOR
INTEIRO	&N
BINÁRIO	&B
ASCII	&A

HEXADECIMAL	&H
BCD	&D
OCTAL	&O

#### 4.3.14 Instruções Básicas para programação de CLP

A programação dos CLPs exige sempre o conhecimento detalhado do equipamento a ser utilizado. Há necessidade de se conhecer as características e procedimentos específicos de cada fabricante. Entretanto, uma linguagem bastante utilizada é aquela que imita os diagramas de contatos, amplamente utilizados no passado, nas indústrias. Nestes diagramas, consideram-se uma barra negativa e outra positiva que ligam saídas através de contatos. Como estes desenhos tomam uma forma semelhante a uma escada (Fig.4.5), esta forma de programar os CLP passou a ser conhecida como programação através de diagramas *LADDER* (escada).

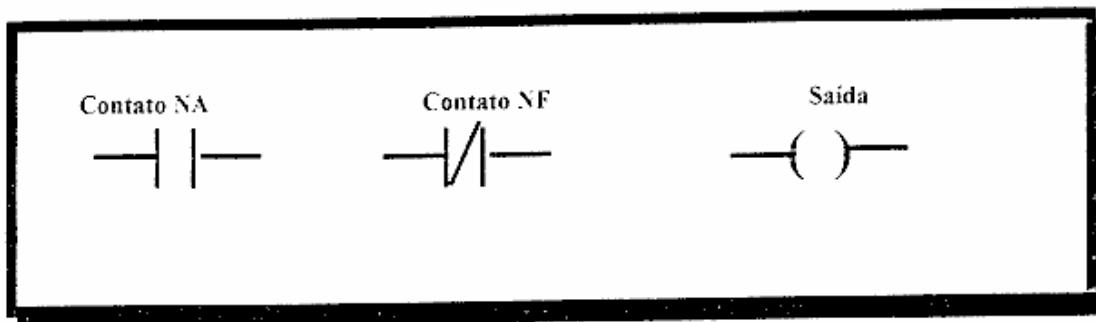
Nesses diagramas, têm-se diversos elementos que, em princípio, simbolizam dispositivos físicos que eram utilizados nos painéis de contatos. Basicamente, estes dispositivos físicos eram:

- Contatos
- Saídas
- Temporizadores
- Contadores
- Outras funções específicas

Os CLPs utilizam estes mesmos conceitos, exceto que, em vez de utilizarem elementos físicos, realizam estas funções por software. Na verdade, cada um destes elementos e muitos outros, são representados por instruções de software. Esta é a grande vantagem da utilização dos CLPs, pois grandes partes das modificações, em geral, não implicam em mudanças físicas na planta, mas, somente, na modificação do programa armazenado no CLP.

#### 4.3.15 Instrução do Tipo Relé

As instruções do tipo relé têm a finalidade de substituir os relés eletromecânicos antigos. Podem ser no tipo NA ou NF conforme mostrados na fig.4.3.



**Fig.4.3.**  
Instruções do tipo bit

**Relé NA:** tais dispositivos fecham os seus contatos quando são energizados (Fig.4.3). A denominação NA, normalmente aberto, se refere à consideração do que os relés eletromecânicos, deste tipo, estariam abertos se estivessem fora do circuito, ou seja, na prateleira.

**Relé NF:** tais dispositivos abrem os seus contatos quando são energizados (Fig.4.3). A denominação NF, normalmente fechado, se refere à consideração de que os relés eletromecânicos, deste tipo, estariam fechados se estivessem fora do circuito, ou seja, na prateleira.

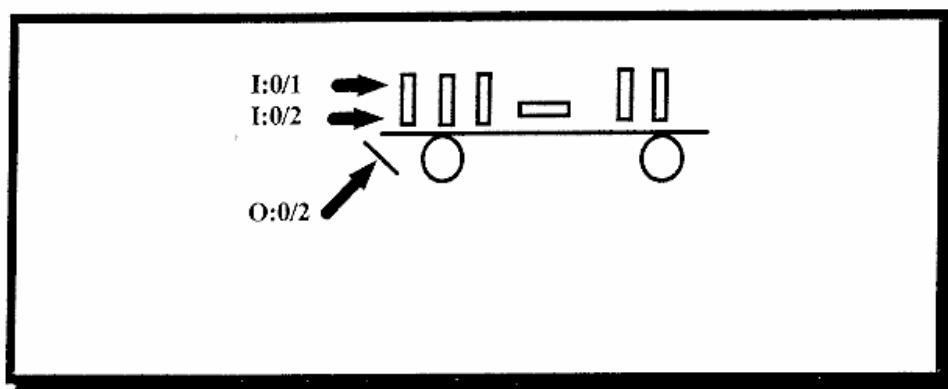
#### 4.3.16 Instrução - Liga a Saída

Esta instrução serve para habilitar uma saída, que tanto pode corresponder a uma saída física do CLP, como a um bit. A saída será habilitada quando a condição do degrau, onde está localizada a instrução se tornar verdadeira. Quando a condição do degrau se tornar falsa, a saída será desabilitada. Este tipo de instrução representa, basicamente, a energização das bobinas nos antigos relés eletromecânicos.

#### 4.3.17 Exemplos de programas

- **Exemplo 1**

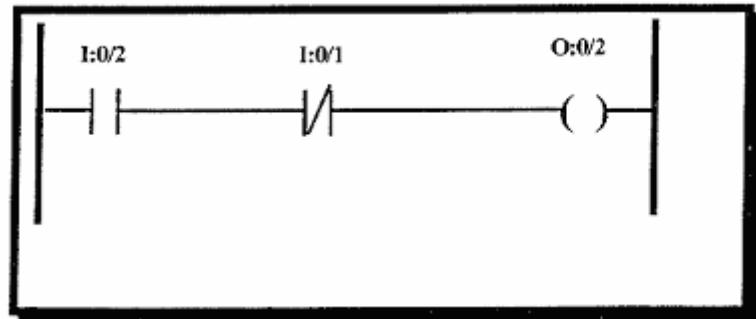
Nesta aplicação, um CLP é utilizado para acionar uma pá capaz de retirar da esteira rolante os produtos que estiverem tombados. A fig.4.4 ilustra o problema.



**Fig.4.4.**  
**Exemplo de uma esteira rolante.**

**SOLUÇÃO:** Na fig.4.4, as duas setas horizontais estão simbolizando a existência de duas células fotoelétricas que irão energizar as entradas I:0/1 e I:0/2, caso o objeto esteja em pé. Se o objeto

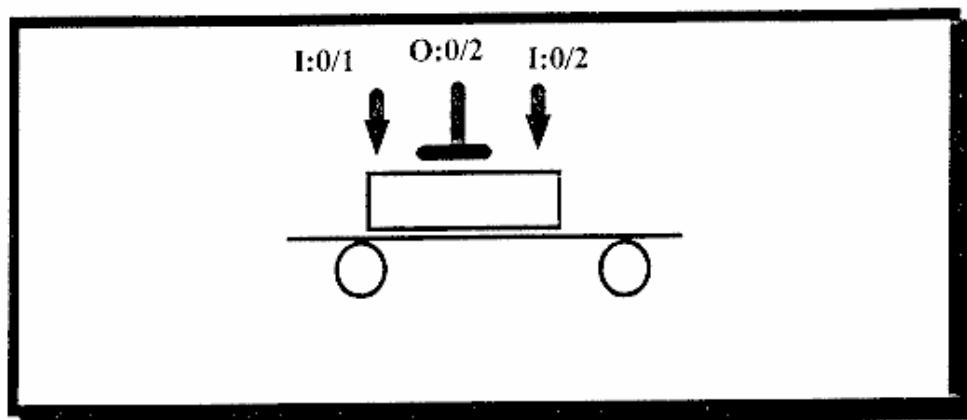
estiver tombado, a entrada I:0/1 estará desligada e I:0/2 estará ligada. Neste caso, deve-se acionar o dispositivo (saída O:0/2) que irá tirar o produto da esteira. Se ambas estiverem desligadas, isto significará que não há produto passando em frente às células, naquele momento. O diagrama ladder correspondente está apresentado na fig.4.5.



**Fig.4.5.**  
**Diagrama ladder correspondente ao Exemplo**

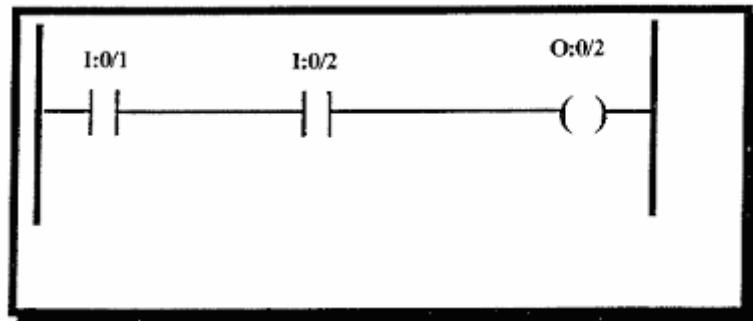
- **EXEMPLO 2**

Nesta aplicação, um CLP é utilizado para acionar um carimbo capaz de imprimir um rótulo no produto que estiver passando pela esteira rolante. A fig.4.7 ilustra o problema.



**Fig.4.6.**  
**Exemplo de uma esteira rolante.**

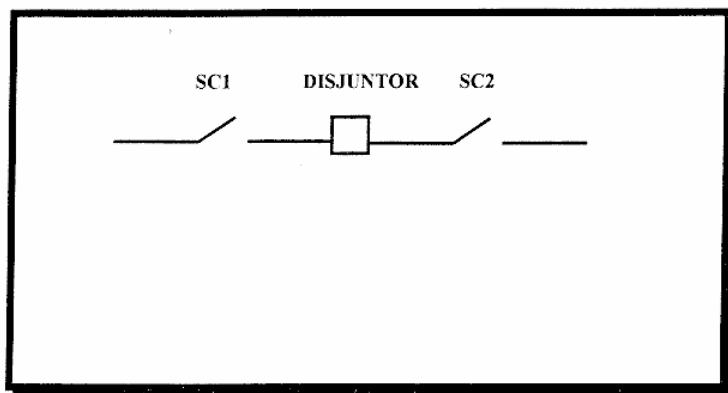
**SOLUÇÃO:** Na fig.4.7 as duas setas verticais estão simbolizando a existência de duas células fotoelétricas que irão energizar as entradas I:0/1 e I:0/2, caso o objeto esteja posicionado. Se o objeto não estiver posicionado, as entradas estarão desligadas. Se ambas estiverem ligadas, o carimbo será acionado. O diagrama ladder correspondente está apresentado na fig.4.7.



**Fig.4.7.**  
**Diagrama ladder correspondente ao Exemplo 2.**

• **EXEMPLO 3**

Este exemplo é uma aplicação de CLPs em automação de subestações de eletricidade. Trata-se do intertravamento entre um disjuntor e duas seccionadoras. Através deste intertravamento, impede-se que se operem as seccionadoras com o disjuntor ligado. O diagrama unifilar da fig.4.8 ilustra o problema.



**Fig.4.8.**  
**Diagrama unifilar.**

**SOLUÇÃO:** O CLP deverá receber as seguintes entradas:

- I:0/0 - Contato auxiliar do disjuntor informando a sua condição de aberto ou fechado
- I:0/1 - Comando para ligar a seccionadora 1
- I:0/2 - Comando para desligar a seccionadora 1
- I:0/3 - Comando para ligar a seccionadora 2
- I:0/4 - Comando para desligar a seccionadora 2

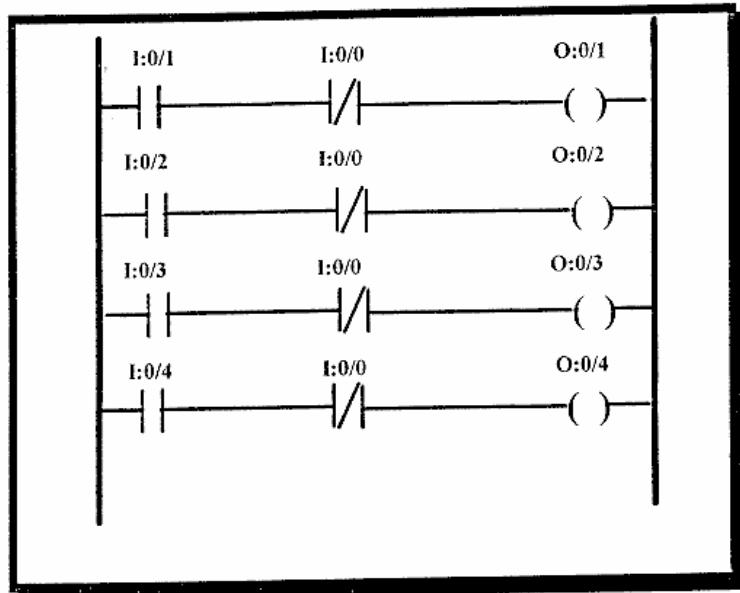
As saídas do CLP deverão ser:

# CST

## Arcelor Brasil

- O:0/1 - Saída para ligar a seccionadora 1
- O:0/2 - Saída para desligar a seccionadora 1
- O:0/3 - Saída para ligar a seccionadora 2
- O:0/4 - Saída para desligar a seccionadora 2

Na prática, este problema poderá envolver outras variáveis que não serão tratadas neste exemplo. Por exemplo, pode-se incluir contatos auxiliares em cada uma das seccionadoras e, desta forma, supervisionar o motor que liga e desliga as seccionadoras. Assim, pode-se monitorar os casos em que, por algum problema, o fechamento ou a abertura das seccionadoras não se complete. Por motivos didáticos, neste exemplo, apresenta-se uma forma simplificada de solução.



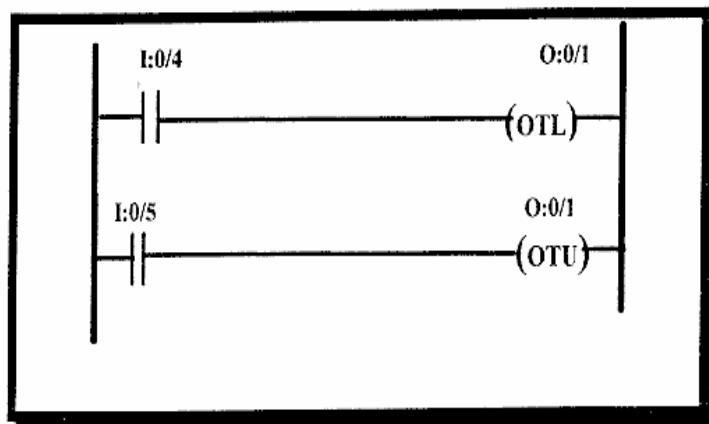
**Fig.4.9.**  
**Diagrama ladder do exemplo 3**

Deve-se observar também que, neste exemplo, considera-se que para se ligar ou desligar as seccionadoras basta pressionar a botoeira correspondente. A tarefa de selar o contato será feita

por outro dispositivo. Para se selar uma saída usando o próprio CLP pode-se usar as instruções apresentadas a seguir.

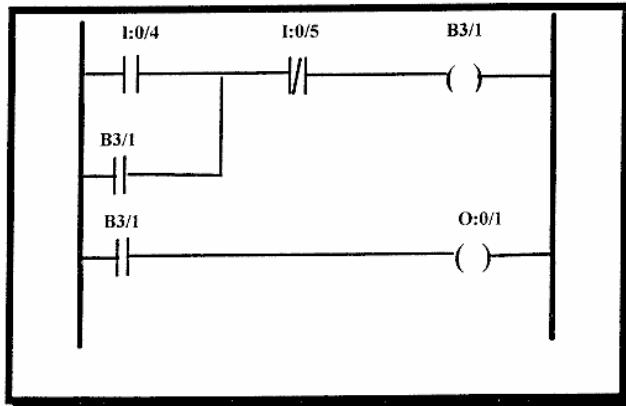
#### 4.3.18 Instrução Liga e Desliga com Selo (OTL E OTU)

Através da instrução **OTL** uma saída será ligada quando a condição do degrau a que pertence se tornar verdadeira, permanecendo ligada mesmo que as condições se tornem falsas. A saída somente será desligada através da instrução **OTU**. No exemplo apresentado na fig.4.10, a saída O:0/1 será ligada e permanecerá ligada, quando a entrada I:0/4 for ligada. Quando a entrada I:0/5 for ligada, a saída O:0/1 será desligada através da instrução **OTU**.



**Fig.4.10.**  
**Instruções OTL e OTU**

O diagrama da fig.4.11 pode ser feito, sem as instruções OTL e OTU, utilizando-se contatos auxiliares, como na fig.4.11.



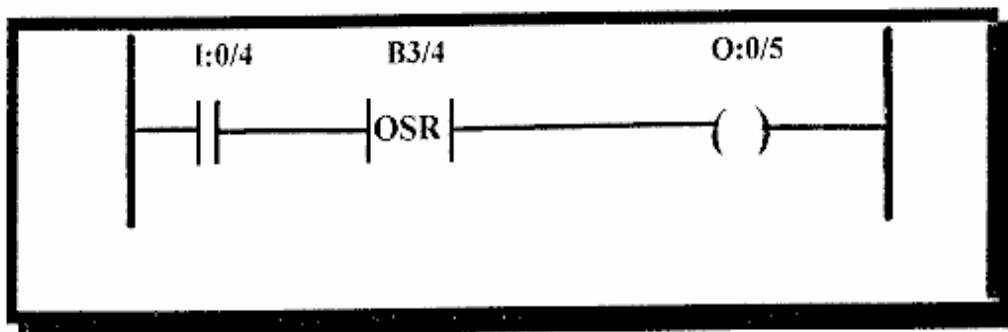
**Fig.4.11.**  
**Selando a saída**

Na fig.4.11, ao se habilitar a entrada I:0/4, estando a I:0/5 desabilitada, a saída O:0/1 fica ligada em definitivo. Para desligá-la basta um pulso na entrada I:0/5. Como se pode observar, para isso foi necessário o uso do bit B3/1. Observe que os diagramas das fig.4.10 e fig.4.11 executam, exatamente, a mesma tarefa, porém com instruções diferentes.

#### 4.3.19 Instrução Liga em uma varredura (OSR)

Esta instrução serve para ligar uma saída quando o estado de um degrau passar de falso para verdadeiro. Nestas condições, a instrução passará de desligada para ligada, somente em uma varredura. Terminada a varredura a instrução voltará a ser falsa, mesmo que as condições do degrau permaneçam verdadeiras. A instrução se tornará verdadeira novamente, somente quando a condição do degrau passar de falsa para verdadeira.

O código mnemônico para esta instrução é OSR. Pode-se usar somente uma instrução OSR, por degrau, para cada saída. O endereço da instrução OSR deve ser de um bit, isto é, não poderá ser de uma saída ou entrada física. Este endereço não pode ser usado em outra parte do programa. O diagrama da fig.4.12 ilustra o uso desta instrução.

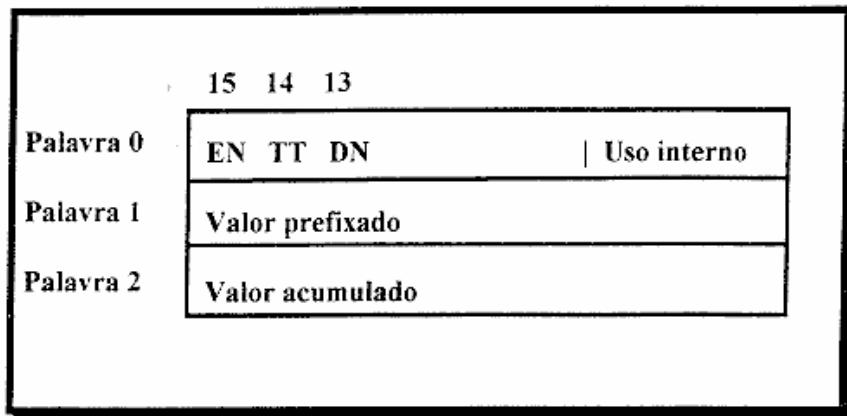


**Fig.4.12.**  
**Instrução OSR**

Neste exemplo, quando a entrada I:0/4 for ligada, a saída I:0/5 será também ligada e permanecerá ligada somente durante o tempo de uma varredura do CLP. A saída somente voltará a ser ligada quando a entrada I:0/4 for ligada novamente. Observe que mesmo que a entrada permaneça ligada, a saída somente ficará ligada durante o tempo de uma varredura do CLP.

#### 4.3.20 Temporizadores

Os temporizadores realizam, por software, as funções dos antigos relés de tempo eletromecânicos. Estes relés eram construídos com peças de relojoaria bastante precisas e realizavam com perfeição a função de fechar e abrir contatos após ter transcorrido o tempo prefixado. Os temporizadores são programados através de instruções que ocupam 3 palavras. A palavra 0(zero) contém os controles, a palavra 1(um) contém o valor prefixado e a palavra 2(dois) contém o valor acumulado. O esquema da fig.4.13, mostra a organização dessas três palavras.



**Fig.4.13.**  
**Estrutura do Temporizador.**

Na fig.4.13 os bits EN, TT e DN têm significados diferentes dependendo do tipo de instrução que estiver sendo utilizada.

Os elementos do temporizador são:

- **Valor acumulado (ACC):** trata-se do tempo transcorrido desde a última vez que o temporizador foi inicializado.
- **Valor prefixado (PRE):** trata-se do valor que o temporizador precisa atingir para que o bit DN

seja habilitado. Tanto ACC como PRE podem variar de 0 a +32.767. Se, por algum motivo, ACC ou PRE assumirem valores negativos, ocorrerá um erro de execução.

- **Base de tempo:** trata-se do valor pelo qual deve-se multiplicar o valor de tempo real transcorrido. Há somente duas possibilidades para a base de tempo 0.01 (10ms) ou 1.0 segundo.

O endereçamento dos temporizadores, para o mesmo fabricante, é feito como no exemplo seguinte, onde o temporizador utilizado tem o número zero (0). Observe que todos os temporizadores serão referidos por T4. A convenção usada segue a fórmula **Tf:e.s/b** onde cada um dos elementos tem o significado apresentado abaixo:

**Tabela 4.5 - Endereçamento de um Temporizador**

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
T	Indica que se trata de um temporizador
f	Trata-se do número do arquivo, que no caso de temporizadores, deve ser sempre igual a 4.
:	Delimitador de elemento
e	Número do elemento. Varia de 0 a 39, onde cada número representa um conjunto de 3 palavras.
	Indica que o símbolo ou número que vem em seguida se refere a uma palavra de memória e não um bit.
s	Trata-se do sub-elemento, que tanto pode ser a representação de uma palavra ou um bit.
	É um delimitador que indica que o símbolo que vem em seguida se refere a um bit e não a uma palavra de memória.
b	trata-se do símbolo ou do número do bit correspondente.

Na tabela seguinte, apresentam-se os endereços correspondentes aos elementos do temporizador de número 0 (zero).

**Tabela 4.6 - Exemplos de Endereços**

ENDEREÇO	SIGNIFICADO
T4:0/15 ou T4:0/EM	Bit EN do temporizador 0
T4:0/14 ou T4:0/TT	Bit TT do temporizador 0
T4:0.1 ou T4:0.PRE	Valor prefixado para o temporizador 0
T4:0.2 ou T4:0.ACC	Valor acumulado do temporizador 0
T4:0.1/0 ou T4:0.PRE/0	Bit 0 do valor prefixado
T4:0.2/0 ou T4:0.ACC/0	Bit 0 do valor acumulado

Para o CLP apresentado há basicamente, 3 tipos de temporizadores:

- Temporizador TON (Timer On Delay)
- Temporizador TOF (Timer Of-Delay)
- Temporizador RTO (Retentive Timer RTO)

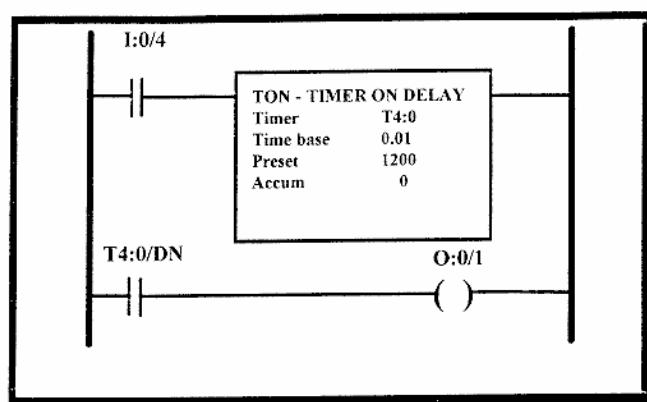
#### 4.3.21 Temporizador TON

Esta instrução deve ser usada para se atrasar o momento de se ligar ou desligar um contato. Quando as condições do degrau se tornarem verdadeiras o temporizador começará a contar o tempo e os bits DN, EN e TT se comportarão como na tabela abaixo.

**Tabela 4.7 – Temporizador TON**

BIT	SERÁ HABILITADO QUANDO	PERMANECERÁ HABILITADO ATÉ QUE
Dn (Done Bit)	O valor acumulado for igual ou maior que o valor prefixado	as condições do degrau se tornem falsas
EN (Enable Bit)	As condições do degrau se tornarem verdadeiras	as condições do degrau se tornem falsas
TT (Timer Timing Bit)	As condições do degrau se tornarem verdadeiras e o valor acumulado for menor que o valor prefixado	as condições do degrau se tornarem falsas ou quando o bit DN for habilitado.

A fig.4.14 mostra como o temporizador pode ser utilizado em um diagrama Ladder.

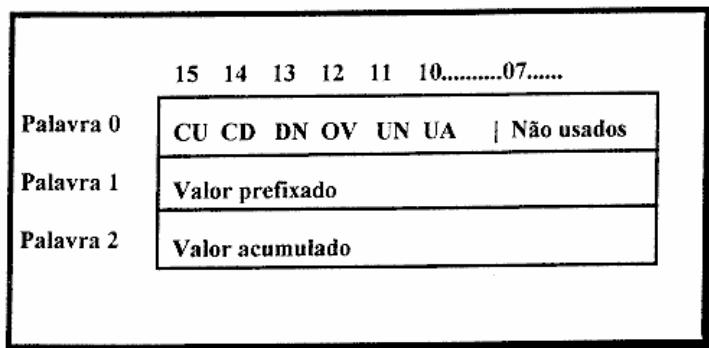


**Fig.4.14.**  
**Exemplo do uso de um temporizador.**

Neste exemplo, quando a entrada I:0/4 for habilitada, será dada a partida no temporizador T4:0. Transcorridos 12 segundos, o bit T4:0/DN será habilitado, ligando-se a saída O:0/1. Caso a entrada I:0/4 seja desabilitada antes de se completar o tempo prefixado, o temporizador será desabilitado, zerando-se o acumulador.

#### 4.3.22 Contadores

Os contadores são instruções usadas para se contar eventos. No caso do fabricante [2] cada instrução de contador utiliza três palavras conforme a fig.4.15.



**Fig.4.15.**  
**Estrutura do Contador**

Na fig.4.15, os bits referenciados são os seguintes:

- Bit 15: Bit de habilitação de contagem crescente (Counter Up)
- Bit 14: Bit de habilitação de contagem decrescente (Counter Down)
- Bit 13: Bit de conclusão da contagem (Done Bit)
- Bit 12: Bit de Overflow (Overflow Bit)
- Bit 11: Bit de Underflow (Underflow Bit)
- Bit 10: Bit de indicação de atualização do acumulador

Os demais elementos do contador são:

- **Valor acumulado (ACC):** trata-se do número de vezes que o degrau passou da condição de falso para verdadeiro, desde a última vez que o contador foi inicializado.
- **Valor prefixado (PRE):** trata-se do valor que o acumulador precisa atingir para que o bit DN seja habilitado. Tanto ACC como PRE podem variar de -32.767 a +32.767. Os valores negativos são armazenados na forma de complemento a 2.

O endereçamento dos contadores é feito como no exemplo seguinte, onde o contador utilizado tem o número zero (0). Observe que todos os contadores serão referidos por C5. A convenção usada segue a fórmula **Cf:e.s/b** onde cada um dos elementos tem o significado apresentado abaixo.

**Tabela 4.8 - Contador**

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
C	Indica que se trata de um contador
f	Trata-se do número do arquivo, que no caso de contadores, deve ser sempre igual a 5
:	Delimitador de elemento
e	Número do elemento. Varia de 0 a 39, onde cada número representa um conjunto de 3 palavras
	Indica que o símbolo ou número que vem em seguida se refere a uma palavra de memória e não um bit
s	Trata-se do sub-elemento, que tanto pode ser a representação de uma palavra ou um bit.
/	É um delimitador que indica que o símbolo que vem em seguida se refere a um bit e não a uma palavra de memória
b	Trata-se do símbolo ou do número do bit correspondente

Na tabela seguinte, apresentam-se os endereços correspondentes aos elementos do contador de número 0 (zero)/.

**Tabela 4.9 – Elementos do Contador**

ENDEREÇO	SIGNIFICADO
C5:0/15 ou C5:0/CU	bit de habilitação do contador crescente
C5:0/14 ou C5:0/CD	bit de habilitação do contador decrescente
C5:0/13 ou C5:0/DN	bit que indica que o valor foi atingido
C5:0/12 ou C5:0/OV	bit que indica overflow
C5:0/11 ou C5:0/UN	bit que indica underflow
C5:0/10 ou C5:0/UA	bit que indica que o acumulador foi habilitado
C5:0.1 ou C5:0.PRE	valor prefixado para o contador 0
C5:0.2 ou C5:0.ACC	valor acumulado do contador 0
C5:0.1/0 ou C5:0.PRE/0	bit 0 do valor prefixado
C5:0.2/0 ou C5:0.ACC/0	bit 0 do valor acumulado

Há basicamente 2 tipos de contadores:

- Contador CTU (Count Up)
- Contador CTD (Count Down)

#### 4.3.23 Contador CTU

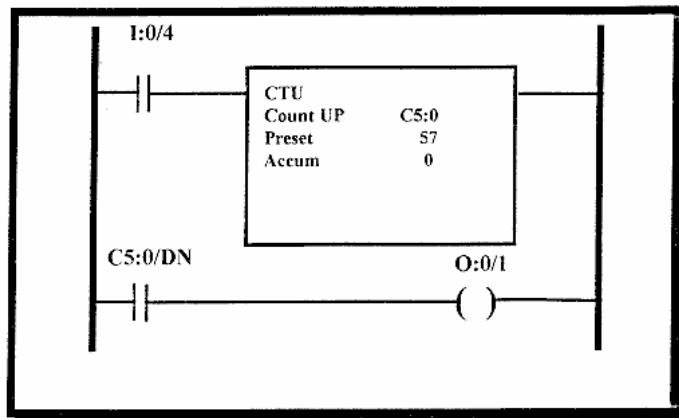
Esta instrução deve ser usada para se contar o número de vezes que o degrau passar da condição de falso para verdadeiro. É importante que a seqüência de transições de cada degrau de falso para verdadeiro não seja mais rápida que duas vezes o tempo de varredura do CLP.

A tabela seguinte mostra como os bits se comportam.

**Tabela 4.10 – Comportamento dos Bits**

BIT	SERÁ HABILITADO QUANDO	PERMANECERÁ HABILITADO ATÉ QUE
DN (Done Bit)	o valor prefixado for atingido	Uma instrução RES, com o mesmo endereço da instrução CTU, for executada, ou quando o valor acumulado entrar nos limites de -32768 e +32767
OV (Overflow Bit)	o valor acumulado ultrapassar os limites de -32768 e +32767	as condições do degrau se tornem falsas
CU (Count Up)	As condições do degrau se tornarem verdadeiras	as condições do degrau se tornarem falsas ou quando uma instrução RES com o mesmo endereço da instrução CTU for executada

A fig.416 mostra como o contador pode ser utilizado em um diagrama Ladder.



**Fig.4.16.**  
**Exemplo do uso de um contador.**

Neste exemplo, toda vez que a entrada I:0/4 for habilitada, o contador C5:0 adicionará mais um ao valor acumulado. Quando o valor 57 for atingido, o bit C5:0 DN será habilitado, ligando-se a saída O:0/1. Para se inicializar o contador novamente, deve-se utilizar uma instrução RES, que é apresentada na próxima seção.

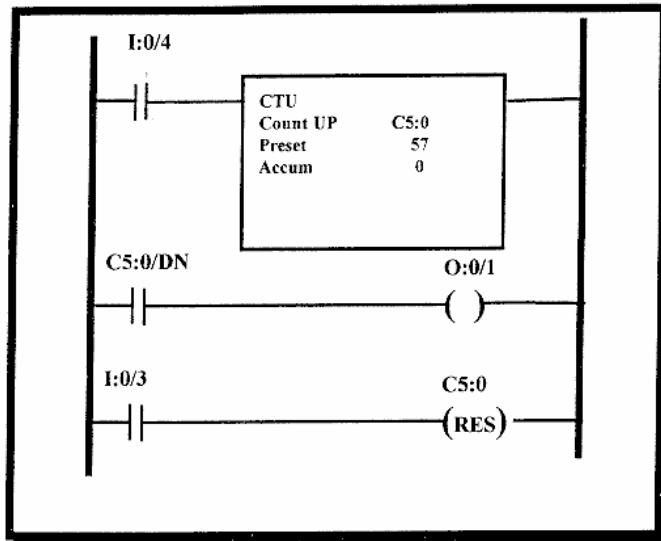
#### 4.3.24 Instrução RES

Esta instrução serve para zerar um temporizador ou contador. A tabela seguinte mostra quais os bits e palavras que serão zerados quando esta instrução for executada.

**Tabela 4.11 - Uso da Instrução RES**

USANDO-SE A INSTRUÇÃO RES	SERÃO ZERADOS
Em um temporizador (não se deve usar a instrução RES em um temporizador do tipo TOF)	ACC, DN, TT, EN
Em um contador	ACC, OV, UN, DN, CU, CD

A fig.4.17 mostra como se usa a instrução RES, para se zerar um contador.



**Fig.4.17.**  
**Uso da instrução RES.**

#### 4.4 IEC 61131-3: A Norma para Programação

IEC 61131-3 é a primeiro esforço real para a padronização das linguagens de programação para a automação industrial. Como este apelo mundial, esta é uma norma independente de qualquer empresa.

IEC 61131-3 é a terceira parte da família IEC 61131. Esta consiste de:

- Parte 1 General Overview
- Parte 2 Hardware
- Parte 3 Programming Languages
- Parte 4 User Guidelines
- Parte 5 Communication

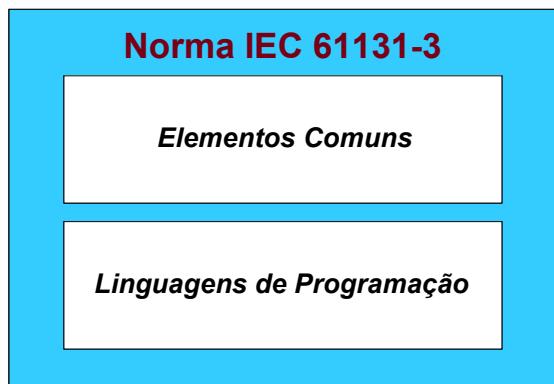
Existem muitas formas de entender a parte 3 da norma.

Vamos identificar algumas:

- O resultado da Força Tarefa 3, Linguagens de Programação, dentro do IEC TC65 SC65B
- O resultado do trabalho árduo de 7 empresas internacionais somando dezenas de anos de experiência no campo da automação industrial
- Aprox. 200 páginas de texto, com cerca de 60 tabelas, incluindo tabelas de características.
- A especificação da sintaxe e semântica de uma suíte unificada de linguagens de programação, incluindo o modelo geral de software e uma linguagem de estruturação.

Outra elegante forma é dividir a norma em duas partes (vide fig.4.18):

- Elementos Comuns (Common Elements)
- Linguagens e programação (Programming Languages)



**Fig.4.18.**  
**Divisão da Norma**

#### 4.4.1 Elementos Comuns

##### • Tipagem de Dados

Dentro dos elementos comuns, os tipos de dados são definidos. A tipagem de dados previne erros na fase inicial. É usada para definição do tipo de qualquer parâmetro usado. Isto evita, por exemplo, a divisão de uma data por um inteiro.

Os tipos de dados comuns são: Boolean, Integer, Real, Byte e Word, mas também Date, Time\_of\_Day e String. Baseado nisto, é possível definir os nossos tipos de dados pessoais,

chamados de tipos derivados. Desta forma, pode-se definir uma entrada analógica como tipo de dado e reutilizá-la inúmeras vezes.

- **Variáveis**

Variáveis são associadas somente para endereços explícitos de hardware (entradas e saídas por ex.) nas configurações, recursos e programas. Desta forma, cria-se um alto nível de independência do hardware, proporcionando a reutilização do software.

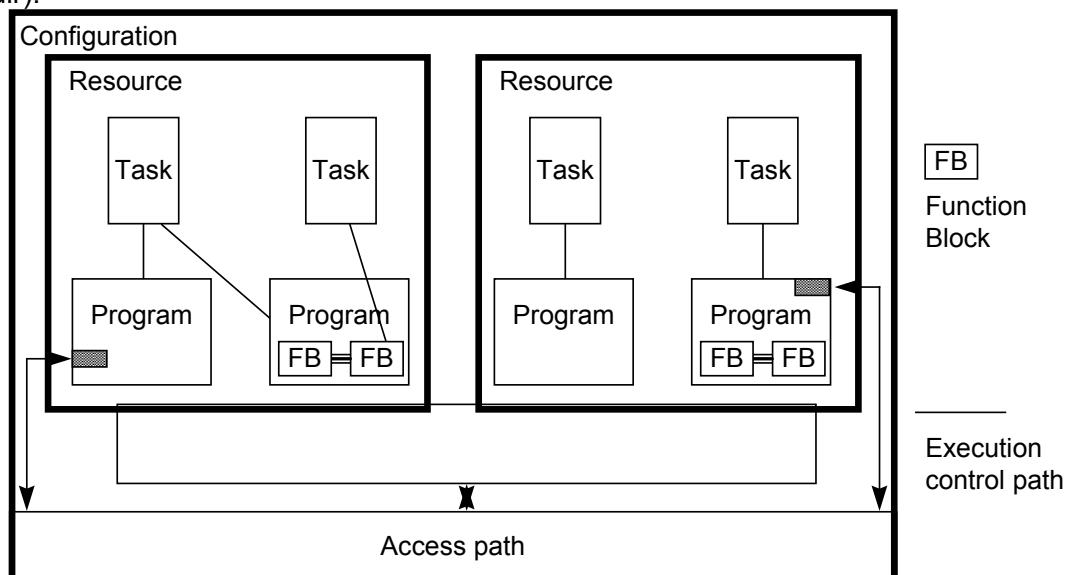
O escopo das variáveis é normalmente limitado à unidade de organização nas quais elas são declaradas (escopo local).

Isto significa que os nomes delas podem ser reutilizados em outras partes sem nenhum conflito, eliminando outra fonte de erros muito comum, dados corrompidos pelo programa. Se as variáveis tiverem escopo global, estas devem ser declaradas como tal (VAR\_GLOBAL).

A cada parâmetro pode ser atribuído um valor inicial na partida a quente e a frio do sistema, de forma a se garantir os valores corretos.

- **Configuração, Recursos e Tarefas**

Para melhor entendimento, vamos observar o modelo de software, como definido pela norma (veja a seguir):



**Fig.4.19.**  
**Configuração do modelo de software**

No nível mais alto, o software deve resolver um problema particular de controle que pode ser formulado como uma Configuração (*Configuration*). Uma configuração é específica para um sistema de controle particular, incluindo a disposição do hardware, recursos de processamento, endereçamento de memória para I/O e demais capacidades do sistema.

Dentro da configuração pode-se definir um ou mais recursos (*Resources*). Pode-se entender um recurso como elemento com capacidade de processamento dos programas IEC.

Dentro de um recurso, uma ou mais tarefas (*Tasks*) podem ser definidas. Tarefas controlam a execução de um conjunto de programas ou blocos funcionais. Estas podem ser executadas periodicamente ou quando da ocorrência de um evento específico, tal como uma mudança de variável.

Programas (*Programs*) são constituídos de um número de diferentes elementos escritos usando qualquer uma das linguagens definidas pela IEC. Tipicamente, um programa consiste de uma rede de Funções (*Functions*) e Blocos Funcionais (*Function Blocks*), os quais são capazes de trocar dados. Funções e Blocos Funcionais são os blocos básicos de construção, contendo uma estrutura de dados e um algoritmo.

Vamos fazer uma comparação com um CLP convencional: este contém um recurso, executando uma tarefa, controlando um programa, processando de forma cíclica. A IEC 61131-3 acrescenta muito mais capacidade, tornando-o aberto para o futuro. Um futuro que inclui multi-processamento e programas disparados por eventos. E este futuro não está longe: basta olhar para os sistemas distribuídos ou sistemas de controle de tempo-real. A IEC 61131-3 é apropriada para uma ampla faixa de aplicações, sem a necessidade de se aprender linguagens de programação adicionais.

- **Unidades de Organização de Programas**

Na IEC 61131-3, os Programas, Blocos Funcionais e Funções são chamadas de Unidades de Organização de Programas (POUs).

#### Funções

A IEC definiu funções padrões e funções definidas pelos usuários. Funções padrões são, por exemplo, ADD (addition), ABS (absolute), SQRT, SINus e COSinus. Funções definidas pelo usuário, uma vez definidas, podem ser usadas inúmeras vezes.

#### Blocos Funcionais, FBs

Blocos Funcionais são equivalentes aos circuitos integrados, CIs, representando uma função de controle especializada. Estes contêm dados e um algoritmo, de modo que eles preservam os estados passados (uma das principais diferenças das Funções). Possuem também uma interface bem definida e escondem o seu conteúdo, tais como os CIs. Desta forma, os FBs proporcionam uma separação clara entre diferentes níveis de programadores e equipes de manutenção.

Uma malha de temperatura (PID) é um excelente exemplo de Bloco Funcional. Uma vez definido, este pode ser usado inúmeras vezes, no mesmo programa, em diferentes programas, ou mesmo diferentes projetos, tornando-o altamente reutilizável.

Blocos Funcionais podem ser escritos em qualquer uma das linguagens IEC, e em muitos casos mesmo na linguagem “C”. Neste sentido, eles podem ser definidos pelo usuário.

Blocos Funcionais Derivados são baseados nos FBs padrões, mas também nos completamente novos. FBs customizados são permitidos pela norma: isto estabelece um *framework*.

As interfaces de funções e blocos funcionais são descritas da mesma forma:

**FUNCTION\_BLOCK Example**

```
VAR_INPUT:  
    X: BOOL;  
    Y: BOOL;  
END_VAR  
  
VAR_OUTPUT  
    Z: BOOL;  
END_VAR  
  
    (* statements of functionblock body *)  
  
END_FUNCTION_BLOCK
```

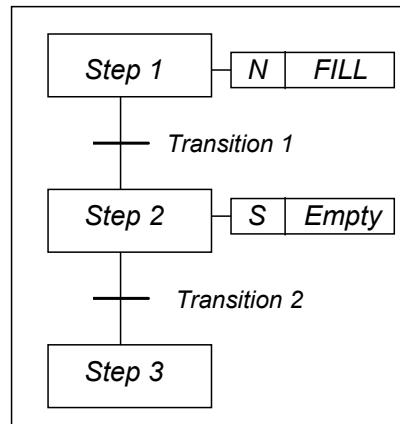
**Fig.4.20.**  
**Exemplo de Bloco Funcional**

As declarações acima descrevem a interface para um bloco funcional com dois parâmetros booleanos de entrada e um parâmetro booleano de saída.

**Programas**

Com os anteriormente mencionados blocos básicos de construção, podemos dizer que um programa é uma rede de Funções e Blocos Funcionais. Um programa pode ser escrito em qualquer uma das linguagens de programação definidas.

**Seqüenciamento Gráfico de Funções, SFC**



**Fig.4.21.**  
**Exemplo de Seqüenciamento SFC**

O SFC descreve graficamente o comportamento seqüencial de um programa de controle. É derivado das redes de Petri e da norma IEC 848 Grafset, como padrão para um conjunto de elementos de controle de execução.

O SFC estrutura a organização interna do programa e ajuda a decompor o problema de controle em partes gerenciáveis, enquanto mantém a sua visão geral.

O SFC consiste de Passos, interligados com blocos de Ações e Transições. Cada passo representa um estado particular do sistema sendo controlado. Uma transição é associada com uma condição, a qual, quando verdadeira, causa a desativação do passo anterior à mesma e a ativação do passo seguinte. Passos são ligados com blocos de ações, desempenhando uma determinada ação de controle. Cada elemento pode ser programado em qualquer linguagem IEC, incluindo o próprio SFC.

É possível o uso de seqüências alternativas e mesmo paralelas, tais como as normalmente usadas em aplicações de bateladas. Por exemplo, uma seqüência é usada para o processo primário, a segunda para a monitoração das restrições operacionais.

Devido a sua estrutura geral, o SFC funciona também como uma ferramenta de comunicação, integrando pessoas de diferentes formações, departamentos e países.

#### 4.4.2 Linguagens de Programação

São definidas quatro linguagens pela norma. Isto significa que suas sintaxes e semânticas foram definidas, eliminando a chance de dialetos. Uma vez aprendidas, é possível o uso de uma variedade de sistemas baseados nesta norma.

As linguagens consistem de duas textuais e duas gráficas:

# CST

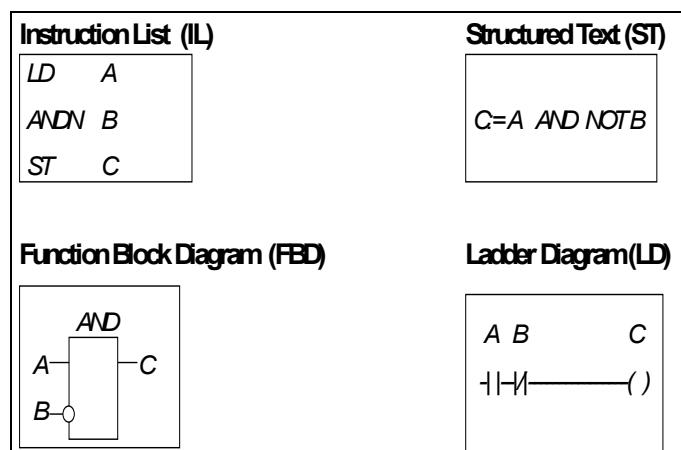
## Arcelor Brasil

Textuais:

- Lista de Instruções, IL
- Texto Estruturado, ST

Gráficas:

- Diagrama Ladder, LD
- Diagrama de Blocos Funcionais, FBD



**Fig.4.22.**  
**Linguagens de Programação**

Na figura anterior, as quatro linguagens descrevem a mesma lógica de programa. A escolha da linguagem de programação depende:

- Da formação do programador
- Do problema a resolver
- Do nível da descrição do problema
- Da estrutura do sistema de controle
- Da interface com outras pessoas /departamentos

Todas as quatro linguagens são interligadas: elas proporcionam uma plataforma comum, com uma ligação com a experiência existente. Neste sentido, elas também funcionam como uma ferramenta de comunicação, integrando pessoas de diferentes formações.

**Diagrama Ladder** tem sua origem nos EUA. É baseada na representação gráfica da Lógica de Relés.

**Lista de Instruções** é a contraparte européia. Como uma linguagem textual, se assemelha ao assembler.

**Diagrama de Blocos Funcionais** é muito usada na indústria de processos. Expressa o comportamento de funções, blocos funcionais e programas como um conjunto de blocos gráficos interligados, como nos diagramas de circuitos eletrônicos. Se parece com um sistema em termos do fluxo de sinais entre elementos de processamento.

**Texto Estruturado** é uma linguagem de alto nível muito poderosa, com raízes em Ada, Pascal e "C". Contém todos os elementos essenciais de uma linguagem de programação moderna, incluindo condicionais (IF-THEN-ELSE e CASE OF) e iterações (FOR, WHILE e REPEAT). Estes elementos também podem ser aninhados. Esta linguagem é excelente para a definição de blocos

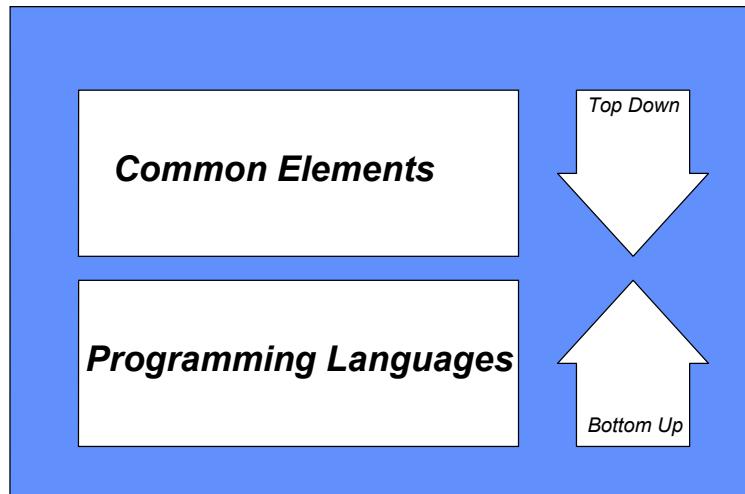
funcionais complexos, os quais podem ser usados em qualquer outra linguagem IEC.

Exemplo em ST:

```
I:=25;  
WHILE J<5 DO  
    Z:= F(I+J);  
    END_WHILE  
  
IF B_1 THEN  
    %QW100:= INT_TO_BCD(Display)  
ENDIF  
  
CASE TW OF  
    1,5: TEMP := TEMP_1;  
    2: TEMP := 40;  
    4: TEMP := FTMP(TEMP_2);  
ELSE  
    TEMP := 0;  
    B_ERROR :=1;  
END_CASE
```

**Fig.4.23.**  
**Exemplo de Texto Estruturado**

*Top-down versus bottom-up*



**Fig.4.24.**  
**Formas Top-Down e Bottom-up**

A norma também permite duas formas para o desenvolvimento de programas: *top-down* e *bottom-up*. É possível especificar toda uma aplicação dividindo-a de cima para baixo em partes menores, declarando as variáveis, e assim por diante. Ou pode-se começar de baixo, a partir de funções e blocos funcionais derivados, por exemplo. Em ambos os casos, o ambiente de desenvolvimento irá auxiliá-lo durante todo o processo.

#### 4.4.3 Implementações

O atendimento completo às exigências da norma IEC 61131-3 não é simples. Por esta razão, a norma permite a implementação parcial em vários aspectos. Isto cobre o número de linguagens, funções e blocos funcionais suportados. Também dá uma liberdade maior para os fabricantes, mas os usuários devem ficar atentos durante o processo de seleção. Novas versões podem também ter um nível de implementação dramaticamente alto.

Muitos ambientes de programação IEC atuais oferecem tudo esperado para os modernos ambientes: uso do mouse, menus, telas gráficas, suporte para múltiplas janelas, uso de hipertexto, verificação durante a programação, etc.

Fique atento, pois estas são características não definidas pela norma: é um ponto onde os fabricantes podem se diferenciar.

#### 4.4.4 Conclusão

As implicações técnicas da norma IEC 61131-3 são muitas, deixando bastante espaço para crescimento e diferenciação. Isto torna esta norma propensa para evoluir muito neste século.

A norma IEC 61131-3 causará um grande impacto em toda indústria de controle industrial. Certamente a norma não ficará restrita para o mercado de CLPs convencionais. Atualmente, a norma já é adotada no mercado de Motion Control, sistemas distribuídos e sistemas de controle baseados em PC/Softlogic, incluindo pacotes SCADA. E as áreas de aplicação continuam crescendo.

Ter uma norma sobre uma ampla área de aplicação proporciona muitos benefícios para os usuários e programadores. Os benefícios da adoção da norma são vários, dependendo da área de aplicação. Alguns exemplos são:

- Redução do desperdício de recursos humanos, no treinamento, depuração, manutenção e

consultoria.

- Destinar maior atenção para a solução de problemas através da reutilização de software em alto nível
- Eliminação de erros e dificuldade de entendimento
- Utilização de melhores técnicas de programação em um ambiente mais amplo: indústria de controle e geral
- Combinação de diferentes componentes de diferentes programas, locais, empresas e mesmo países.

#### **Considerações na escolha de um CLP**

Nesta página estão relacionados os oito tópicos mais importantes que se deve considerar quando está a procura do CLP ideal para a sua aplicação. A seguir segue uma lista completa destes itens:

- Determine quando o seu sistema é novo ou já existente: O seu sistema será instalado desde o início ou existem produtos já instalados que seu novo sistema terá que ser compatível com estes?
  - Por que isto é importante: Com certeza existem produtos que não são compatíveis com todos os CLPs. Tenha certeza que todos os existentes sejam compatíveis com o CLP que está procurando para que economize seu tempo e dinheiro.
  - Defina qualquer condição ambiental que irá afetar a sua aplicação: Existem específicas questões ambientais que irão afetar seu sistema (temperatura, ruídos, vibrações, códigos específicos para sua facilidade, etc.)?
  - Por que isto é importante: Certamente o meio ambiente pode afetar na operação de um CLP. Por exemplo, um típico CLP tem a sua faixa de temperatura de 0-60 graus Celsius. Se sua aplicação incluir qualquer condição ambiental extrema, precisará encontrar produtos que satisfaçam tais condições, ou projetar uma instalação que reúna estas especificações.
  - Determine quantos dispositivos analógicos e discretos sua aplicação terá: Quantos dispositivos discretos e analógicos o sistema terá? Quais tipos (AC, DC, etc.) serão necessários? Por que isto é importante: O número e o tipo de dispositivos que seu sistema incluirá, é diretamente relacionada ao número de I/O que será necessária para seu sistema. Você precisará escolher um CLP que suporte a quantidade de I/O que serão utilizadas e tenham módulos que suportem os tipos de sinal utilizados.
  - Determine quando o seu sistema irá utilizar qualquer característica especial: Sua aplicação irá utilizar algum contador rápido ou posicionamento? Quanto a um clock em tempo real ou outra função especial?
- Porque isto é importante: Funções especiais não são necessariamente possíveis utilizando módulos de I/O padrões. Planejando primeiramente quando ou não sua aplicação irá requerer tais características, irá ajudar determinar se você precisará adquirir os módulos especiais para o seu sistema.
- Determine o tipo da CPU que irá utilizar: Quanta memória o seu sistema necessita? Quantos dispositivos o sistema terá (determina a memória de dados)? Qual o tamanho do programa e quantos tipos de instruções serão incluídos (determina a memória de programa)?
- Porque isto é importante: A memória de dados se refere a quantidade de memória necessária para a manipulação de dados dinâmicos e de armazenamento do sistema. Por exemplo, contadores e temporizadores normalmente utilizam a memória de dados para armazenar os valores registrados, valores correntes e outras marcas. Se a aplicação requer um histórico da retenção de dados, tais como medidas dos valores dos dispositivos durante um longo espaço de tempo, os tamanhos da tabela de dados requerida vai depender de qual modelo de CPU você

escolher. A memória de programa é a quantidade de memória necessária para armazenar a lista de instruções do programa que foram programadas para a aplicação. Cada tipo de instrução requer uma quantidade de memória diferente, normalmente especificada no manual de programação do CLP. Mas a memória se tornou relativamente barata e facilmente é feito um upgrade se necessário.

- Determine onde as I/Os estarão localizadas: O seu sistema terá apenas I/Os locais , ou ambas I/O locais e remotas?

Por que isto é importante: Se sua aplicação irá necessitar de elementos a uma longa distância da CPU, então você irá precisar de um modelo de CLP que suporte I/O remota. Você também terá que determinar se a distância e a velocidade suportada pelo CLP irão se adequar para a sua aplicação.

- Determine os requisitos de comunicação: O seu sistema terá que se comunicar com outra rede ou outro sistema?

Porque isto é importante: As portas de Comunicação não são necessariamente incluídas junto com os CLPs. Sabendo primeiramente que seu sistema irá ou não comunicar com outro sistema, ajudará na escolha da CPU que suportará os requisitos de comunicação ou módulos adicionais de comunicação se necessário.

- Determine os requisitos do programa: O seu programa necessita apenas de funções tradicionais ou é necessário funções especiais?

Por que isto é importante: Alguns CLPs não suportam todos os tipos de instruções. Você terá que escolher um CLP que suporte todas as instruções que necessite para uma aplicação específica. Por exemplo, funções PID que são muito fáceis de usar, escrevendo o seu próprio código para realizar controles de processo de ciclo fechado.

E agora?

Uma vez que já tenha revisado as informações destes requisitos e determinado suas necessidades, utilize esta lista para encontrar um CLP que combine com seus requisitos. Agora será mais fácil encontrar um produto que tenha o número de I/Os, características, memória, etc., necessárias para sua aplicação.

#### **4.6 Os Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCD)**

Os microprocessadores viabilizaram também a criação dos computadores pessoais que se popularizaram no início da década de 80 e, também, o aparecimento das estações de trabalho, que são computadores com alta capacidade de computação e grande capacidade de processamento gráfico. Produziu-se, então, uma grande transformação na metodologia de supervisão, comando e controle das indústrias. A popularização dos sistemas de redes de computadores contribuiu também de forma significativa.

Nestes sistemas, os painéis mímicos foram abolidos, sendo substituídos, com grandes vantagens, por monitores coloridos com capacidade gráfica, como os atualmente existentes nos computadores pessoais. A alta capacidade de processamento das estações de trabalho permitiu o processamento e a atualização de todas as variáveis de processo além de atualização de várias telas gráficas, substituindo-se os painéis mímicos.

O uso de redes de computadores permitiu tanto a centralização de informações como a distribuição de tarefas entre várias estações interligadas em rede. Obteve-se também, de forma econômica, um aumento significativo de confiabilidade, através de sistemas redundantes. Essa redundância advém da possibilidade de supervisão, comando e controle por mais de um

# CST

## Arcelor Brasil

computador ligado à rede. Estes sistemas ficaram conhecidos como Sistemas Digitais de Controle Distribuídos (SDCD).

No início, estes sistemas eram produzidos por diversos fabricantes, em pacotes fechados, que incluíam os computadores, o software do sistema de supervisão e de controle, o sistema de redes, e os módulos de interligação com os processos.

Com a evolução da padronização e, principalmente, a evolução do software, estes sistemas passaram a ser implementados nas indústrias de forma aberta, permitindo-se a interligação de equipamentos, dispositivos e software de diferentes fabricantes. A mais recente evolução trouxe essa diversidade de fabricantes para o nível de controle através das redes Fieldbus.

Outra característica atual dos SDSCD é a substituição das estações de trabalho por computadores do tipo PC, devido ao fato de que processadores como o Pentium competem de forma satisfatória com as estações de trabalho e por um custo bastante razoável. Com a evolução dos SDSCD para sistemas abertos, onde há a integração de diferentes fabricantes de equipamentos e produtores de software, a denominação Sistema Digital de Controle Distribuído tem caído em desuso. Desta forma, passou-se a usar somente a denominação Sistema Supervisório, tanto para se referir ao software utilizado, como englobando toda a instalação de supervisão e controle da instalação. Assim sendo, neste trabalho, a denominação Sistema Supervisório é usada com esta concepção, ou seja, englobando não só o software, mas toda a instrumentação, sistemas de rede e, em muitos casos, as malhas de controle do sistema. Com esta caracterização, apresenta-se, a seguir, as diversas configurações e as características dos SDSCD e, posteriormente, os sistemas supervisórios modernos.

### 4.7 Os SDSCDs convencionais

Estes sistemas já eram usados com os computadores de processo de segunda e terceira gerações. Estes computadores não possuíam capacidade de processamento gráfico e eram equipados com monitores monocromáticos que permitiam somente a visualização de caracteres alfanuméricos. Desta forma, havia a necessidade de conjugá-los com painéis mímicos, para permitir a visualização das ocorrências da planta. Nos anos 80 com o surgimento das estações de trabalho houve então o lançamento dos SDSCDs por diversos fabricantes. Esses sistemas estão ainda em uso em muitas instalações industriais, em todo o mundo. Em geral, eles oferecem soluções para as mais diversas necessidades das indústrias. Como exemplo dessas soluções, pode-se citar a integração da instrumentação de campo com as salas de controle centralizadas, além de uma integração dos diversos sistemas de controle em uma vasta área da indústria. Essa integração traz, como benefícios uma grande economia de operações manuais que, por sua vez, produzem uma grande melhoria na qualidade dos produtos.

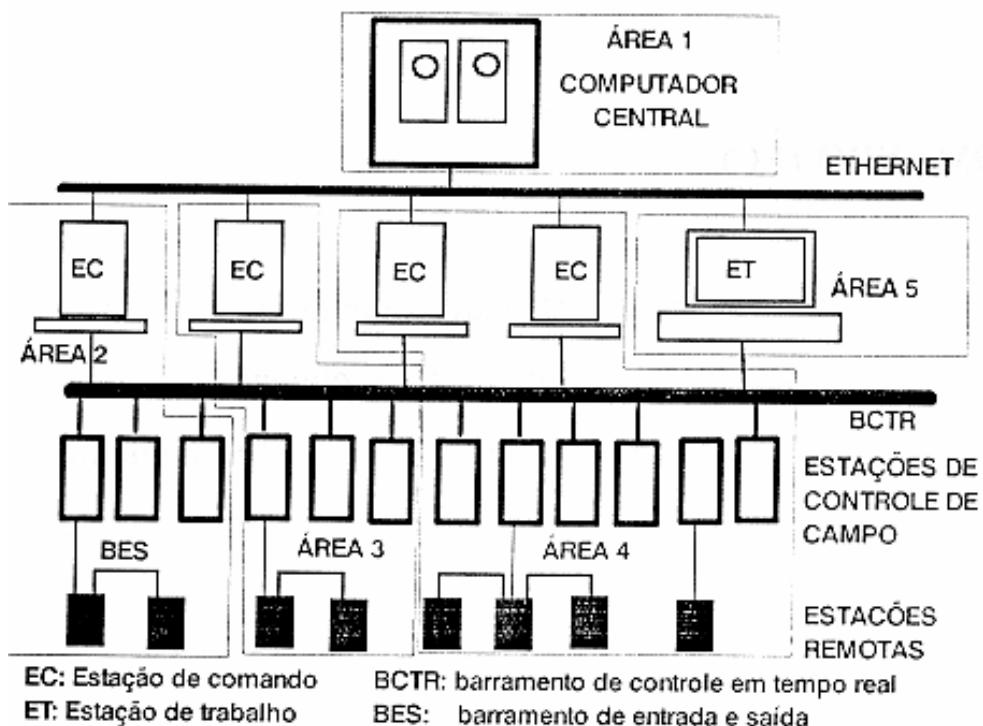
Alguns SDSCDs permitem uma perfeita integração entre os níveis hierárquicos da empresa e que são definidos pela norma ISO (Organização Internacional de Padronização). Há, inclusive, a possibilidade de integrar outros níveis da instituição tais como o sistema de alimentação elétrica e os sistemas de segurança.

Os SDSCDS oferecem uma grande integração homem máquina, através de interfaces de fácil operação. As Estações de Comando (EC), são interfaces constituídas de painéis e monitores de vídeo que permitem ao operador uma perfeita atualização das informações que constituem o banco de dados do sistema, além de permitir o comando remoto das diversas operações da instalação. Os equipamentos digitais, incluindo computadores e CLPs podem ser interligados através de uma rede de computadores que, em geral seguem o padrão ETHERNET. São usados sistemas operacionais tipo: UNIX, OS/2 e, mais recentemente, Windows NT, Windows 2000 e XP. Uma das grandes preocupações com os SDSCDs é a questão da segurança de informações e da

confiabilidade do sistema global. Para isso, nos primeiros sistemas, eram utilizados sistemas de computadores duais, para garantir que se houvesse falha de um dos computadores o outro poderia assumir as tarefas sem interromper a produção. Nos sistemas distribuídos em rede, pode-se estender esta redundância para mais do que dois computadores aumentando-se de forma significativa a confiabilidade. Com relação à segurança das informações cada fabricante utiliza mecanismos próprios que impedem o acesso a pessoas não autorizadas. Os grandes fabricantes lançaram SDCDs que podiam ser configurados de várias maneiras.

#### 4.8 Configuração geral de um SDCD

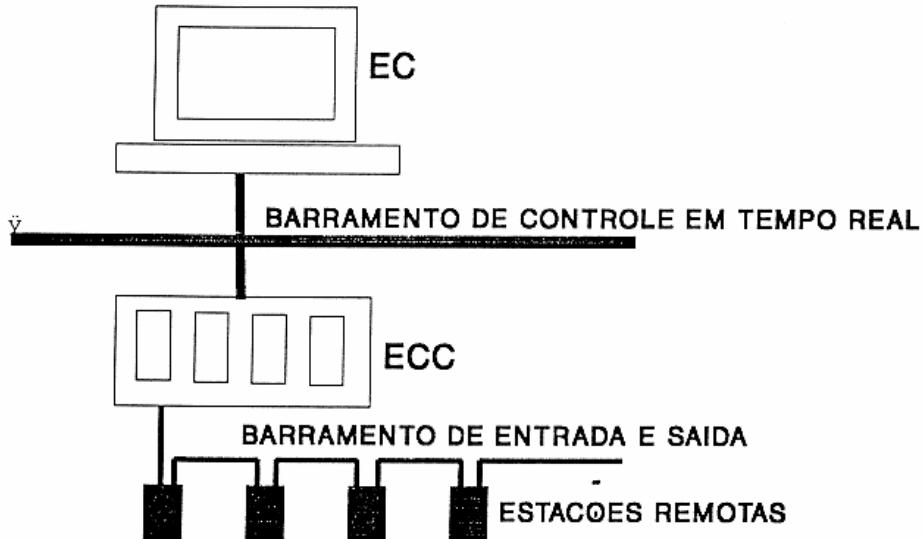
Os sistemas gerais de controle distribuído foram concebidos em diversas configurações. A configuração apresentada na fig.4.25 foi utilizada por diversos fabricantes na década de 80. Mais adiante será mostrada a configuração hoje utilizada para os sistemas de supervisão. Por exemplo, o conceito de computador central apresentado na fig.4.25 foi substituído pelo servidor de rede nas configurações atuais. Alguns conceitos permanecem como, por exemplo, a atuação do controle que pode se restringir a uma pequena unidade de produção ou envolver diversos setores da instalação industrial. Na fig.4.25, apresenta-se um diagrama completo, envolvendo diversos equipamentos interligados através de uma rede de computadores. Alguns equipamentos são desnecessários em instalações menores. Por exemplo, o computador central e as estações de trabalho só eram ligados à rede, em instalações de grande porte para que se pudessem efetuar operações diversas tais como controle de qualidade e desempenho, controle de produção, ou mesmo controlar a execução as tarefas de CAD, CAM e CAE.



**Fig.4.25.**  
Configuração antiga de um sistema geral de controle distribuído.

Alguns fabricantes usavam denominações diferentes para os diversos computadores interligados ao sistema. Dentre essas denominações que até hoje são utilizadas pode-se citar:

- **ESTAÇÕES DE TRABALHO (ET):** trata-se de computadores com razoável capacidade de processamento e com facilidades de processamento gráfico, e que são muito utilizados em operações de CAD-CAM.
  - **ESTAÇÕES DE COMANDO (EC):** são unidades onde o operador pode monitorar e operar as unidades industriais. Em geral as funções de engenharia podem estar incluídas nas ECs. Dentre estas funções pode-se citar as ações de manutenção e de supervisão. A interface com o operador deve ser de fácil acesso, para permitir o seu uso por pessoal com pouco treinamento em computadores.
  - **ESTAÇÕES DE APLICAÇÃO (EA):** trata-se de microcomputadores que são utilizados para aplicações diversas e que necessitam estar conectados à rede para aquisição de informações. São utilizadas em emissões de relatórios e no processamento de funções de engenharia, tais como simulação de processos químicos em indústrias, processamento de estudos de fluxo de carga, curto circuito, análise de estabilidade, etc, em sistemas elétricos de potência.
  - **ESTAÇÕES DE CONTROLE DE CAMPO (ECC):** as estações de controle de campo contêm toda a instrumentação referente aos sistemas eletrônicos de controle. Estas estações possuem também um ou mais computadores que podem variar de porte dependendo da aplicação em questão. Incluem-se, também, os sistemas de aquisição de dados que são implantados bem próximo às unidades de produção. Estas estações possuem tanto saídas digitais como analógicas para interligar com os sensores, controladores analógicos, comandos de válvulas, etc.
  - **ESTAÇÕES DE CONTROLE AVANÇADO (ECA):** são geralmente utilizadas para o controle supervisor de várias estações de controle de campo. Esquemas avançados de controle, tais como algoritmos de controle adaptativos, métodos de controle não-linear, podem ser facilmente implementados em uma ECA.
  - **ESTAÇÕES REMOTAS:** estas estações constituem-se basicamente de sistemas de aquisição de dados, capazes de receber informações tanto analógicas como de estado de válvulas e disjuntores, para enviá-las às estações de controle de campo. O comando remoto de motores, disjuntores etc, também pode ser realizado através das estações remotas.
- Os fabricantes de SDCDs ofereciam seus produtos em diversas configurações, dependendo do sistema a controlar. Uma configuração que pode ser considerada mínima consiste de uma estação de comando ligada a uma estação de controle de campo através de um barramento de controle em tempo real (Fig.4.26).



**Fig.4.26.**  
**Configuração contendo uma EC, ECC e Estações Remotas.**

Em instalações de grande porte, a configuração apresentada na fig.4.25 vem sendo usada desde o início da década de 80. Nesta configuração, há vários elementos atuando em conjunto. Usava-se um computador central, que podia ser uma estação de trabalho ou um computador do tipo mainframe atuando como supervisor e com a tarefa de controle de produção. Através de uma rede, este computador se conectava aos equipamentos responsáveis pelo controle de operação. Dentre esses equipamentos, pode-se citar as estações de comando e estações de trabalho. Todos esses equipamentos podem estar ligados a um barramento de controle em tempo real que por sua vez se conecta as estações de controle de campo.

Esses diversos níveis de operação estavam agrupados em áreas de atuação que eram assistidas pelo computador supervisor de forma individual. Como exemplo dessas áreas pode-se citar o sistema de geração elétrica, o sistema de utilidades como rede de vapor, de água etc., além de unidades isoladas de produção. Essas áreas podem também estar agrupadas com finalidades específicas, como por exemplo, as áreas prioritárias nos esquemas de rejeição de cargas. Esses esquemas definem a seqüência de desligamento no caso de falha no sistema de alimentação elétrica.

A maioria desses conceitos estão presentes nos sistemas supervisórios modernos. A grande diferença é que os SDCDs eram sistemas fechados, havendo dificuldades no uso de equipamentos de diferentes marcas. Os sistemas supervisórios modernos são abertos com diversos fabricantes, tanto de hardware como de software, compartilhando a mesma rede de computadores.

#### 4.9 Sistemas Supervisórios Modernos

Os sistemas supervisórios modernos mantêm o princípio básico dos SDCDs que consiste em se centralizar o comando e a supervisão de extensas áreas de produção das indústrias. Entretanto, nos sistemas modernos, há a possibilidade de se distribuir a supervisão e o comando a qualquer

# CST

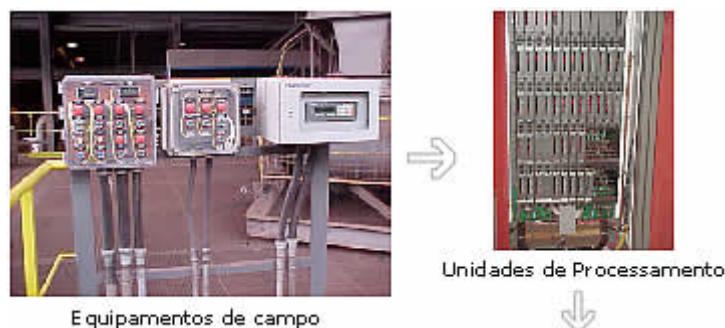
## Arcelor Brasil

computador ligado à rede. Desta forma, o conceito de controle distribuído passou a ser mais caracterizado nos sistemas supervisórios modernos, obtendo-se com isso um grande aumento da confiabilidade do sistema global. Para se caracterizar as diversas possibilidades de configurações de sistemas supervisórios, em primeiro lugar, são apresentados os componentes básicos, incluindo-se as diversas configurações possíveis e as estratégias empregadas por diferentes fabricantes. Em seguida, são apresentados os detalhes de software dos sistemas mais conhecidos no mercado, para que o leitor possa adquirir os conhecimentos necessários e decidir qual a melhor opção para sua empresa. O software de supervisão e de controle de um dos fabricantes é apresentado em detalhe, mostrando-se como programá-lo e como se efetuam as implementações de uma planta tomada como exemplo. Para finalizar, o sistema Fieldbus é apresentado, incluindo-se as características mais relevantes estabelecidas pela norma.

Pode-se definir os sistemas supervisórios como conjuntos de equipamentos usados para controlar e comandar as operações de instalações industriais, usinas e concessionárias. Dentre as diversas plantas onde tais sistemas são empregados pode-se citar concessionárias de energia, de água, de gás, sistemas de esgoto urbano e todos os tipos de indústrias.

Da mesma forma que os antigos SDCDS, esses sistemas abertos oferecem soluções para as diversas necessidades das instalações industriais automáticas. Há uma perfeita integração dos equipamentos de campo e os computadores instalados tanto em salas de controle como em escritórios de engenharia ou de gerência. Todos esses equipamentos estão interligados através de um sistema de redes. Conforme já foi citado, a mais recente inovação é a introdução dos sistemas de rede de controle do tipo Fieldbus, responsável pelo tráfego dos dados de controle.

Com relação aos sistemas operacionais utilizados, observa-se que nos sistemas onde há predominância de estações de trabalho, utiliza-se o sistema UNIX. Entretanto, com a entrada dos computadores tipo PC, inicialmente, houve uma tendência para o uso do sistema operacional OS-2 devido a sua facilidade de trabalho em rede. Mais recentemente, com a difusão das diversas versões do sistema operacional Windows, os fornecedores dos sistemas supervisórios modernos passaram a fornecer os seus produtos trabalhando, também, dentro do sistema operacional Windows NT. A configuração desses sistemas é bastante livre, adaptando-se às necessidades de cada empresa.





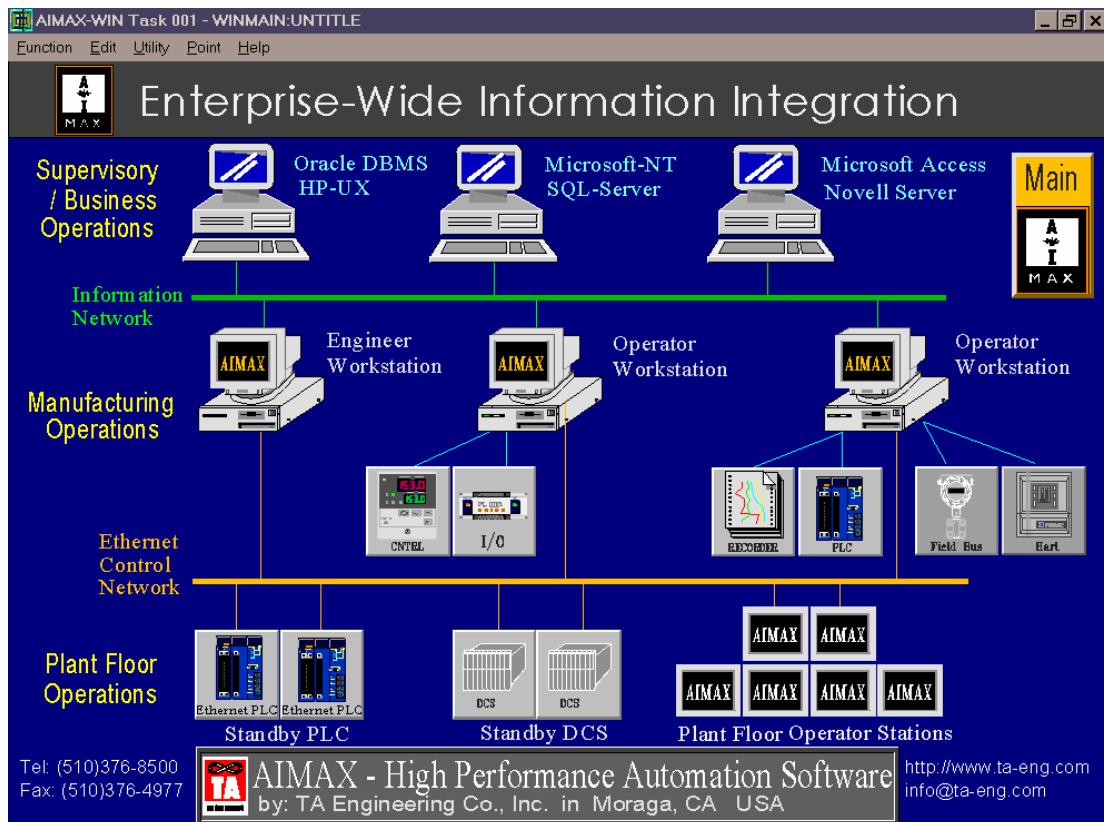
**Fig.4.27.**  
**Exemplo de um Sistema de Supervisão e Controle**

#### 4.10 Configurações Gerais dos Sistemas Supervisórios

Os sistemas supervisórios podem ser concebidos em diversas configurações. A supervisão, o comando e o controle podem se restringir a uma pequena unidade de produção ou a grandes áreas das indústrias. Na fig.4.28 apresenta-se um diagrama completo, envolvendo diversos equipamentos interligados através de mais de uma rede de computadores. Como se pode observar, há, nesse sistema, três sistemas de redes de computadores. Há uma rede para uso gerencial da empresa e que se interliga com a rede principal do sistema de supervisão e de controle. Esta, por sua vez, se interliga com as sub-redes de controle, que podem ser do tipo Fieldbus ou outra rede qualquer de controle. O sistema supervisório indicado é o sistema AIMAX, entretanto poder-se-ia ter mais de um sistema em operação em uma mesma instalação.

# CST

## Arcelor Brasil



**Fig.4.28.**  
**Visão global de um sistema supervisório.**

Na fig.4.28, pode-se observar os seguintes sistemas de redes:

- **Rede de Informação Gerencial:** Esta é a rede geral de informação da empresa. Ela se interliga com a rede de supervisão e de controle permitindo que informações tais como aquelas que caracterizam desempenho de produção possam ser analisadas pela gerência da empresa.
- **Rede de Supervisão e Controle:** através desta rede ocorre o funcionamento do sistema de supervisão e de controle. Portanto, há uma interligação não só com computadores, mas com dispositivos tais como: placas de aquisição de dados, CLPs, interfaces de redes Fieldbus etc.
- **Redes de Controle de Campo:** este grupo engloba todas as redes de controle incluindo aquelas do tipo Fieldbus, responsáveis diretas pelo tráfego de informações reais de controle. Em geral, uma planta industrial poderá ter diversas sub-redes de controle que se interligam com o sistema supervisório através de interfaces apropriadas. Tais redes podem seguir o padrão internacional Fieldbus, ou esquemas próprios de determinados fabricantes como os sistemas Profibus, e DeviceNet etc.

Com relação aos sistemas de redes utilizados pelos sistemas de supervisão e controle, há, atualmente, uma predominância na utilização do padrão Ethernet nas redes de informação e nas redes de supervisão e controle. Com relação aos sistemas operacionais utilizados pode-se afirmar que há uma tendência atual de utilização do Sistema Windows NT, tanto para as redes de informação como para as redes de supervisão, embora as redes de informação, em grandes

empresas, costumam operar com o sistema operacional UNIX. Há também, um grande número de empresas utilizando o sistema operacional OS-2, nas redes de supervisão.

Os equipamentos que compõem um sistema de supervisão e controle podem ser classificados nas seguintes categorias:

- Computadores
- Sistemas de redes locais
- Sistemas de aquisição de dados
- Controladores lógicos programáveis
- Interfaces.

#### **4.11 Computadores utilizados nos sistemas supervisórios**

A tendência atual nos sistemas supervisórios é a utilização de computadores do tipo IBM-PC, de diferentes fabricantes. Os atuais microprocessadores Pentium (III e IV) acima de 800MHz são suficientes para processarem sistemas supervisórios com todas as suas telas gráficas e processamento das funções de supervisão e de controle. É recomendável que possuam pelo menos 256 Mbytes de memória RAM, 64 MBytes de placa de vídeo e 20 Gbytes de disco rígido. Com esta configuração em um sistema industrial pode-se distribuir as ações de supervisão nas diversas áreas, não se sobrecarregando um equipamento em especial. O baixo preço desses equipamentos viabiliza o uso de vários computadores em rede, aumentando-se a redundância e distribuindo-se as tarefas.

Alguns computadores poderão estar dotados de placas de aquisição de dados, de forma a viabilizar na rede estas informações para serem manipuladas pelo software supervisório. Poderão também estar dotados de portas paralelas e seriais adequadas para a conexão com outros equipamentos como CLP's, modens, atuadores microprocessados, conversores para Fieldbus etc. Desta forma, os próprios CLP's também são dotados destas portas, que são analisadas a seguir.

#### **4.12 Portas seriais utilizadas nos sistemas de comunicação**

Os CLP's assim como os computadores utilizados nos sistemas supervisórios devem ser dotados de portas de comunicação serial. Há padrões que especificam como os dados são transmitidos entre os equipamentos. Os mais comuns são os padrões RS232 e RS422/485.

O padrão RS232C é o padrão adotado para a comunicação em curta distância com os equipamentos periféricos dos computadores. O padrão define as conexões físicas e elétricas e a inter-relação entre os sinais e os procedimentos necessários para a troca de informações entre os dispositivos. O tipo D com 25 pinos tornou-se mundialmente associado com o padrão RS232, e está na maioria dos computadores e CLP's. O padrão CCITT conhecido como V24 é praticamente idêntico ao RS232 sendo comum na Europa. Contudo o padrão V24 define somente os procedimentos para troca de informações, sendo necessária a consulta ao padrão V28 para a definição da pinagem e tensões. Assim sendo, RS232 e V24 podem ser considerados como equivalentes, entretanto, RS232 e RS422 diferem nas especificações de tensão, níveis de saída e taxas de transmissão.

Há três aspectos que devem ser considerados na comunicação serial. Em primeiro lugar deve-se levar em conta a taxa de transmissão, que consiste no número de bits que são transmitidos por segundo através do link de comunicação, e a duração de cada um desses bits. Em segundo lugar,

deve-se considerar os níveis lógicos, isto é, o que cada sinal representa (nível lógico 1 ou nível lógico 0), além da ordem em que os sinais são transmitidos. Finalmente, deve-se considerar o método de sincronizar os dados para permitir que o dispositivo que venha a receber o sinal possa entendê-lo. Todas estas características estão especificadas na norma. Há possibilidade de seleção de faixas de transmissão entre 75 e 19200 baud, sendo comuns 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200. Com relação às distâncias, a RS232 permite uma distância máxima de aproximadamente 30m a 9600 baud. A transmissão em duas vias e em longa distância pode ser feita usando o padrão RS422.

O padrão RS422 eliminou alguns dos problemas encontrados no padrão RS232. Desta forma, ele usa dois fios para cada sinal, uma interface elétrica com linhas diferentes para entrada e saída e permite maiores distâncias entre os dispositivos.

Especificamente no caso de computadores que possam vir a ser conectados a CLP's, é desejável que contenham estes conectores.

O sistema de comunicação analógico seguindo o padrão 4-20mA é mostrado no item 5.4, dentro do contexto de sistemas de aquisição de dados e no capítulo 6 são analisados os padrões denominados Fieldbus. A comunicação através de sistemas de redes de computadores é analisada a seguir.

#### **4.13 Sistemas de redes locais usadas em sistemas supervisórios**

As redes locais de computadores, amplamente utilizadas no ambiente comercial foi prontamente adotada pelos fabricantes de sistemas de automação industrial. Esses sistemas, quando utilizados juntamente com computadores do tipo PC apresentam custo muito baixo. As necessidades de interconexão de equipamentos em uma instalação industrial são bastante semelhantes às necessidades de interconexão de computadores em um escritório. As razões para se optar por uma rede em vez de ligações ponto a ponto podem ser resumidas em:

- Todos os computadores e dispositivos poderão acessar e repartir dados e programas;
- Evita-se o uso de uma quantidade enorme de cabos que seriam usados na conexão ponto a ponto;
- A rede se constitui em uma base flexível para as outras arquiteturas de comunicação que eventualmente contribuam com o sistema local.

As redes permitem a comunicação em longa distância e a transmissão de grandes quantidades de dados. Nas redes usadas em sistemas supervisórios, é comum o uso de taxas de 10Mbs.

Há diferentes sistemas de redes disponíveis no mercado, destacando-se o padrão ETHERNET e a rede IBM Token Ring. Essas redes têm diferentes características físicas e elétricas, além de diferentes protocolos de comunicação. Na área de automação há uma grande quantidade de opções oferecidas por diferentes fabricantes para permitir a interconexão de computadores com robôs, máquinas de controle numérico, CLP's etc. A tabela 4.12 apresenta algumas redes que foram lançadas no passado por alguns fabricantes.

**Tabela 4.12 - Redes de Comunicação para automação**

FABRICANTE	REDE
Allen-Bradley	Data Highway
Gould	Modbus
General Electric	GE Net Factory Lan
Mitsubishi	Melsec-Net
SattControl	Comli

Square D	SY/NET
Texas Instruments	TIWAY

Atualmente, há uma tendência para o uso de sistemas abertos que permitem o emprego de equipamentos e software de diversos fabricantes. Isso não ocorria com os sistemas apresentados na tabela 4.12.

A necessidade de comunicação para esta hierarquia de controle varia de nível para nível. No nível mais baixo, pode-se necessitar de controle em tempo real, onde a rede deverá transportar dados entre robôs, CLP's, atuadores microprocessados etc. Neste nível, a quantidade de dados é muito pequena, comparada com os grandes blocos de dados geralmente transportados na rede do nível gerencial. Entretanto, dependendo do processo a ser controlado em tempo real, pode haver exigência de grande velocidade de transmissão. Nos níveis de supervisão e controle, há uma maior exigência para se transportar maiores quantidades de dados, porém ainda em menor quantidade que a rede de nível gerencial. Esta, por sua vez, não apresenta as exigências de controle em tempo real.

Isto implica em um projeto hierárquico, com níveis diferenciados de desempenho e capacidade. Por exemplo, pode-se usar fios do tipo par trançado para as redes de nível mais baixo, conectando-se a um "backbone" de alta velocidade baseado em cabos coaxiais ou fibras óticas que servem de meio físico para as redes de níveis mais elevados.

### 4.14 Meio de transmissão

O ambiente onde as redes deverão ser instaladas também afeta a escolha do meio. Os ruídos elétricos têm sempre sido um problema na indústria, onde usinas geradoras de eletricidade, dispositivos de solda elétrica, máquinas de corte etc produzem radiação eletromagnética. Quando os cabos de comunicação passam perto das fontes de ruído, deve-se tomar os cuidados necessários para que se possa obter uma transmissão em alta velocidade e que seja confiável.

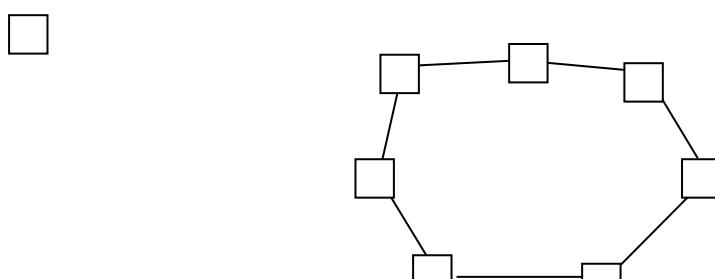
Os pares trançados são normalmente usados para as redes de controle, mas devem ser conduzidos através de conduítes de aço aterrados para se obter uma transmissão satisfatória. Os cabos coaxiais podem operar com taxas de transmissão mais elevadas, não requerem isolamento adicional e podem operar com o sistema de banda larga tendo vários canais multiplexados em frequência. As bandas largas não são em geral afetadas por ruído e, portanto, são consideradas ideais para o ambiente de fábrica. Contudo, são muito mais caras que os sistemas de banda base, devido à necessidade de modulação/demodulação em cada nó do sistema.

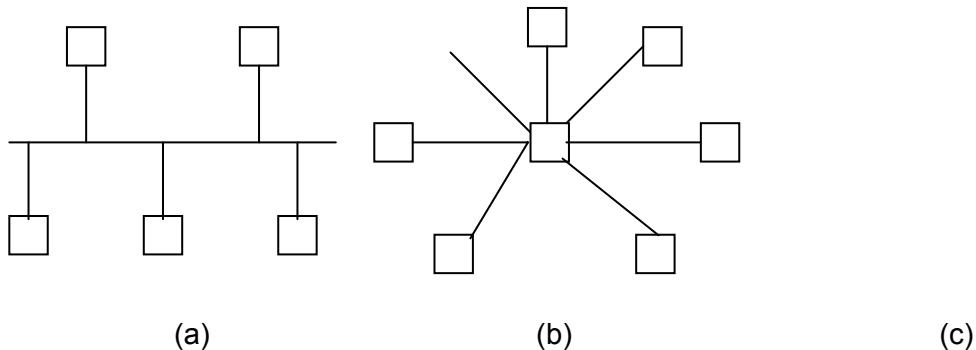
Os sistemas baseados em fibra ótica estão substituindo as opções anteriores devido a maior largura de banda, imunidade a ruídos, pequena exigência de espaço, flexibilidade. As ligações ponto a ponto são relativamente simples.

### 4.15 Configurações de rede

Embora haja um grande número de possíveis sistemas de rede, todos possuem certas características comuns. Cada dispositivo em uma rede, que seja referido como um nó ou uma estação, tem que possuir uma interface apropriada. Todas as estações são ligadas ao sistema por um meio físico que tanto pode ser pares trançados, cabos coaxiais ou cabos de fibra ótica. Entretanto, a função do meio físico é sempre de transmitir dados de uma estação para outra.

As redes necessitam de um software que manipule corretamente a transferência de arquivos através do sistema e cuide dos acessos às estações e da validação dos dados etc.





**Fig.4.29.**  
**Topologias de rede:**

**(a) Barramento, (b) Topologia em estrela, (c) Topologia em anel.**

A topologia de uma rede consiste no arranjo físico das estações e das suas interconexões (fig.4.29). Os três padrões principais de rede comumente encontrados são:

- Topologia em barramento, que consiste de um cabo central com todas as estações conectadas através de SPURS;
- Topologia em estrela, que consiste em estações ligadas diretamente a uma única estação considerada servidor.
- Topologia em anel, que consiste de várias estações conectadas em um anel completo.

O servidor é normalmente usado em todos tipos de configurações de rede. O termo se refere a uma estação que é usada para armazenar os arquivos e software que sejam compartilhados com as outras estações. O servidor é também responsável pelo acesso a dispositivos de uso comum tais como as impressoras

#### 4.16 Controle de acesso aos canais

Com as diversas estações em uma rede, deve haver um mecanismo para decidir qual a estação que deverá ganhar acesso ao canal comum para transmitir ou receber informações. Em geral, sob condições de tráfego intenso, há sempre mais de uma estação tentando ganhar acesso à rede em um determinado momento, fazendo com que o tempo de resposta seja deteriorado. Torna-se, portanto, necessário que o tráfego seja controlado para permitir uma operação eficiente e reduzir a chance de se corromper os dados devido a colisões de duas ou mais mensagens. Com estes objetivos foram desenvolvidos diversos protocolos de rede.

Os protocolos de comunicação de dados têm como um dos objetivos resolver o problema de congestionamento das redes. Dois protocolos conhecidos internacionalmente são:

- **CSMA/CD:** A sigla significa “*Carrier Sense, Multiple Acces/Collisions Detection*”. Neste sistema, as estações ganham acesso à rede pela ordem de chegada, isto é a primeira que chega é servida. O termo “*Carrier Sense*” significa que a estação tem facilidade de escutar a rede para testar se a mesma está ocupada. Isto é feito por hardware. Desta forma, não havendo sinal de *carrier* subentende-se que não há tráfego e a estação ganha então o acesso. Caso contrário, à estação deverá esperar um certo tempo até tentar novamente. Esta estratégia de “*olhar primeiro para depois atravessar a rua*”, reduz, mas não elimina o risco de colisões. O termo múltiplo acesso significa que qualquer estação poderá transmitir dados toda vez que for verificado que o canal está livre.

- **TOKEN PASSING:** este tipo de protocolo usa uma senha especial para passar o controle de uma estação para a outra. Qualquer estação que desejar transmitir informação deverá esperar até

receber a respectiva senha. Tendo completada a transmissão, a estação deverá enviar a senha para o próximo nó da rede. Esse protocolo pode ser usado tanto em configurações de rede em anel como em barramento, apresentando uma resposta relativamente lenta em condições de pouco tráfego, porém apresentando pequena deterioração para as situações de tráfego intenso. Atualmente, no caso das redes usadas nas indústrias para aplicações em sistemas supervisórios, são usados os padrões mais conhecidos, tais como a rede ETHERNET que usa o protocolo CSMA/CD, permitindo que se conectem à rede os mais diferentes equipamentos, tais como sistemas de aquisição de dados, CLPs, máquinas de controle numérico, robôs etc, de diferentes fabricantes. Há, entretanto, diversos padrões que foram estabelecidos por diferentes organizações internacionais. Esses padrões são apresentados a seguir.

#### 4.17 Padrões de Redes de comunicação

Atualmente, os padrões ISO, IEEE e MAP, são as mais importantes normas de redes de comunicação em uso, tanto industrial como para outras finalidades. Alguns detalhes destes padrões são apresentados a seguir.

##### ISO – International Standards Organization

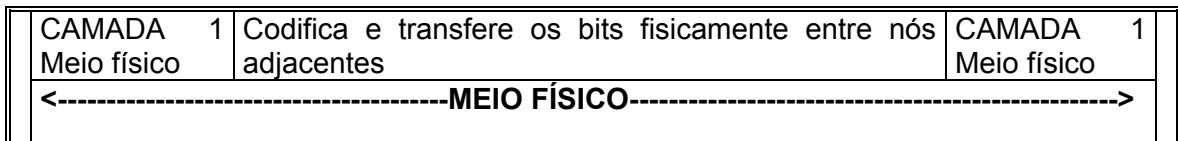
Foi definido pela norma ISO o modelo OSI (Open Systems Interconnection). Este modelo foi definido em 1979 para estabelecer a comunicação entre diferentes sistemas de computadores e se tornou o padrão mais utilizado pelos fabricantes de redes. O modelo ISO/OSI estabelece uma estrutura para redes de comunicação, mas não uma especificação real dos protocolos de comunicação.

**Tabela 4.13 - Modelo de 7 camadas do padrão ISO/OSI**

NÓ A	FUNÇÃO	NÓ B
PROGRAMA DO USUÁRIO	Programas de aplicação (não fazem parte do modelo OSI)	PROGRAMA DO USUÁRIO
CAMADA 7 Aplicação	Fornece todos os serviços que são compreendidos pelos programas de aplicação	CAMADA 7 Aplicação
CAMADA 6 Apresentação	Reestrutura dados usados dentro da rede de forma padronizada	CAMADA 6 Apresentação
CAMADA 5 Sessão	Sincroniza e manipula os dados	CAMADA 5 Sessão
CAMADA 4 Transporte	Executa a transferência de dados de forma transparente de nó para nó	CAMADA 4 Transporte
CAMADA 3 Rede	Executa o roteamento de pacotes para a transferência de dados entre os nós	CAMADA 3 Rede
CAMADA 2 Data Link	Procura melhorar a taxa de erros entre as estruturas transferidas entre nós	CAMADA 2 Data Link

# CST

## Arcelor Brasil



O link de comunicação entre os dispositivos de uma rede é definido em termos dos protocolos elétricos e físicos e dos padrões para os usuários. O modelo OSI define todos os aspectos de comunicação entre usuários através de uma estrutura em 7 níveis mostrada na Tabela 4.13. Cada camada deve ser autônoma realizando a sua tarefa e transferindo os resultados para a próxima camada.

As camadas 1, 2 e 3 estabelecem o meio físico de transmissão e as interfaces de baixo nível necessárias para a troca de dados entre os componentes compatíveis. Os níveis mais elevados (4 a 7) são necessários para permitir a comunicação entre dispositivos similares usando aplicações de software específicas.

### **Padrão IEEE**

Nos Estados Unidos, foi desenvolvido o projeto denominado IEEE-802, onde se criou um modelo em camadas semelhante ao modelo ISO/OSI. A maioria dos padrões desenvolvidos pelo IEEE são usados para se detalhar, de forma completa, as redes definidas com base no modelo OSI, particularmente nos níveis mais baixos.

### **GM MAP – um padrão industrial**

Na década de 80 a equipe da General Motors (GM), se viu com a tarefa de equipar suas fábricas com 20 000 sistemas que deveriam se comunicar entre si, até o ano de 1990. Resolveram então manter o padrão OSI em seis camadas e definiram o padrão MAP (Manufacturing Automation Protocol). Isto resultou que todos os maiores fabricantes de sistemas de computação e de automação decidiram também aderir ao padrão MAP para que houvesse compatibilidade. A especificação foi colocada de graça a qualquer um pelo GM. A especificação criada pela GM foi denominada GM MAP (Manufacturing Automation Protocol), onde uma LAN podia integrar todos os níveis de um sistema de controle, incluindo os 20 000 sistemas de microcomputadores citados. O GM MAP foi adotado por muitos fabricantes de equipamentos de controle que passaram a produzir interfaces para esta especificação.

A especificação da GM inclui todos os sistemas usados nas fábricas, tais como CLPs, robôs, máquinas de solda, sistemas de visão etc, não se importando com o fabricante.

O GM MAP usa o sistema *token bus*, que é definido pela norma IEEE 802-4 na camada física. A razão para esta escolha foi a exigência de um tempo de acesso determinístico, definido por um valor máximo aceitável pela operação. Este valor máximo de tempo de acesso é considerado como aquele exigido para que a rede possa operar nas condições de tráfego intenso, evitando-se colisões. O protocolo CSMA/CD tem tempo de acesso probabilístico, isto é, para condições diferentes de tráfego, não se pode ter um valor exato do tempo de acesso podendo-se somente estimá-lo. Além do mais, o CSMA/CD tem uma resposta teoricamente inferior que sistema de *token sob condições de tráfego intenso*, como, por exemplo, a rede IEEE 802.3-Ethernet.

O MAP usa um cabo coaxial de banda larga, em taxa de 10 Mbps, com a largura de faixa dividida em muitos canais separados com diferentes posições no espectro de freqüência. Dois canais são usados como caminhos para transmitir e receber dados na rede MAP, sendo que os diversos outros canais são reservados para outras finalidades tais como comunicação em vídeo e voz. Há a necessidade de um terminador no final do cabo. Na Tabela 4.14, apresenta-se um resumo das camadas MAP, juntamente como o padrão ETHERNET, para comparação.

**Tabela 4.14. As camadas ISO/OSI nos padrões MAP e ETHERNET.**

CAMADA OSI		PROTOCOLO MAP	ETHERNET	
NÚMERO	DEFINIÇÃO			
7	Aplicação	Transferência de arquivos ISO	Por exemplo Software de rede	Implementados por software
6	Apresentação	Inexistente		
5	Sessão	Núcleo de sessão ISO		
4	Transporte	Transporte ISO – classe 4		
3	Rede	ISO Internet		
2	Data link	IEEE 802.2 classe 1 IEEE 802.4 token ring	IEEE 802.3 Barramento - CSMA/CD	Implementados por hardware e firmware
1	Física	IEEE 802.4 banda larga	IEEE 802.3 Banda base	
	Link	Cabo coaxial 10 mbps com modulação RF	Cabo coaxial de 10 Mbs com conectores de topo	

Para maiores informações sobre a rede MAP pode-se consultar a referência onde há detalhes de implementação da rede MAP em sistemas abertos.

#### 4.18 Rede Ethernet

A rede Ethernet foi o primeiro grande sistema de rede a ser oferecido sem o uso de protocolos proprietários. A rede Ethernet foi criada em conjunto pelas empresas Xerox, DEC e Intel. Trata-se de uma rede usada mundialmente tanto para a área industrial como para escritórios. Outra grande vantagem desta rede é o grande número de fabricantes que colocam no mercado produtos compatíveis com a rede Ethernet. As principais características da rede Ethernet são:

- **Camada física** - A rede Ethernet tem uma topologia de barramento a uma taxa de 10 Mbs em cabo coaxial usando transmissão em Banda Base. O acesso ao cabo coaxial é obtido por um conector que permite que se liguem e desliguem estações sem interromper a operação do sistema.
- **Camada do Link de Dados** - Esta camada possui as seguintes características: **(a)** O controle da rede é feito por múltiplo acesso amplamente distribuído em todos os nós; **(b)** O controle de acesso é feito através do protocolo CSMA/CD; **(c)** As camadas ISO/OSI 4-7 não são incluídas na especificação do padrão Ethernet, entretanto, há software disponível de várias fontes que fornecem as funções de gerência de dados necessárias.

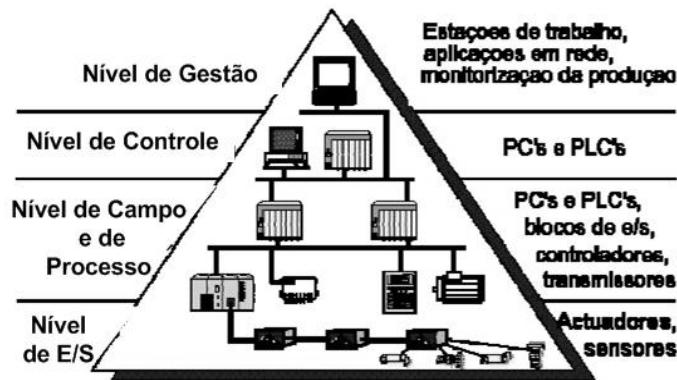
#### 4.19 Introdução às Redes Industriais

Uma rede industrial consiste numa variedade notável de domínios (uma fábrica de produção de produtos alimentares, supervisão de máquinas, etc). Tais domínios são potenciais utilizadores das redes de campo, sendo que para alguns, as redes de campo estão infiltradas na configuração da produção. Assim, a abordagem às redes de campo deve considerar todas estas diferentes necessidades.

##### 4.19.1 Níveis de uma Rede Industrial

Numa rede industrial coexistem equipamentos e dispositivos de todo o tipo, os quais podem ser agrupados hierarquicamente para estabelecer ligações mais adequadas para cada área. Desta forma, são definidos quatro níveis dentro de uma rede industrial:

- **Nível de gestão:** é o nível mais elevado, o qual é destinado a um computador central que processa o escalonamento da produção da planta e permite operações de monitoramento estatístico da planta sendo implementado, geralmente, por softwares gerenciais (MIS). O padrão Ethernet operando com o protocolo TCP/IP é o mais comumente utilizado neste nível.
- **Nível de controle:** é a rede central localizada na planta incorporando PLCs, DCSs e PCs. A informação deve trafegar neste nível em tempo real para garantir a atualização dos dados nos softwares que realizam a supervisão da aplicação.
- **Nível de campo e de processo:** encarrega-se da integração de pequenos automatismos (autômatos compactos, multiplexadores de E/S, controladores PID, etc...) dentro de sub-redes ou "ilhas". Num nível mais elevado destas redes, podemos encontrar um ou mais autômatos modulares, atuando como mestres da rede ou mestres flutuantes. Aqui se empregam redes de campo.
- **Nível de E/S:** é o nível mais próximo do processo. Aqui se encontram os sensores e atuadores, encarregados de manejar o processo produtivo e tomar as medidas necessárias para uma correta automação e supervisão.



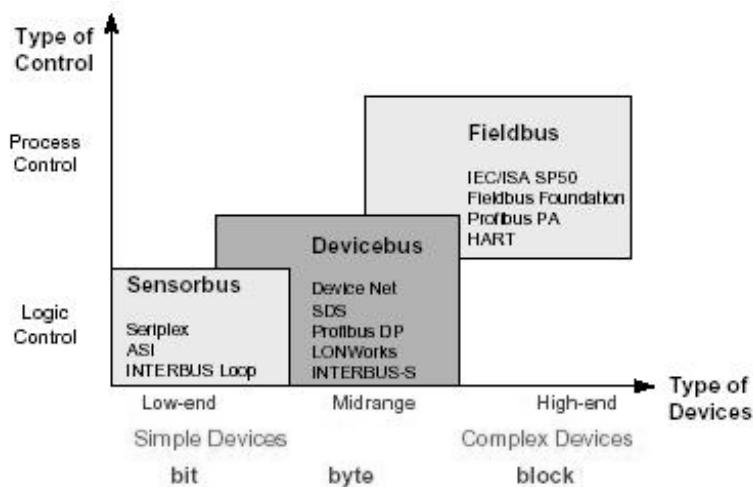
**Fig.4.30.**  
**Níveis de uma Rede Industrial**

Nota-se que esta estrutura não é universal, existindo casos onde se encontram mais ou menos níveis, dependendo da dimensão do processo e da própria indústria.

#### 4.19.2 Classificação das redes industriais

Excetuando-se uma rede de célula, uma rede de campo é a classificação para praticamente todas as redes industriais de dados, existindo, porém, variações importantes nas suas características. Assim, podemos dividi-las em:

- Redes de campo efetivas (Devicebus e Fieldbus);
- Redes de campo de nível mais baixo (Sensorbus)



**Fig.4.31.**  
**Classificação das Redes.**

#### 4.19.3 Redes de célula

Este é o ponto de partida para a classificação de qualquer tipo de comunicação industrial. No entanto, estas redes não são redes de campo e, como tal, apenas alguns pontos aqui serão discutidos.

Um dos padrões mais populares utilizados neste tipo de rede é o MAP. O MAP utiliza o mesmo acesso físico ao meio que as redes Ethernet. As suas características mais importantes são: a passagem de mensagens ao serviço das aplicações e a definição de máquina virtual para emular qualquer tipo de máquina, facilitando assim a comunicação entre máquinas reais.

#### **4.19.4 Arquitetura MAP**

Um dos fatores mais importantes na integração dos sistemas dentro de uma empresa é a rede de comunicação de dados, pois ela é responsável pela troca de informações e a sincronização entre os processos envolvidos.

A maioria das redes de comunicação de dados projetadas não atende o ambiente industrial, pois:

- O ambiente é hostil para operação de equipamentos; (perturbações eletromagnéticas, elevadas temperaturas, sujeira, etc.).
- A troca de informações ocorre entre equipamentos e não entre um operador e o equipamento;
- Os tempos de resposta e a segurança dos dados são críticos em diversas situações;
- Uma grande quantidade de equipamento pode estar conectada na rede;
- Tempo de acesso ao meio físico;
- Confiabilidade: transmissão de códigos de comando, leitura de medidores e comando de atuadores, onde um erro em um bit pode ter consequências desastrosas.

Com o grande desenvolvimento ocorrido ao nível de chão de fábrica, os equipamentos (CNC, PLC, etc.) começaram comunicar-se com mundo exterior. Porém, cada fabricante definia um protocolo proprietário e a integração destes sistemas tornou-se impraticável.

Para solucionar estes problemas, muitas empresas começaram a desenvolver projetos de arquiteturas para ambientes industriais, que integrassem sistemas heterogêneos de diferentes fabricantes, suportando tanto as operações de chão de fábrica quanto as funções de apoio à produção. Desta forma, equipamentos produzidos por fabricantes diferentes poderiam ser facilmente incorporados à instalação, simplesmente ligando-os ao sistema de comunicação. Entre as diversas iniciativas para a padronização para redes industriais, pode-se destacar:

- Projeto IEEE 802
- Projeto MAP
- Projeto TOP
- Projeto FIELDBUS

#### **4.19.5 O Projeto MAP**

Nos meados dos anos 80, a empresa GM (General Motors) cansada das dificuldades encontradas na informatização da empresa, resolveu desenvolver um padrão para a automação fabril. Este padrão foi batizado como MAP ("**Manufacturing Automation Protocol**") e visa à interligação de múltiplas redes locais (terminais, recursos computacionais, dispositivos programáveis) bem como a conexão de redes de longa distância ou PBXs digitais.

No ano de 1986, o projeto TOP (**Technical and Office Protocol**), voltado para a comunicação de dados no ambiente técnico-administrativo das empresas, foi incorporado ao MAP gerando o projeto MAP/TOP.

A arquitetura MAP segue a filosofia do modelo OSI (Open Systems Interconnection) da ISO

(International Organization for Standardization), como pode ser visto na figura seguinte.

A partir do momento que a especificação MAP progrediu, notou-se que o projeto não atendia bem a área de controle de processos. Surgiram dois novos projetos que procuraram solucionar os problemas de comunicação em tempo-real:

- EPA/MAP
- Mini MAP

Na arquitetura MAP e suas derivadas, o protocolo mais importante da camada de aplicação é o MMS<sup>(1)</sup>.

(1) O protocolo MMS ("**Manufacturing Message Specification**") é um protocolo da camada de aplicação, projetado para monitorar e controlar dispositivos industriais como computadores, CNCs, PLCs, etc.. Possui um conjunto de serviços que permite manipulação de variáveis, programas, semáforos, eventos, relatórios, terminais, etc. As variáveis MMS podem ser simples (booleanos, inteiros, strings,...) ou estruturadas (arrays ou registros). Estas podem ser lidas/escritas de forma individual ou em listas.

Apesar do MAP possuir vantagens, sua utilização não foi difundida nos meios comerciais. Os principais motivos foram:

- Esta especificação atende bem os requisitos de comunicação nos níveis superiores da hierarquia porém, por ser uma estrutura robusta, torna o tempo de resposta (200 a 400 ms) muito alto por se tratar de um ambiente industrial.
- Os níveis inferiores da hierarquia caracterizam-se pela existência de uma grande variedade e quantidade de equipamentos de controle, inviáveis de serem conectados pela arquitetura MAP pelo custo da interface entre eles.

**Tabela 4.15. Padrão MAP**

APLICAÇÃO	EIA 1393 Draft 5 [MMS]	ISO 8571 [FTAM]	SASE
	ISO 8649	ISO 8650 [KERNEL]	ACSE
APRESENTAÇÃO	ISO 8823	ISO 8824	
SESSÃO	ISO 8326	ISO 8327 [Full Duplex]	
TRANSPORTE	ISO 8072	ISO 8073 [Classe 4]	
REDE	ISO 8473	ISO 8348	ISO 8348/AD1
ENLACE	ISO 8802/2 [LLC Tipo 1 Classe 1]		
	ISO 8802/4 [MAC Token-Passing Bus]		
FÍSICO	ISO 8802/4 [PHY Broadband/Carrierband]		

#### 4.19.5.1 A Arquitetura MAP

As características especificadas para as sete camadas do modelo OSI foram as seguintes:

- Camada Física

Responsável em estabelecer as características elétricas da transmissão (velocidade, níveis de sinais e propriedades mecânicas e elétricas dos conectores), codificar a informação e transferi-la pelo meio físico.

Para esta arquitetura foram adotados dois padrões da especificação IEEE 802.4 ("token bus"):

- Cabo coaxial, transmissão em banda larga com taxa de 10 Mbps para o backbone da rede, em virtude das características: baixa atenuação do sinal, baixa interferência eletromagnética e capacidade de transmissão simultânea de dados, voz e imagem.
- Cabo coaxial, transmissão em banda portadora com taxa de 5 Mbps para os níveis inferiores da fábrica, em virtude da simplicidade e do custo.

O padrão Ethernet não foi utilizado pelo grande número de colisões que ocorre na rede.

- Camada de ligação lógica de dados ou de enlace

Responsável em transferir informações entre dois nós adjacentes da rede com acesso a meios de transmissão compartilhados além da detecção e correção de erros. As subcamadas pertencentes a este nível foram definidas da seguinte forma:

- LLC (Logical Link Control) - adota serviços do tipo 1 (não orientado à conexão e sem reconhecimento) pois a camada de transporte suporta as funções de sequenciamento, controle de fluxo e recuperação de erros. Os serviços suportados são:

**Tabela 4.16. Serviços**

Serviços	Função	Primitivas
L-DATA-ACK	Transmissão de dados com reconhecimento	Request Indication Confirm
L-REPLY	Requisitar dados com resposta	Request Indication Confirm
L-REPLY-UPDATE	Informa a unidade remota que deve preparar os dados a serem eventualmente transmitidos quando da chegada de um L-REPLY Indication	Request Confirm

- MAC (Medium Access Control) - utiliza o padrão IEEE 802.4 para garantir a possibilidade de utilização de prioridades e a não ocorrência de colisões em modo normal.
- Camada de Rede

Responsável em encaminhar os pacotes através dos nós da rede, mantendo a qualidade de comunicação apropriada para a transmissão. Para esta camada o MAP utiliza serviços de redes não orientados a conexão segundo a norma ISO 8473 (baseado no protocolo IP).

O padrão MAP especifica a forma de endereçamento utilizado e como eles se relacionam com o encaminhamento. O endereço possui três subpartes: companhia, LAN e número da máquina. Isto conduz a um encaminhamento hierárquico, com os pacotes sendo roteados para a companhia apropriada, LAN apropriada e máquina destino.

### **ENDEREÇAMENTO**

O Endereço de rede tem a estrutura:

<b>IDP (Initial Domain Part)</b>	<b>DSP (Domain Specific Part)</b>
----------------------------------	-----------------------------------

O campo **IDP** é constituído pelos campos:

<b>AFI(Authority and Format Identifier)</b>	<b>IDI (Initial DomainIdentifier)</b>
---	---------------------------------------

- **AFI**

Consiste num valor inteiro entre 0 e 99 (os valores atualmente atribuídos 36 a 59) e especifica:

- O formato do IDI e a autoridade responsável pela atribuição deste;
- A sintaxe abstrata do DSP;
- Se o primeiro dígito significativo do IDI é ou não zero.

Exemplo:

Formato do IDI: X.121 (CCITT)

Sintaxe do DSP: Decimal

1º Dígito significativo do IDI ≠ 0: AFI=36

1º Dígito significativo do IDI = 0: AFI=52

- **IDI**

Consiste num número variável de dígitos decimais e especifica o domínio de endereçamento de rede do qual os valores DSP são alocados e a autoridade que o faz.

Exemplo:

X.121 (CCITT): até 14 dígitos

F.69 (CCITT): até 8 dígitos

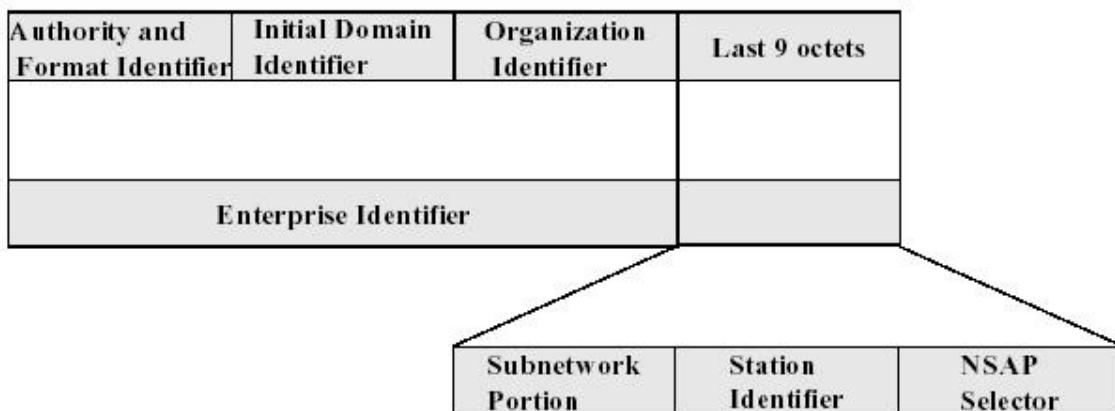
ISO 6523-ICD: 4 dígitos

Local: nulo

- **DSP**

Identifica um utilizador específico do serviço de rede dentro do domínio identificado pelo IDP. Pode ser especificado em dígitos decimais, octetos binários, caracteres ISO 646, ou caracteres nacionais.

### ENDEREÇAMENTO DE REDE MAP



**Fig.4.32.**  
**Endereçamento MAP**

- Identificador da empresa (Enterprise Identifier): corresponde ao primeiro nível de encaminhamento na camada de rede MAP: encaminhamento entre diferentes empresas ou organizações dentro da mesma empresa. O MAP especifica que todos os endereços OSI devem ser aceitos, o que obriga a usar alguns octetos do DSP para identificar a empresa (alguns formatos IDI só especificam o país);
- Porção de subrede (Subnetwork Portion): Identifica a subrede específica dentro da empresa. Pode ser constituído por um campo de identificação de área (conjunto de subredes) e campo de identificação de rede propriamente dito;
- Identificador de estação (Station identifier): Identifica a estação dentro da sub-rede;
- Seletor de Ponto de Acesso de serviço (NSAP Seletor): 1 octeto para selecionar a SAP específico na camada de rede da estação.

### **RESUMO DAS FUNÇÕES DA CAMADA DE REDE:**

- Encaminhamento (**Routing**);
  - Resolução de problemas de congestão;
  - Isola as camadas superiores dos vários tipos de sub-redes;
- As Funções da camada de rede estendem-se a todo conjunto de sub-redes interligadas; a camada física e a de ligação de dados variam de sub-rede para sub-rede, a camada de transporte e as superiores só funcionam nas estações de origem e destino.

A camada de rede é a única que é a mesma em todo o universo de um

conjunto de sub-redes interligadas.

- Camada de Transporte

Responsável pela transferência de uma mensagem, de um nó origem para um nó destino de uma forma confiável. A ISO definiu cinco classes diferentes para esta camada e a arquitetura MAP optou pela classe 4 por oferecer mais complexidade e portanto maior segurança. As principais características desta classe são: serviços orientados à conexão suportando controle de fluxo, multiplicação, detecção de erros para pacotes fora da seqüência, perdidos ou destruídos.

- Camada de Sessão

Responsável em sincronizar e organizar a troca de dados entre as entidades pares. A especificação MAP pretende seguir as recomendações ISO 8326 e 8327, porém até o presente momento apenas os serviços básicos de estabelecimento e fim de conexão foram estabelecidos.

- Camada de Apresentação

Esta camada define o padrão de comunicação entre as duas camadas de aplicação. MAP utiliza ANSI para definir as funções básicas (ISO DIS 8823 e 8824) no estabelecimento de conexões e gestão de contextos múltiplos.

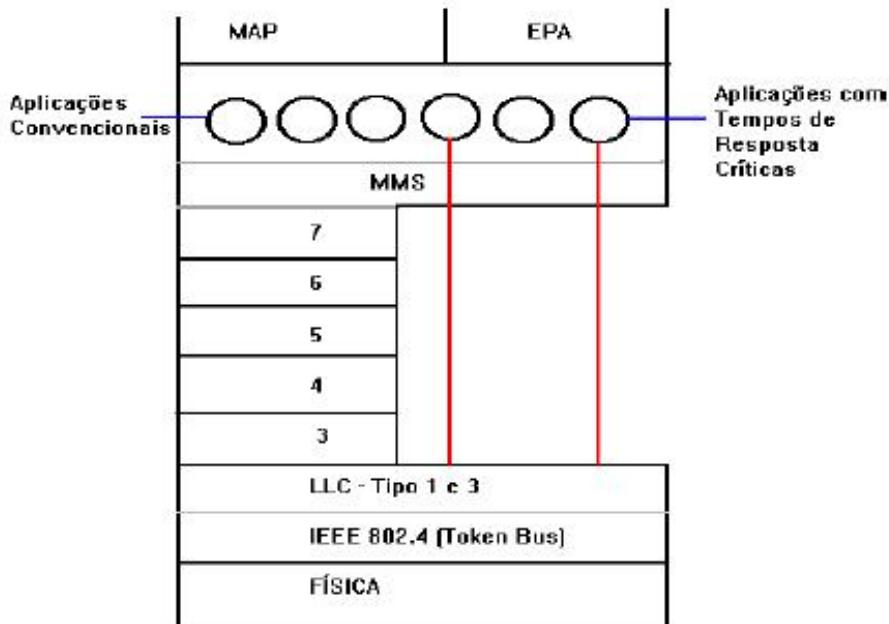
- Camada de Aplicação

Fornece todos os serviços que estão disponíveis para o utilizador final da rede. A especificação MAP prevê todos os serviços definidos pela ISO para este nível e adiciona serviços específicos para troca de mensagens em ambiente industrial onde deve existir um intenso controle nos processos executados em tempo real.

#### **4.19.6 EPA/MAP**

A arquitetura EPA segue o proposto pelo projeto MAP com algumas alterações. A camada física realiza transmissão de 5 Mbps e modulação em banda portadora, permitindo o aumento de desempenho ocasionados pela não utilização de alguns protocolos OSI definidos no MAP.

O projeto suporta tanto as sete camadas especificadas na arquitetura MAP completa, quanto uma arquitetura reduzida (conforme Fig.4.33) que visa a comunicação com restrições de tempo. Neste caso, a camada de aplicação liga-se diretamente com a camada de ligação lógica de dados que fornece serviços de reconhecimento imediato (LLC IEEE 802.2 tipo 3).



**Fig.4.33.**  
**Projeto EPA/MAP.**

Com o reconhecimento imediato, o nó receptor reconhece imediatamente o quadro sem esperar pelo token. O nó emissor mantém o controle sobre o meio de transmissão por tempo suficiente para que o nó remoto reconheça o quadro e responda corretamente.

Além de ser utilizado em sistemas de controle de processo, a utilização deste projeto é aconselhada para células de manufatura onde 70% a 95% do tráfego de comunicação está localizado dentro da célula.

Os requisitos gerais desta arquitetura são os seguintes:

- Baixos tempos de resposta para mensagens curtas de alta prioridade;
- Alta confiabilidade do meio e do método de sinalização;
- Facilidade de configuração;
- Fácil conexão com a rede principal da fábrica;
- Segurança de acesso para evitar conexões não autorizadas.

Algumas restrições impostas pela simplificação da arquitetura devem ser observadas:

- Perda da garantia da qualidade de entrega das mensagens;
- Limitação do tamanho máximo das mensagens de acordo com o tamanho máximo suportado

pela unidade de dados do protocolo de enlace;

- Impossibilidade de ressincronizar diálogos entre aplicações ou prover checkpoints pela inexistência da camada de sessão;
- A sintaxe de apresentação deve ser reconhecida a priori pelas aplicações que utilizam o EPA;
- Alto custo do nó de comunicação.

#### 4.19.7 Mini-MAP

A arquitetura Mini-MAP tentou implementar um conjunto de protocolos reduzidos e que seja capaz de prover comunicações no nível de controle direto, com tempo de resposta e segurança exigidos pela aplicação com um custo compatível.

A arquitetura é formada pelas camadas 1,2 e 7 da estrutura EPA (Fig.4.34), permitindo a construção de módulos de comunicação mais simples e com um custo compatível ao do equipamento de controle que se deseja interligar à rede, além de diminuir o overhead entre as camadas.



**Fig.4.34.  
Mini MAP.**

O único protocolo utilizado na camada de aplicação é o MMS.

As camadas 3,4,5,6 podem ser omitidas pelos seguintes aspectos:

- Camada de apresentação: o protocolo MMS já define a sintaxe das mensagens;
- Camada de sessão: não é necessário ressincronização do diálogo pois a comunicação entre os dispositivos é simples;
- Camada de transporte: quantidade de erros existentes na comunicação entre dispositivos da mesma sub-rede é pequena;
- Camada de rede: a comunicação é realizada dentro da própria sub-rede.

Apesar desta arquitetura se tornar simples e adequada para pequenos sistemas industriais, células de manufatura e sistemas de controle em tempo-real, algumas questões foram levantadas em relação a sua utilização.

A primeira questão refere-se a formação de "ilhas de automação", isto é, áreas que não se comunicam com outras áreas internas ou externas à fábrica. Este problema pode ser resolvido com a utilização de repetidores.

A segunda questão refere-se a incompatibilidade com a arquitetura MAP. Porém, como as duas arquiteturas utilizam o mesmo protocolo de aplicação, seria simples criar um conversor para

resolver este problema.

#### **4.19.8 Redes de Campo de Baixo Nível**

Elas ligam nós sem ou com inteligência limitada com propósito de acessarem dados elementares de outro nó do processo, tal como estados de entrada/saída dos sensores e atuadores.

##### **4.19.8.1 Sensorbus**

A rede Sensorbus conecta equipamentos simples e pequenos diretamente à rede. Os equipamentos deste tipo de rede necessitam de comunicação rápida em níveis discretos e são tipicamente sensores e atuadores de baixo custo. Estas redes não almejam cobrir grandes distâncias, sua principal preocupação é manter os custos de conexão tão baixos quanto for possível. Exemplos típicos de rede sensorbus incluem Seriplex, ASI e INTERBUS Loop.

#### **4.19.9 Redes de campo efetivas**

A palavra "campo" sugere qualquer coisa como geográfico ou limite contextual. Isto é particularmente verdadeiro em diferentes níveis de abstração, conforme poderemos verificar posteriormente quando tratarmos da integração e da produção (caso da produção integrada por computador - CIM). Por outro lado, a palavra "rede" é bem conhecida na ciência da computação: uma rede constitui-se por um conjunto de linhas elétricas comuns, ligando vários circuitos para transferir dados entre eles.

Sem entrar em detalhes, quero no entanto mencionar a relação entre "linhas comuns" e "vários circuitos": contrariamente a ligações ponto-a-ponto, as quais permitem dois circuitos trocar dados, uma rede une normalmente um grande número de entidades que desempenham um papel ativo nessa troca.

Por outro lado, uma rede de campo transfere, na maior parte dos casos, informação de uma forma sequencial (série, uma após outra). A vantagem de uma transferência série é a requisição de apenas um número limitado de linhas (cerca de 2 a 3 na maioria dos casos), que permitem cobrir grandes distâncias.

Este nível agrupa todas as redes que permitem a transmissão de quadros com o tamanho de 12 a 256 bytes. A resposta temporal é da ordem dos mili-segundos aos décimos de segundo.

As redes de campo têm a tarefa de ligar unidades inteligentes que cooperam no processamento do trabalho produtivo, necessitando de mais respostas imediatas a tempos críticos que nos níveis mais elevados de uma pirâmide CIM.

Uma vez que os nós funcionam conjuntamente, na maior parte dos casos, um nó coordena e distribui tarefas, o que corresponde a uma das razões pelas quais as redes de campo são construídas baseadas em uma **hierarquia mestre-escravo** ("master-slave"): o mestre controla operações e comunicações através de, ciclicamente, questionar os escravos -"**polling**"- que lhe podem responder apenas se ele lhes permitir. Este modo de procedimento elimina qualquer confusão na rede, uma vez que o protocolo permite apenas que um nó possa transmitir dados de cada vez. No entanto, esta estrutura rígida apresenta problemas no que diz respeito ao mestre: se um nó mestre pára de trabalhar corretamente, tudo deixa de funcionar. A maior parte das redes de campo atuais, tais como a *Profibus FMS* ou a nova *BitBus* (*IEEE-1118*), é capaz de comutar o papel de mestre para outro nó se tal for necessário, ou se um mestre estiver inativo.

Por fim, é possível cobrir uma parte do nível imediatamente abaixo de uma rede de campo, embora de uma forma limitada. Isto requer uma estimativa precisa da quantidade de dados global que ela deve suportar para evitar sobrecarga.

Adicionalmente, a maior parte das redes de campo permitem o acesso aos recursos das camadas inferiores, tais como PLC's, cobrindo assim algumas dessas camadas. Neste caso é também

importante estabelecer de uma forma precisa a capacidade suficiente de comunicação: a carga da rede deve ser o mais reduzida possível para permitir uma rápida reação às alterações de estado dos seus sinais.

#### **4.19.9.1 Redes Devicebus**

A rede Devicebus preenche o espaço entre redes sensorbus e fieldbus e pode cobrir distâncias de até 500 m. Os equipamentos conectados a esta rede terão mais pontos discretos, alguns dados analógicos ou uma mistura de ambos. Além disso, algumas destas redes permitem a transferência de blocos em uma menor prioridade comparado aos dados no formato de bytes. Esta rede tem os mesmos requisitos de transferência rápida de dados da rede de sensorbus, mas consegue gerenciar mais equipamentos e dados. Alguns exemplos de redes deste tipo são DeviceNet, Smart Distributed System (SDS), Profibus DP, LONWorks e INTERBUS-S.

#### **4.19.9.2 Redes Fieldbus**

A rede Fieldbus interliga os equipamentos de I/O mais inteligentes e pode cobrir distâncias maiores. Os equipamentos acoplados à rede possuem inteligência para desempenhar funções específicas 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). Exemplo de redes fieldbus incluem IEC/ISA SP50, Fieldbus Foundation, Profibus PA e HART.

### **4.19.10 A Pirâmide CIM**

Antes da escolha da solução para um problema, é necessário efetuar uma análise abstrata, independentemente de considerações econômicas, políticas ou comerciais e da dificuldade de evitá-las posteriormente.

Numa fábrica existem vários níveis de processamento de dados, cada um deles com os seus próprios requisitos. A administração possui megabytes de dados, mas o seu tempo de resposta não é crítico e reside num intervalo que varia desde alguns minutos até algumas horas ou dias (os backups são efetuados uma vez por dia, os relatórios para os gestores podem tolerar algumas horas sem que daí resulte qualquer problema).

A produção, ao contrário, que é o principal utilizador das redes de campo, possui constrangimentos diferentes. Em um nível mais baixo, encontramos redes que transferem apenas poucos bytes, porém sua reação temporal deve ocorrer em alguns milissegundos ou microsegundos.

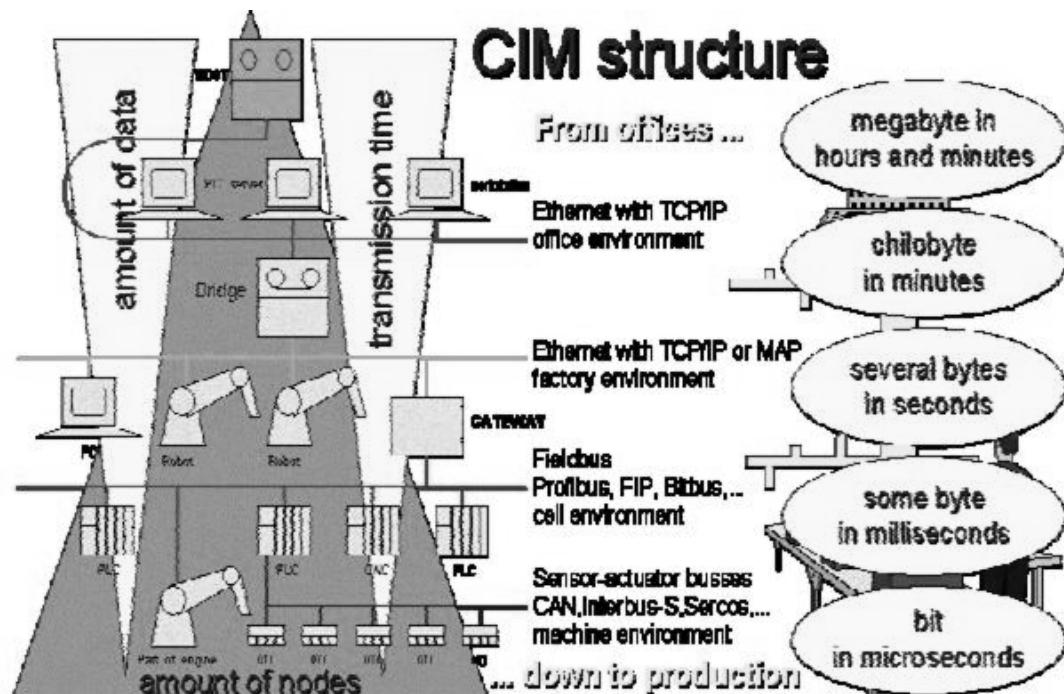


Fig.4.35.  
Pirâmide CIM.

Tais diferenças definem o primeiro critério para avaliar a escolha do tipo de rede a adotar. Parâmetros tais como tempo de resposta e quantidade de dados são geralmente conhecidos para determinada aplicação, embora possam mais tarde não serem facilmente integrados num conceito bem estruturado, tal como o da pirâmide CIM.

### 4.20 Interface AS-I

#### 4.20.1 Características Gerais

# CST

## Arcelor Brasil

Com a grande tendência mundial de se automatizar as linhas de produção e manufatura integrando-as em sistemas computadorizados, criou-se a necessidade de se utilizar redes de comunicação para os sensores de proximidade e atuadores.

A rede AS-Interface propicia a interligação de sensores e atuadores, via uma rede de baixo custo, e que pode operar no ambiente industrial poluído eletromagneticamente.

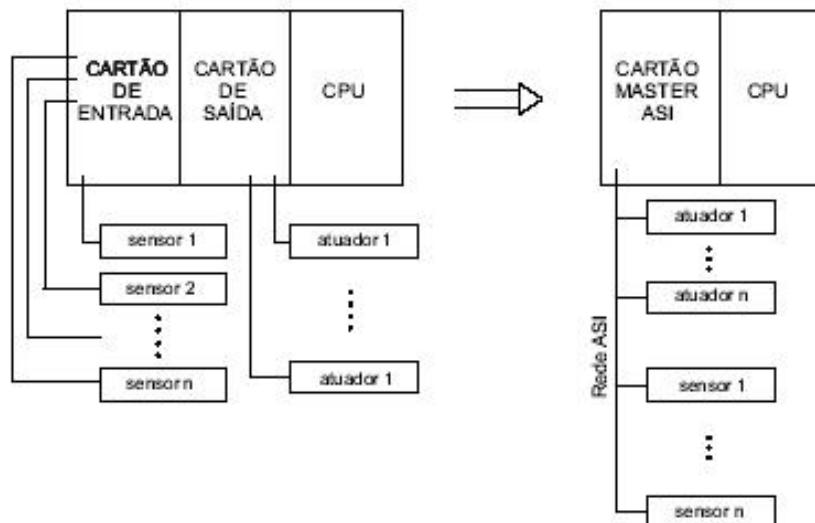
Para se compatibilizar os componentes, onze fabricantes de renome do ramo de sensores/atuadores se uniram em 1990 em um consórcio. O Projeto AS-Interface de antes tornou-se agora a Associação AS-Interface que tem como objetivos a padronização internacional, o desenvolvimento contínuo do sistema, assim como a certificação dos produtos para a rede AS-Interface.

No nível de comando mais baixo esta rede interliga sensores, contatores, chaves de partida, sinalizadores, botões, entre outros, sendo que a quantidade de informações transmitidas se limitam a poucos bits. Para esta tarefa de interligação, os sistemas de transmissão de dados existentes antigamente, ou eram superdimensionados ou simplesmente não podiam ser utilizados. Eles utilizavam condutores muito caros ou inadequados para a aplicação direta em campo (por exemplo: cabos de fibra de vidro, blindado ou inflexível) e a quantidade de dados era grande demais. Os protocolos de dados não comportavam ou a parte eletrônica do comando era muito complexa para que cada sensor binário pudesse se tornar participante do bus, já que o número deles poderia e pode ser enorme em grandes plantas industriais automáticas ou semi-automáticas.

Além disso, a montagem e a colocação em funcionamento deveriam ser efetuadas da forma mais simples possível e sem formação especial para tal. Os custos de instalação deveriam ser baixos e a quantidade de dados a ser transmitida deveria ser suficiente.

Por muito tempo a automação dos processos baseia-se no layout onde todos os sensores / atuadores possuem um fio de interligação com os controladores lógicos.

Utilizando o sistema AS-Interface apenas um par de fios deve interligar todos os sensores atuadores, ou seja, a concepção da AS-Interface é a de um sistema com um único mestre e com varredura cíclica. Traduzindo, significa que há somente um módulo de comando (mestre) dentro da rede AS-Interface que consulta os dados de todos os outros participantes (escravos) em espaços de tempo exatamente definidos (varredura).

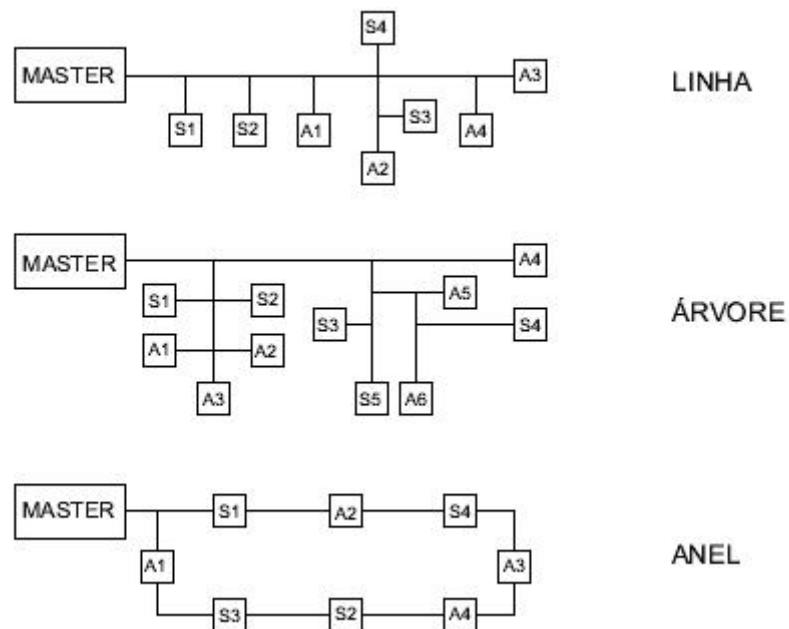


**Fig.4.36.**  
**Layout da Automação de processos.**

O programa de controle na CPU não faz diferença se os dados foram obtidos via sistema de cabo normal com os módulos de I/O convencionais, ou através de uma rede AS-Interface. O que significa dizer que com apenas pequenas mudanças no software (endereçamento) pode-se aplicar a rede AS-Interface em um PLC já existente.

#### 4.20.2 Topologia

O sistema AS-Interface permite a montagem em qualquer topologia (linha, árvore e anel), permitindo ainda que a qualquer momento possa se iniciar uma nova derivação, possibilitando a inclusão de novos sensores e atuadores, inclusive com a rede energizada, depois do projeto concluído sem a necessidade de lançar novos cabos.



**Fig.4.37.**  
**Topologias ASI.**

Em um sistema padrão AS-Interface pode-se conectar no máximo 31 escravos sendo que cada escravo pode ter até quatro entradas e quatro saídas (no total até 124 bits de entrada e 124 de saída).

Cada sensor inteligente com chips de AS-Interface integrados recebem um endereço-escravo próprio e se comportam frente ao mestre como escravos "normais".

Escravos são, no fundo,módulos de E/S descentralizados do controlador programável (CLP).

#### **4.20.3 Componentes Principais**

##### **4.20.3.1 Escravos**

O escravo AS-Interface reconhece os bits de dados enviados pelo mestre e envia de volta os seus próprios. Em um módulo AS-Interface padrão pode-se pendurar, de cada vez, até quatro sensores e quatro atuadores binários. Fala-se de um escravo inteligente quando o chip do AS-Interface está integrado no sensor ou atuador. Os custos da parte eletrônica são muito baixos.

Os sensores inteligentes possuem internamente o chip escravo AS-Interface, que proporciona 4 bits multidirecional de dados e 4 bits de parâmetros, viabilizando não só o bit de saída (acionamento do sensor), mas também parametrizações operacionais (estado da saída NA/NF, etc) bem como outras informações adicionais que são transferidas para o sensor.

O chip proporciona ao sensor receber em um único par de fios a alimentação para o seu circuito interno (24Vcc) e os dados que são decodificados através do protocolo AS-Interface, e armazenados em uma memória EEPROM.

Existe uma vasta gama de sensores de proximidade indutivos, fotoelétricos e batoeiras já disponíveis.

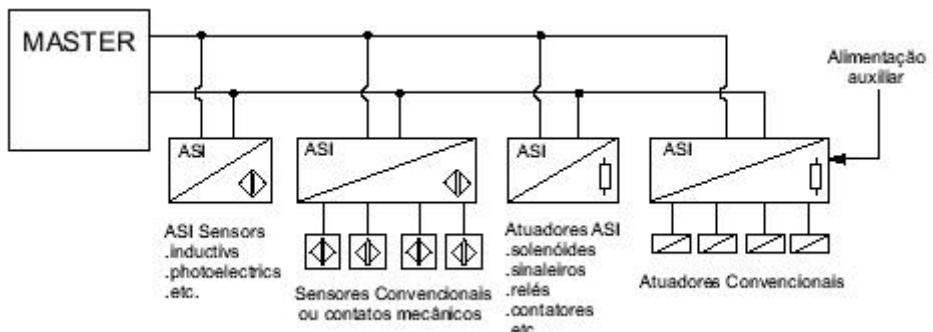
Analogamente aos sensores AS-Interface, os atuadores inteligentes incorporam o chip escravo, permitindo que atuadores de baixa energia (relés, sinaleiros, solenóides, etc) sejam comandados e energizados pela própria rede AS-Interface.

##### **4.20.3.2 Módulos de entrada/saída**

Módulos eletrônicos com o chip integrado, estão disponíveis para que sensores e atuadores convencionais possam ser integrados ao barramento AS-Interface.

Os módulos permitem utilizar a tecnologia da rede AS-Interface, integrando componentes convencionais as características inteligentes, como a função de diagnóstico e parametrização; em instalações já existentes.

Os módulos de entrada possuem 4 entradas para sensores, batoeiras e demais contatos mecânicos.



**Fig.4.38.**  
**Módulo de Entrada.**

Os módulos de saída permitem que atuadores convencionais e/ou os que consomem mais energia (contatores, válvulas solenóides, sinalizadores, etc.) possam ser integrados a rede, pois o módulo possui internamente o chip escravo AS-Interface, que recebe os comandos e proporciona o acionamento de relés internos que chaveiam as cargas com a alimentação auxiliar, recebida no módulo.

Já os módulos de saída possibilitam atuar 4 saídas e possuem uma entrada auxiliar de alimentação a fim de reduzir o consumo da rede que está limitada em 2A.

#### 4.20.3.3 Mestre

O Mestre da AS-Interface forma uma conexão com redes superiores. Ele organiza através de atividade própria o trânsito de dados no cabo AS-Interface e os disponibiliza se necessário a um sistema bus num nível superior, como por exemplo o PROFIBUS (veja também os Gateways).

Dentro de estruturas de automação mais complexas, a AS-Interface pode também ser conectada a um bus de campo superior, como por exemplo: PROFIBUS-DP. Para tal, é necessário um Gateway (DP/AS-i Link) que serve como mestre da AS-Interface apesar de no bus de campo superior (PROFIBUS-DP) atuar como escravo. A ASInterface torna-se então uma emissária de sinais binários para cada um dos sistemas de bus de campo superior.

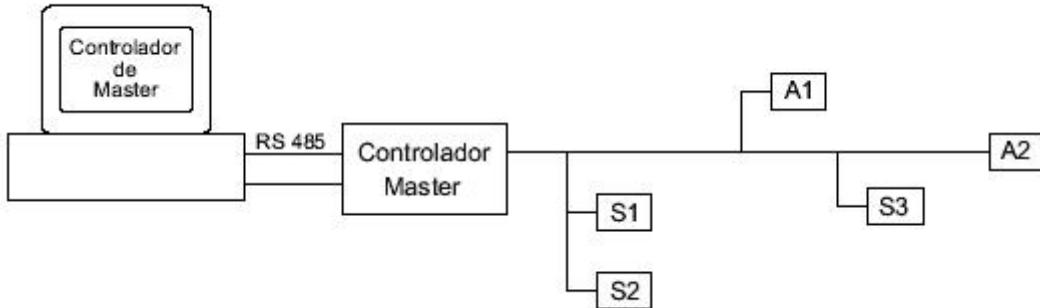
Paralelamente à consulta dos sinais, o mestre transmite também parâmetros a cada um dos participantes, controla a rede continuamente e realiza diagnósticos.

Ao contrário de sistemas bus complexos, a AS-Interface é quase completamente capaz de se auto configurar. O usuário não precisa configurar nada, como por exemplo: direito à entrada, taxa de dados, tipo de telegrama, etc.

O mestre executa automaticamente todas as funções que são necessárias para o funcionamento correto da ASInterface. Além disso, ele possibilita o auto-diagnóstico do sistema. Ele reconhece as falhas em qualquer ponto da rede, indica o tipo de falha e pode ainda determinar em que escravo ocorreu o problema.

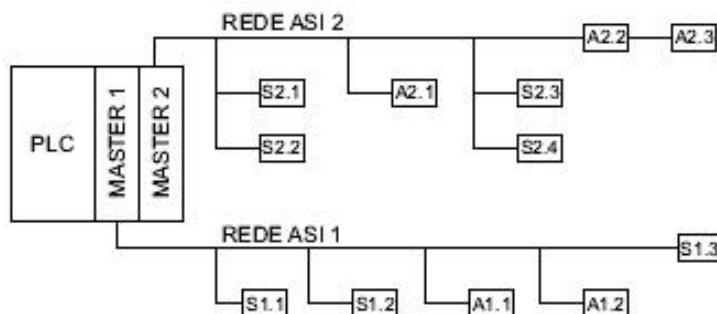
O master pode ser conectado em computadores, que permitem a programação da lógica de controle através de um software para PC, comunicando com o master via RS 485.

Estes dispositivos são indicados para pequenas instalações, ou máquinas, onde apresentam a vantagem de eliminar o controlador programável.



**Fig.4.39.**  
**Mestre.**

O chip master pode ser integrado diretamente em um cartão de PLC o que reduz drasticamente o número de módulos I/O.



**Fig.4.40.**  
**Chip Master.**

Sua aplicação encontra-se em grandes instalações pois pode-se montar várias redes AS-Interface, cada uma com seu cartão master.

#### 4.20.3.4 Cabeamento

O cabo amarelo e perfilado, padrão da AS-Interface, tornou-se um tipo de marca registrada. Ele possui uma seção geometricamente determinada e transmite ao mesmo tempo dados e energia auxiliar para os sensores. Para os atuadores é necessária uma tensão auxiliar alimentada adicionalmente (24VCC). Para se poder utilizar a mesma técnica de instalação para os atuadores, foram especificados cabos com as mesmas características, mas de outra cor. Desta forma, o cabo para a energia auxiliar 24VCC é um cabo perfilado preto.

O isolamento dos condutores é composto normalmente por uma borracha (EPDM). Para aplicações com exigências maiores podem se utilizar cabos com outras composições químicas como: TPE perfilado (elastômetro termoplástico) ou PUR perfilado (poliuretano). Como condutor de transmissão podem ser utilizados também cabos redondos com sistema de condução duplo sem condutor PE.

Uma blindagem do condutor não é necessária em função da técnica de transmissão empregada.

#### 4.20.3.5 Fonte de alimentação

A alimentação de energia para a rede AS-Interface disponibiliza uma tensão de 29,5 até 31,6 VCC.

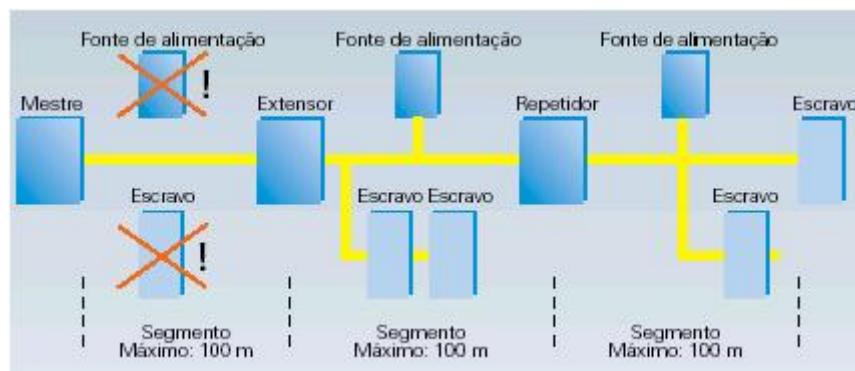
Graças ao desacoplamento dos dados na fonte AS-Interface pode-se transmitir tanto dados como também energia. Para isso os dados são modulados em corrente contínua pela AS-Interface em forma de impulsos com modulação de pulso alternada (APM). Cada ramo da AS-Interface necessita da sua própria fonte. Saídas são alimentadas normalmente através de cabos AS-Interface pretos. Para isso é necessária uma fonte padrão com 24VCC segundo especificação PELV (condutor de proteção aterrado).

#### 4.20.3.6 Extensão da rede

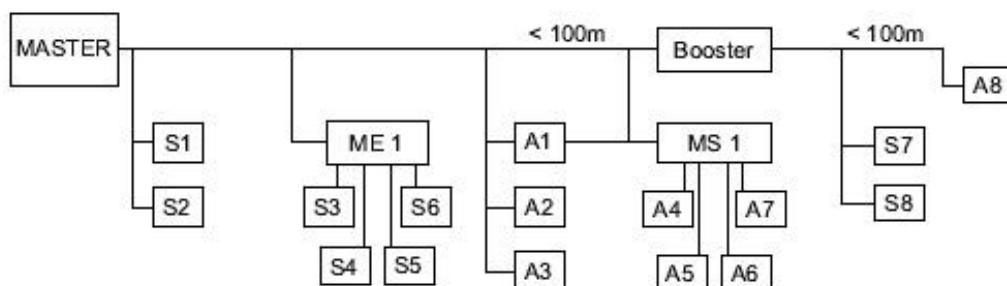
A AS-Interface funciona sem repetidores até um comprimento de 100m, e com repetidores até 300m.

Caso o equipamento exija mais de 100 m, pode-se complementar a fonte por exemplo com repetidores para cada 100m adicionais até no máximo 300m. O repetidor trabalha como amplificador. Os escravos podem ser conectados a quaisquer segmentos AS-Interface. Cada segmento necessita uma fonte separada. Adicionalmente, o repetidor separa ambos segmentos galvanicamente um do outro, sendo que a seletividade aumenta em caso de curto circuito.

O cabo AS-Interface pode ser prolongado com um extensor. Mas no caso de sua utilização não podem ser ligados escravos na primeira parte do ramo. Por isso, os extensores só são recomendados quando, por exemplo, uma distância maior entre o equipamento e o painel de comando tem que ser superada.



**Fig.4.41.**  
**Rede AS-I.**



**Fig.4.42.**

### Segmentação da Rede ASI.

#### 4.20.3.7 Endereçamento

Os endereços de todos os escravos participantes têm que ser programados antes do funcionamento da rede AS-Interface. Isto pode acontecer off-line através de um aparelho de endereçamento, on-line pelo mestre do sistema da AS-Interface ou após a montagem através de uma caixa de endereçamento integrada. Os endereços em si são os valores de 1 até 31.

Um escravo novo, ainda não endereçado, tem o endereço 0. Ele também é reconhecido pelo mestre como novo e como escravo ainda não endereçado e, neste estado, ainda não estará integrado na comunicação normal dentro da rede AS-Interface.

A classificação dos endereços não é rígida. Isto é, é totalmente indiferente se o escravo com o endereço 21 seguido do escravo com endereço 28, inicia as fileiras ou se dá ao primeiro escravo o endereço 1 – a seqüência não é relevante.

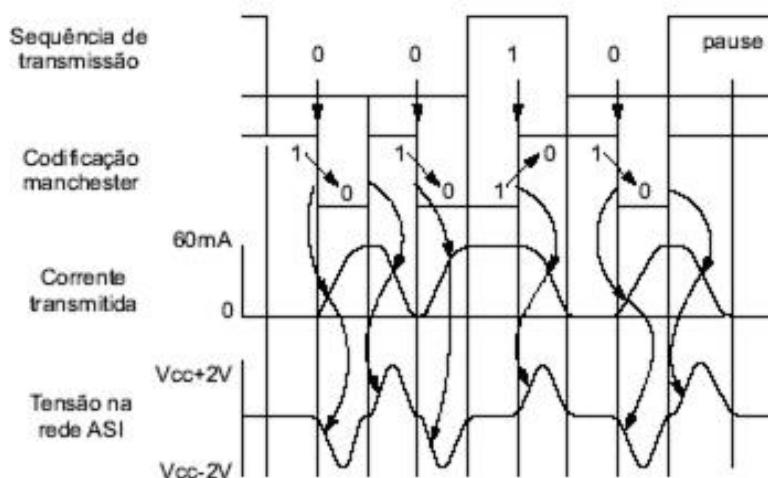
#### 4.20.3.8 Modulação

Vários aspectos foram levados em consideração para a escolha do processo de modulação, onde destacamos:

- O sinal de modulação deve ser sobreposto ao sinal de alimentação,
- O processo de transmissão deve ser simples e barato para poder ser integrado no escravo;
- O sinal deve estar concentrado em uma banda estreita para não ser afetado por interferência eletromagnética induzida no cabo (que não possui blindagem).

Por estas razões o sistema AS-Interface adota a modulação de pulsos alternados (APM), onde na sequência de dados utiliza-se a codificação manchester, modulada pela alteração na corrente de transmissão.

A corrente de transmissão é gerada em conjunto com indutores presentes na linha, que em caso de aumento de corrente provoca um pulso negativo, e em decréscimo da corrente gera um pulso positivo de tensão na linha.

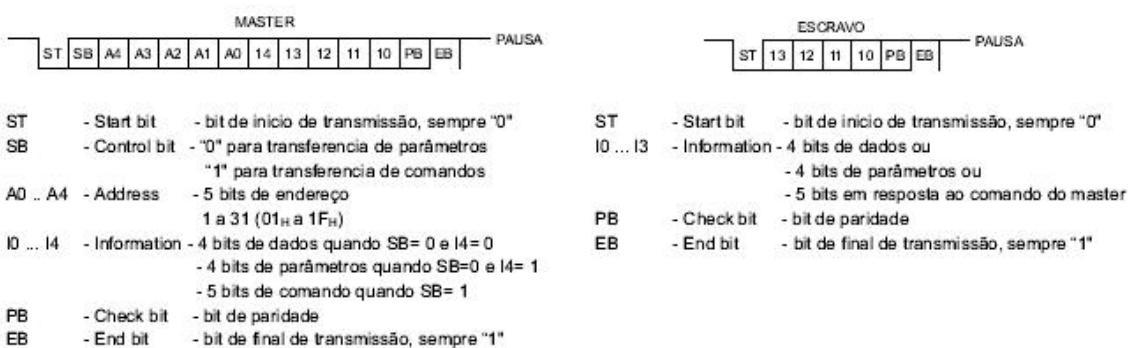


**Fig.4.43.**  
**Modulação ASI.**

#### 4.20.3.9 Estrutura do telegrama

A estrutura de comunicação entre o master e os escravos, consiste em um chamado do master, uma pausa, a resposta do escravo, e nova pausa.

Visando-se obter um baixo tempo de resposta, da ordem de 5ms com a rede completa (128 bits de dados), adotou-se um telegrama compacto, conforme:



**Fig.4.44.**  
**Telegrama ASI.**

#### 4.20.3.10 Operação

Normalmente os escravos não necessitam ser parametrizados, exceto escravos inteligentes. A especificação de cada escravo informa se ele tem que ser parametrizado e quais funções têm os parâmetros. Enquanto o endereço de um escravo em funcionamento normal nunca se modifica, os parâmetros podem se modificar.

Por este motivo, diferencia-se também os parâmetros fixos dos alteráveis.

Parâmetros fixos são determinados somente uma vez e depois no comissionamento. Um exemplo para isto é o módulo de entrada analógico que é ajustado através de um parâmetro em uma faixa de energia de 0 a 20 mA ou de 4 até 20 mA.

Os parâmetros em si são bits dos quais 4 estão à disposição de cada módulo e que são colocados em 0 ou 1. Eles são transmitidos aos escravos ao ligar o sistema.

Assim que o sistema AS-Interface estiver completo, isto é, todos os componentes estiverem montados, os escravos endereçados e eventualmente parametrizados e o comissionamento encerrado, pode-se dar a partida ("start up"): o sistema é transferido para o funcionamento normal e o mestre trabalha no modo protegido.

Somente são ativados os escravos que foram configurados. Escravos não configurados, por exemplo, aqueles que foram instalados adicionalmente, provocam somente um aviso de falha. Para recebê-los e incluí-los no sistema de comunicação, tem-se somente que trocar para o modo de configuração. E lá, a função "configuração de escravos" executa de forma simples a recepção dos "novos" escravos.

Tanto no "start up" quanto durante o funcionamento normal, o sistema é controlado ininterruptamente. Os dados necessários para isso como por exemplo, tensão, modo, configuração errônea, etc. são disponibilizados ao comando superior pelo mestre da AS-Interface,

# CST

## Arcelor Brasil

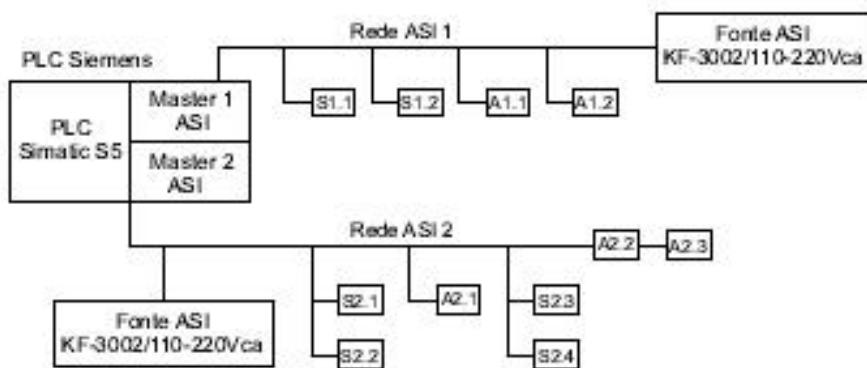
por exemplo, em forma de um diagnóstico.

### 4.20.3.11 Integração

- **PLC Siemens:**

Deve-se utilizar o cartão Master AS-Interface da série Simatic S5 e uma fonte de alimentação AS-Interface.

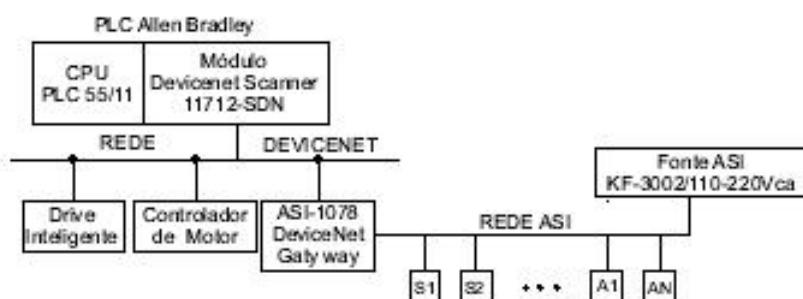
Cada cartão master permite a implementação de uma rede AS-Interface com 31 participantes, em aplicações maiores deve-se utilizar mais cartões master.



**Fig.4.45.**  
Integração PLC Siemens.

- **PLC Allen Bradley:**

A forma de conexão da rede AS-Interface no PLC Allen Bradley utiliza um gateway ASI-1078 que converte os sinais da rede AS-Interface para a rede DeviceNet que deve ser conectada a um cartão scanner.

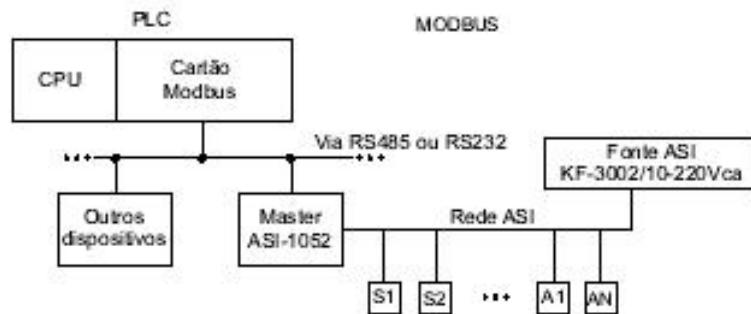


**Fig.4.46.**  
Integração PLC Allen Bradley.

- **Outros PLCs:**

Para outros controladores pode-se implementar a rede AS-Interface nos casos em que existem

uma porta serial RS232C (ou RS485) com comunicação Modbus, onde deve-se utilizar o controlador ASI-1052.



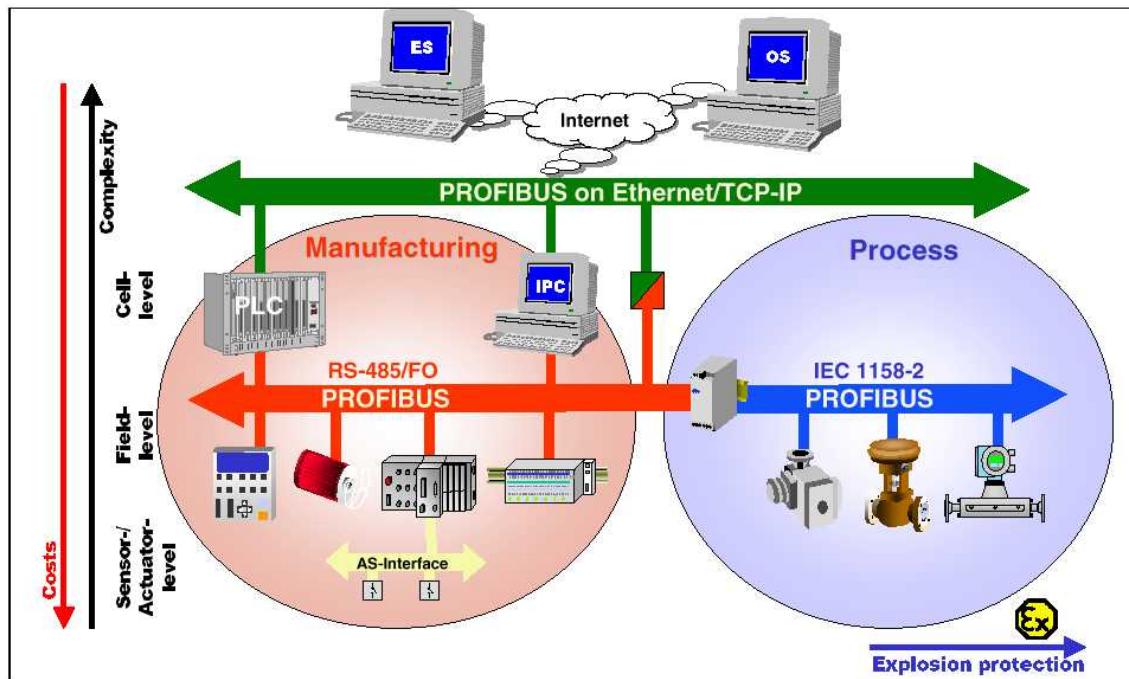
**Fig.4.47.**  
**Integração Diversa.**

#### 4.21 Rede PROFIBUS

##### 4.21.1 Tecnologia Profibus

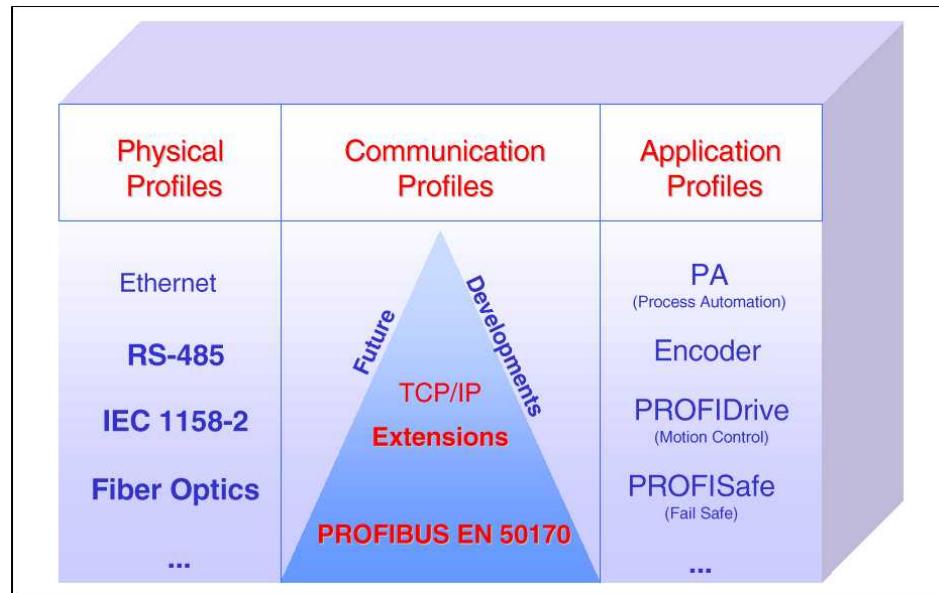
A comunicação está crescentemente a tornar-se direta e horizontal a nível de campo, e vertical

por todos os níveis hierárquicos. Dependendo da aplicação e do seu custo, os sistemas como a Ethernet, PROFIBUS e o AS-Interface, suportam a comunicação industrial e oferecem as condições ideais para a existência de uma rede transparente em todas as áreas do processo de produção.



**Fig.4.48.**  
**Comunicação Industrial.**

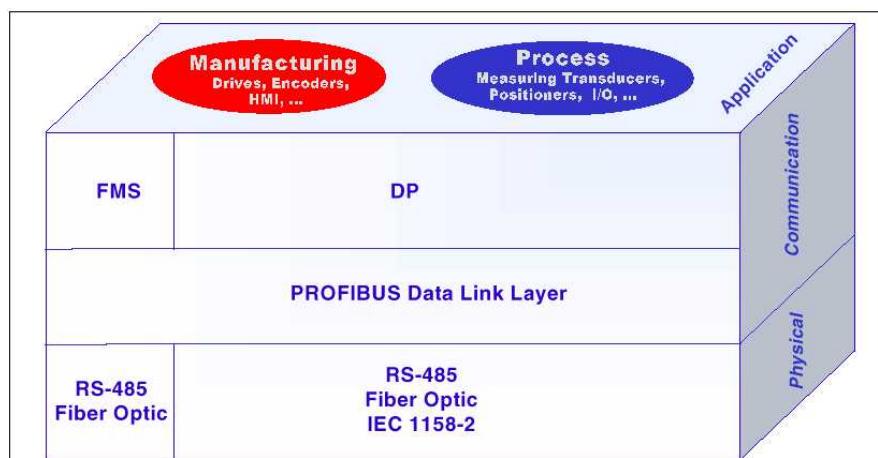
O PROFIBUS é uma rede de campo aberta, independentemente dos fabricantes, ao alcance de uma larga variedade de aplicações de manufatura e processos de automação. A sua independência relativa a fabricantes e a garantia de ser uma rede aberta é assegurada pelas normas internacionais EN 50170 e EN 50254.



**Fig.4.49.**  
**PROFIBUS e Ethernet.**

O PROFIBUS permite a comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes, sem qualquer ajustamento especial. Pode ser usado em aplicações de tempo real que requerem alta velocidade e em tarefas de comunicação complexas.

Oferece protocolos funcionais de comunicação (**Perfis de Comunicação**): **DP** e **FMS**. Dependendo da aplicação, encontram-se disponíveis as tecnologias de transmissão (**Perfis Físicos**): **RS-485**, **IEC 1158-2** ou **fibras ópticas**.



**Fig.4.50.**  
**Tecnologia Profibus.**

Com o intuito de continuar o seu desenvolvimento técnico, existe uma organização dos utilizadores do PROFIBUS que está constantemente a trabalhar na implementação de conceitos universais para a integração vertical com base no TCP/IP.

# CST

## Arcelor Brasil

Os **perfis de aplicação** definem as opções de protocolo e a tecnologia de transmissão requeridas individualmente aos diferentes tipos de dispositivo. Estes perfis definem também um comportamento dos dispositivos, independente dos fabricantes.

### 4.21.2 Perfis de Comunicação

Os perfis de comunicação PROFIBUS definem como os utilizadores transmitem em série os dados através do meio físico comum.

- **Perfil DP**

O perfil DP é o perfil de comunicação mais usado frequentemente. Está otimizado para velocidade, eficiência e custos baixos de ligação e está projetado para comunicações entre sistemas de automação e periféricos distribuídos. O perfil DP é indicado tanto para a substituição convencional da transmissão paralela de sinal de 24 volts, utilizado na automação industrial, como para a transmissão analógica de 4...20 mA no processo automatizado.

- **Perfil FMS**

Este é o perfil de comunicação universal para tarefas de comunicação exigentes. O **FMS** oferece vários tipos avançados de funções de aplicação para a comunicação entre dispositivos inteligentes. Porém, como resultado do desenvolvimento técnico do PROFIBUS e o uso do TCP/IP em nível de cela, o **FMS** representa um papel crescentemente menos significativo.

### 4.21.3 Perfis Físicos

A área de aplicação de um sistema de rede de campo é em grande parte determinado pela escolha da tecnologia de transmissão. Tal como as exigências efetuadas nos sistemas de comunicação (como a confiabilidade de transmissão, grandes distâncias e alta velocidade de transmissão), devem ser também satisfeitas as exigências dos processos automatizados (como a operação em áreas perigosas, e a transmissão de dados e energia num cabo comum).

Uma vez que ainda não é possível satisfazer todas as exigências com uma única tecnologia de transmissão, há atualmente três métodos de transmissão (*Perfis Físicos*) disponíveis pelo PROFIBUS:

- Transmissão RS-485 para aplicações universais na automação industrial.
- Transmissão IEC 1158-2 para uso em processos automatizados.
- Fibras Ópticas para imunidade melhorada contra interferências e distâncias elevadas de rede.

Utilizam-se componentes comerciais Ethernet de 10 Mbit/s e 100 Mbit/s na camada física do PROFIBUS.

Acopladores e/ou conectores encontram-se disponíveis para a transição entre várias tecnologias de transmissão. Enquanto os acopladores implementam de uma forma transparente o protocolo tendo em conta as circunstâncias físicas, os conectores são intrinsecamente inteligentes e oferecem extensas opções para a configuração da rede PROFIBUS.

### 4.21.4 Perfis de Aplicação

Os perfis de aplicação PROFIBUS descrevem a interação do protocolo de comunicações com a tecnologia de transmissão utilizada. Estes definem também o comportamento dos dispositivos de campo durante a comunicação via PROFIBUS. O perfil de aplicação PROFIBUS mais importante é atualmente o perfil **PA** que define os parâmetros e os blocos funcionais dos dispositivos de automação tais como transdutores, válvulas e posicionadores. Perfis adicionais para "drivers" de

variação de velocidade, Interfaces Homem-Máquina (HMI) e "encoders" definem a comunicação independentemente dos fabricantes e o comportamento dos respectivos tipos de dispositivo.

#### 4.21.5 Características básicas

O PROFIBUS define as características técnicas de um sistema de rede de campo com as quais cada um dos controladores programáveis distribuídos podem ser ligados, desde o nível de campo até ao nível de célula. O PROFIBUS é um sistema com múltiplos mestres, permitindo a operação comum de vários sistemas de automação, engenharia ou visualização, com periféricos distribuídos numa rede. No PROFIBUS distinguem-se os seguintes tipos de dispositivo:

- **Dispositivos Mestre** - determinam a comunicação de dados na rede. Um mestre pode enviar mensagens sem um pedido externo quando tem o direito de acesso à rede ("token"). Assim, designa-se de mestre uma estação ativa.
- **Dispositivos Escravo** - são periféricos (dispositivos de I/O, válvulas, "drivers" e transdutores). Não têm direitos de acesso à rede e só podem receber mensagens conhecidas, ou enviar mensagens para o mestre quando solicitados para esse fim. Designam-se escravos as estações passivas. Uma vez que apenas requerem uma pequena parte do protocolo da rede, a sua implementação é particularmente econômica.

#### 4.21.6 Arquitetura do Protocolo PROFIBUS

O PROFIBUS é baseado em normas internacionalmente reconhecidas. A arquitetura do protocolo é orientada pelo modelo de referência OSI ("Open System Interconnection") em conformidade com a norma internacional ISO 7498. Neste modelo, todas as camadas geram tarefas de transmissão perfeitamente definidas. A **Camada 1** (física) define as características físicas da transmissão. A **Camada 2** (ligação de dados) define o protocolo de acesso à rede. A **Camada 7** (aplicação) define as funções da aplicação. A Fig.4.51 representa a arquitetura do protocolo PROFIBUS.

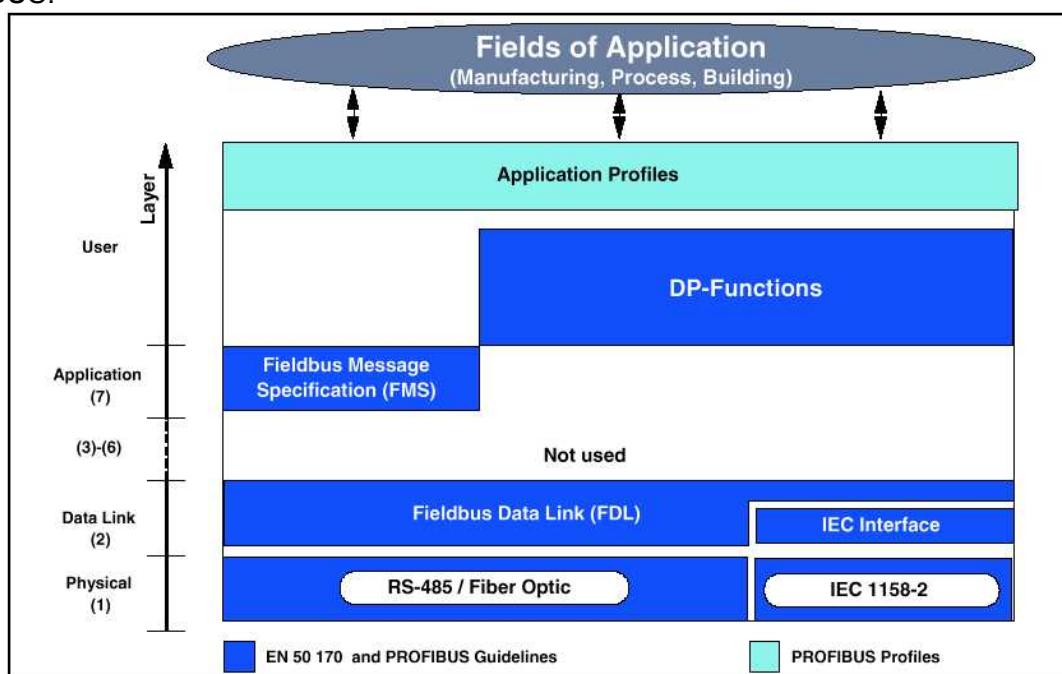


Fig.4.51.

### Arquitetura do Protocolo PROFIBUS.

O **perfil DP** é um protocolo eficiente de comunicações que usa as camadas 1 e 2, e uma interface de utilizador. As Camadas 3 a 7 não são utilizadas. Este tipo de arquitetura assegura a transmissão rápida e eficiente de dados. O "Direct Data Link Mapper" (DDLM) fornece a ao utilizador a interface de fácil acesso à camada 2. Tanto as funções de aplicação disponíveis ao utilizador, como o comportamento do sistema e dos vários tipos de dispositivo DP, são especificados na interface de utilizador.

No **perfil FMS** (protocolo universal de comunicações), é dada uma particular importância às camadas 1, 2 e 7. A camada de aplicação (7) consiste na especificação das mensagens da rede (*Fieldbus Message Specification - FMS*) e da interface de camada mais baixa (**Lower Layer Interface - LLI**). O FMS define um grande número de serviços de comunicação mestre-mestre e comunicação mestre-escravo. O LLI define a representação do serviço FMS no protocolo de transmissão de dados da camada 2.

#### 4.21.7 Tecnologia de transmissão RS-485

O RS-485 é tecnologia de transmissão mais frequentemente utilizada pelo PROFIBUS. A área de aplicação inclui todas as áreas nas quais alta velocidade de transmissão, instalação simples e barata, são pré-requisitos. É utilizado um cabo blindado de pares entrançados de condutores.

A tecnologia de transmissão RS-485 é fácil de utilizar. A instalação do cabo de pares entrançados não requer conhecimentos profundos. A estrutura de rede permite adicionar e remover estações sem influir nas outras existentes. Expansões posteriores não têm efeito nas estações que se encontram em funcionamento.

Estão disponíveis velocidades de transmissão entre 9.6 kbit/sec e 12 Mbit/sec, sendo uma única velocidade de transmissão selecionada para todos os dispositivos na rede quando o sistema é configurado.

- **Instruções de instalação para RS 485**

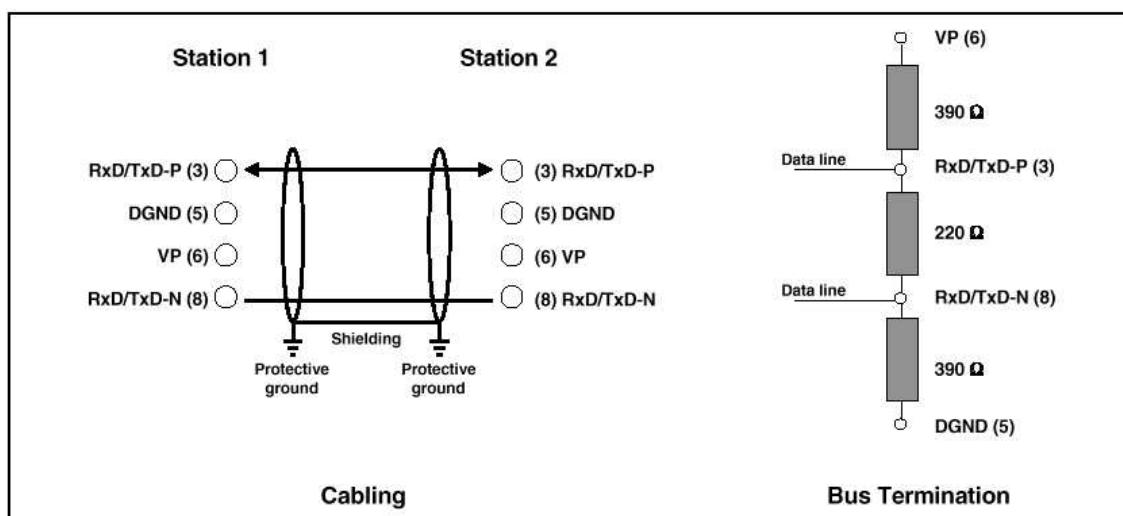
Todos os dispositivos são ligados numa estrutura de rede (por exemplo linha). Podem ser ligados num único segmento até 32 estações (mestre ou escravos).

**Tabela 4.13. Características básicas da tecnologia RS-485.**

<b>Meio Físico</b>	Par trançado blindado
<b>Número de estações</b>	32 estações em cada elemento sem repetidor. Com repetidores pode-se estender até 126
<b>Conectores</b>	Preferencialmente conectores 9 pinos tipo D para IP 20, M12, HAN-BRID ou conectores híbridos da Siemens para IP65/67

A rede é terminada por um **terminador de rede ativo** no início e no fim de cada segmento (ver

Fig.4.52). Para assegurar operação sem ocorrência de erros, ambos os terminadores de rede devem sempre ser alimentados. O terminador de rede pode ser normalmente comutado nos dispositivos ou nos conectores terminais da rede. No caso de mais de 32 utilizadores, ou aumentar a área da rede, repetidores (amplificadores de linha) devem ser usados para unir os segmentos individuais de rede. O comprimento máximo do cabo depende da velocidade de transmissão (ver Tabela 7.2).



**Fig.4.52.**  
Cabeamento e terminação da rede para a transmissão Profibus RS-485.

**Tabela 4.14. Velocidade de Transmissão para um cabo Tipo A.**

<b>Taxa de bauds (kbit/s)</b>	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500	12000
<b>Gama/segmento (m)</b>	1200	1200	1200	1000	400	200	100

As especificações do comprimento do cabo da Tabela 2 são baseadas no cabo do tipo A, com os seguintes parâmetros:

- Impedância de : 135 a 165 W
- Capacitância de : <30 pf/m
- Resistência em malha fechada: 110 W/km
- Largura do condutor: 0.64 mm
- Seção do condutor >0.34 mm<sup>2</sup>

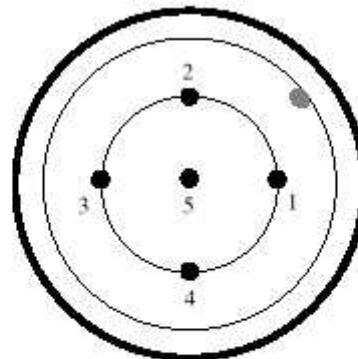
Para o grau de proteção IP20, é preferencial a utilização de um conector Tipo D de 9 pinos nas redes PROFIBUS que usam a tecnologia de transmissão RS-485. As especificações dos pinos do conector são mostrados na Fig.4.53. Existem possíveis três alternativas de ligação para a transmissão RS-485 com o grau de proteção IP65/67:

- M12 conector circular de acordo com IEC 947-5-2

# CST

## Arcelor Brasil

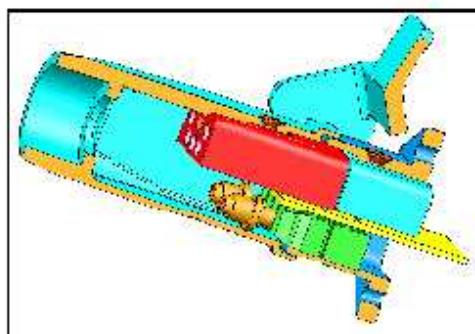
- conector de HAN-BRID de acordo com recomendações DESINA
- conector híbrido Siemens



**M12 Connector for RS-485 in IP65/67**

Pin assignment: 1: VP, 2: RxD/TxD-N  
3: DGND; 4: RxD/TxD-P; 5: Shield

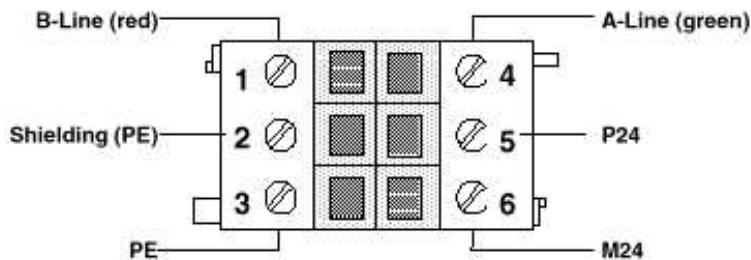
(a)



**Han-Brid Connector in Cu-Fo Version**

for transmission of data via the fibers and 24 volt power supply for the peripherals in a single connector. This connector is also available in Cu/Cu version.

(b)



**Siemens-Hybrid-Connector** for transmission of both 24 volt power supply and PROFIBUS data via copper wires for devices with IP 65 protection.

(c)  
**Fig.4.53.**  
**Opções de Ligação.**

O sistema conector HAN-Brid oferece a variante de transmitir dados por fibra óptica ou por cabo de cobre em cabo híbrido comum alimentado a 24 V.

Os Cabos para o PROFIBUS são fornecidos por vários fabricantes. Uma característica particular é o sistema de rápida conexão que, graças a um cabo especial, permite rapidamente, e de uma forma fidedigna, uma instalação elétrica extremamente simples.

Quando as estações são ligadas, deve-se ter a certeza de que as linhas de dados não estão invertidas. É essencial a utilização de linhas de dados blindadas para se conseguir um sistema imune a altas emissões eletromagnéticas. A proteção deve ser ligada a "massas de proteção" em ambas as extremidades e com boa condutividade utilizando braçadeiras de proteção. Adicionalmente, recomenda-se que as linhas de dados sejam mantidas separadas de todos os cabos de tensão. Estão disponíveis comercialmente conectores que permitem que os cabos de entrada e os cabos de saída de dados sejam ligados diretamente ao conector. Isto significa que o conector de rede pode ser ligado ou desligado sempre que necessário da rede, sem interromper a comunicação de dados.

#### 4.21.8 Tecnologia de Transmissão IEC 1158-2

Utiliza-se nos processos de automação de transmissões síncronas a uma taxa 31.25 Kbit/s, conforme o especificado pela IEC 1158-2. Satisfaz as exigências importantes das indústrias químicas e petroquímicas: segurança intrínseca e alimentação sob a linha de rede, fazendo uso da tecnologia de dois condutores. Assim, o PROFIBUS pode ser usado em áreas bastante perigosas. As opções e os limites da utilização do PROFIBUS com a tecnologia de transmissão IEC 1158-2, no que diz respeito à utilização em potenciais áreas explosivas, são definidas pelo modelo FISCO ("Fieldbus Intrinsically Safe Concept"). O Modelo FISCO foi desenvolvido na Alemanha pelo "Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB)" (Instituto Federal Técnico Físico) e é hoje internacionalmente reconhecido como o modelo básico para redes de campo em áreas perigosas. A transmissão de acordo com a IEC 1158-2 e o modelo FISCO baseia-se nos

seguintes princípios:

- Cada segmento só pode ter uma fonte de alimentação - a unidade de alimentação;
- Nenhuma alimentação é fornecida às linhas de rede quando uma estação está a enviar dados;
- Todos os dispositivos de campo consomem uma corrente constante quando em estado fixo de espera;
- Os dispositivos de campo funcionam com uma corrente passiva;
- A terminação passiva de linha é implementada em ambas as extremidades da linha de rede principal;
- São permitidas topologias de rede em árvore, linha ou em estrela.

Em estado fixo, cada estação consome uma corrente básica de pelo menos 10 mA. A alimentação da rede serve para fornecer energia a um dispositivo de campo.

Os sinais de comunicação são gerados através de modulação de  $\pm 9$  mA da corrente básica pelo dispositivo emissor.

Para que uma rede PROFIBUS possa operar em áreas perigosas é necessário que todos os componentes nela inseridos respeitem a norma IEC 1158-2 e sejam certificados, de acordo com o modelo FISCO, por agências de aprovação autorizadas como PTB, BVS (Alemanha), UL, FM (EUA).

#### **4.21.9 Instruções de instalação para IEC-1158**

A estação controladora contém não só o sistema de controle do processo, como também dispositivos de engenharia e dispositivos ativos que comunicam entre si com o protocolo PROFIBUS através da tecnologia de transmissão RS-485. No campo, um segmento acoplador, ou um conector, formam a transição de um segmento RS-485 para um segmento IEC 1158-2. Ao mesmo tempo, acopladores, ou conectores, formam uma unidade de alimentação aos dispositivos ligados em rede.

Os *Acopladores de segmento* são conversores de sinal que adaptam os sinais RS-485 em sinais IEC 1158-2. Do ponto de vista do protocolo da rede, eles são transparentes. Se são usados acopladores de segmento, a taxa de velocidade no RS-485 é restringida a um máximo de 93.75 Kbit/s.

Os *Conectores*, por outro lado, possuem a sua própria inteligência. Eles representam todos os dispositivos de campo ligados no segmento IEC 1158-2, sendo um único dispositivo escravo no segmento RS-485.

É possível utilizar o PROFIBUS com transmissões IEC 1158-2 em topologias de rede em Árvore ou Linha, assim como qualquer combinação dos dois, (ver Fig.4.54).

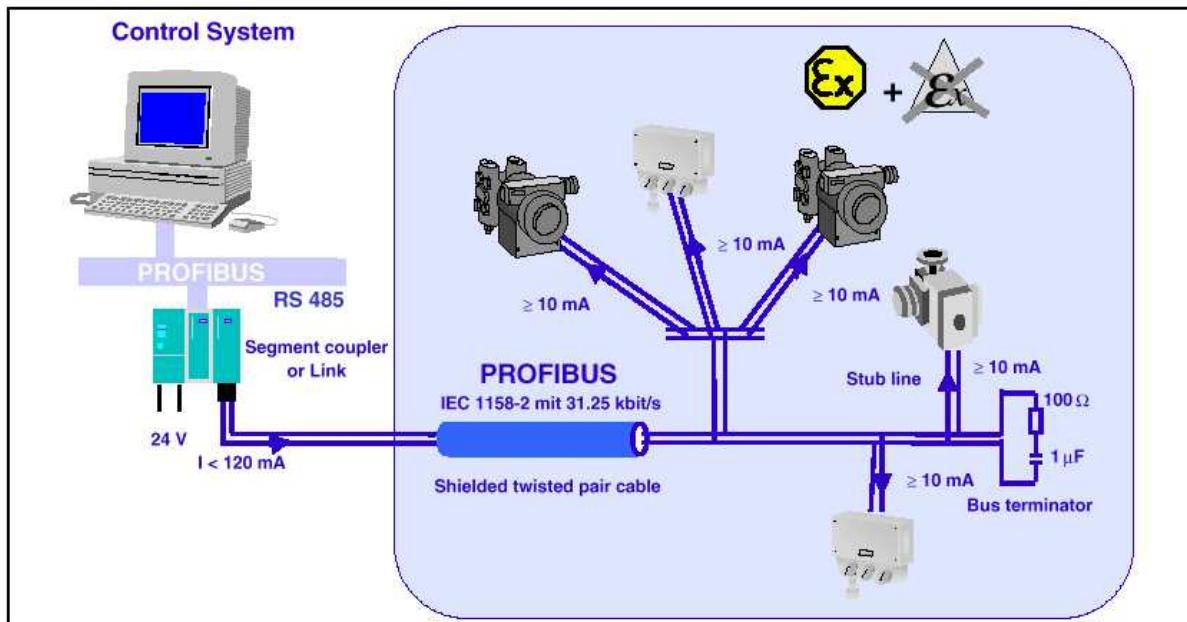
Numa estrutura em linha, as estações são ligadas ao cabo principal por conectores do tipo T (**T-connectors**). Uma estrutura em árvore pode ser comparada com a técnica clássica de instalação. O cabo múltiplo de um dispositivo mestre é substituído por um cabo de rede de dois condutores.

Quando é usada uma estrutura em árvore, todos os dispositivos ligados ao segmento da rede de campo são ligados em paralelo.

De qualquer forma, deve-se levar em consideração o máximo comprimento permitível dos segmentos no cálculo do comprimento total da linha. Um segmento de linha não pode ultrapassar os 30m para aplicações intrinsecamente seguras.

Um cabo blindado de pares de condutores entrançados é usado como o meio de transmissão (ver Fig.4.54). O cabo principal de rede possui em ambas as extremidades um terminador de linha passivo, constituído por um elemento RC ligado em série (com  $R = 100\Omega$  e  $C = 1 \mu F$ ). No segmento conector o terminador de rede já se encontra permanentemente integrado.

O número de estações que podem ser ligadas num segmento é limitado a um máximo de 32. Como sempre, este número pode ser restringido pela seleção do tipo de proteção e da alimentação da linha. Em redes intrinsecamente seguras, o nível de tensão máxima, assim como a corrente máxima fornecida são definidos dentro de limites rígidos. Até mesmo quando não é requerida segurança intrínseca, a tensão fornecida por uma fonte de alimentação é limitada.



**Fig.4.54.**  
**Alimentação dos dispositivos de campo através do Profibus e da tecnologia de transmissão IEC 1158-2.**

- Transmissão em Fibra Óptica

Podem ser também usadas às fibras ópticas numa rede PROFIBUS em aplicações integradas em ambientes sujeitos a muitas interferências eletromagnéticas, para isolamento elétrico, para aumentar a distância da rede ou aumentar as velocidades de transmissão. Estão disponíveis vários tipos de fibras, com características diferentes no que respeita as distâncias, o custo e a aplicação.

Os segmentos de rede PROFIBUS que usam a tecnologia da fibra óptica são projetados para ser usados em estruturas em anel ou estrela.

Alguns componentes fabricados para redes PROFIBUS em fibra óptica, permitem a criação de ligações redundantes, através de conectores ópticos com "switchover" automático para a transmissão física alternativa em caso de falha.

Existem muitos fabricantes que oferecem conectores entre segmentos com tecnologia RS-485 e segmentos com tecnologia da fibra óptica. Assim possui-se a possibilidade de comutar em determinado instante entre um e outro tipo de tecnologia.

#### 4.21.10 Protocolo PROFIBUS para o acesso ao meio

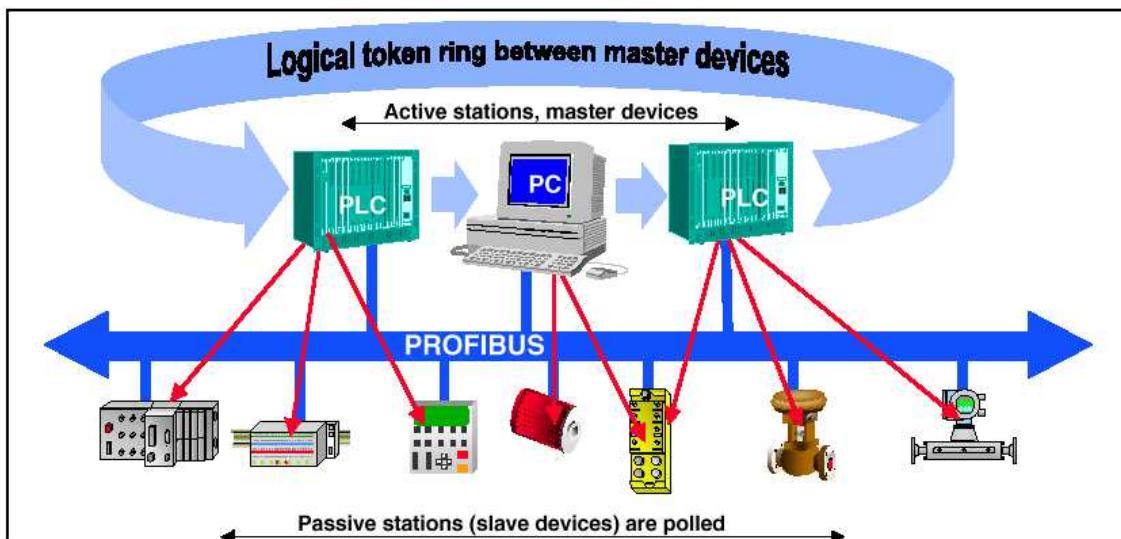
Os perfis de comunicação PROFIBUS utilizam um protocolo uniforme de acesso ao meio. Esse protocolo é implementado pela camada 2 do modelo de referência OSI, que inclui também a

segurança dos dados e a gestão dos protocolos de transmissão dos telegramas. No PROFIBUS a camada 2 é chamada de "**Fieldbus Data Link (FDL)**".

O controle do acesso ao meio (Médium Access Control - **MAC**) especifica procedimento de acesso quando uma estação tem a permissão para transmitir dados. O MAC tem que assegurar que apenas uma estação tem o direito para transmitir dados. O protocolo PROFIBUS foi projetado para responder a duas exigências primárias para o controle de Acesso ao Meio:

- Durante a comunicação entre complexos sistemas de automação (os mestres), deve ser assegurado que cada uma destas estações adquire tempo suficiente para executar as suas tarefas de comunicação dentro um intervalo de tempo perfeitamente definido;
- Por outro lado, para a comunicação entre controladores programáveis complexos e os periféricos simples a eles ligados (os escravos), deve ser implementada a transmissão cíclica dos dados, em tempo real e o mais simples possível.

Então, o protocolo PROFIBUS de acesso ao meio (ver Fig.4.55) inclui um procedimento de passagem de "**Token**", que é usado pelas estações mais complexas(masters) para comunicar com os periféricos mais simples (escravos).



**Fig.4.55.**  
**Configuração PROFIBUS com três estações ativas (masters) e sete estações passivas (slaves).**

O **procedimento da passagem de "token"** assegura que o direito de acesso à rede (o token) é atribuído a cada master dentro de um tempo de trama previamente definido. A mensagem de token é um telegrama especial utilizado para passar o token de um mestre para outro próximo. Esta passagem de token deve ser feita uma vez por um anel lógico pelos mestres dentro de um tempo (configurável) de rotação de passagem de token. No PROFIBUS o procedimento de passagem do token é usado apenas para a comunicação entre estações complexas (os mestres). O **procedimento mestre-escravo** permite a um mestre (a estação ativa que possua obviamente nesse instante o token) o acesso aos escravos (estações passivas) a ele atribuídos. Este método de acesso permite a implantação das seguintes configurações de sistema:

- Sistema mestre-escravo
- Sistema mestre-mestre (passagem de token)

- Combinação dos dois

A existência de um "**token ring**" significa a organização das estações ativas que formam um anel lógico entre os seus endereços físicos. Neste anel, o token (direito de acesso) é passado de um master para outro seguinte de uma forma previamente definida. Quando uma estação ativa recebe o telegrama de token, ela pode exercer o seu papel de mestre durante um certo período de tempo e comunicar com todas as estações escravo através de uma relação de comunicação mestre-escravo, ou com todas as estações mestre numa relação de comunicação mestre-mestre.

A tarefa do controlador de acesso ao meio (MAC) de uma estação ativa é a de descobrir esta atribuição lógica numa fase de inicial de arranque do sistema de rede e o estabelecimento do anel (token-ring).

Enquanto em funcionamento, podem ser adicionadas mais estações ativas ao anel.

Adicionalmente, o controle de acesso à rede deve assegurar que o token é passado de um mestre para outro por uma forma de ordem de endereços crescentes de estações.

O tempo de posse de token que uma estação master possui depende do tempo configurado para a rotação do token. Mais, a detecção de defeitos no meio de transmissão, na linha de rede e erros nas estações receptoras (por exemplo, múltiplos endereços atribuídos) ou ainda no próprio token, são características que o controle de acesso ao meio deve possuir.

A camada 2 do PROFIBUS funciona num modo "**connectionless**". Além da ligação lógica ponto-a-ponto, fornece comunicações multiponto (*broadcast* e *multicast*).

A **Comunicação Broadcast** significa que uma estação ativa envia uma mensagem (não confirmada) a todas outras estações (master e slaves).

A **Comunicação Multicast** significa que uma estação ativa envia uma mensagem (não confirmada) a um grupo de estações pré-definido.

Cada um dos Perfis de Comunicação PROFIBUS usa um subconjunto específico de serviços da camada 2 (ver Tabela 7.3). Esses serviços são chamados pela camada de ordem mais elevada através de pontos de acesso de serviço (**SAPs**).

**Tabela 4.15. Serviços da Camada 2 do Profibus.**

<b>Serviço</b>	<b>Função</b>	<b>DP</b>	<b>FMS</b>
SDA	Send Data With Acknowledge		X
SRD	Send and Request Data With Reply	X	X
SDN	Send Data With No Acknowledge	X	X
CSRD	Cyclic Send And Request Data With Reply		X

No perfil **FMS** estes pontos de acesso são usados para endereçar relações lógicas de

comunicação.

No **perfil DP** é atribuída uma função previamente definida para cada ponto de acesso de serviço. Podem ainda serem utilizados simultaneamente, por parte das estações ativas e das estações passivas, alguns pontos de acesso de serviço.

#### **4.21.11 Perfil de comunicação DP**

O Perfil de Comunicação DP é projetado para a troca eficiente de dados ao nível de campo. Os dispositivos centrais (tais como PLC/PCs ou sistemas de controle de processo) comunicam entre os dispositivos de campo distribuídos (tais como drivers, válvulas, I/O, ou transdutores de medida) através de uma ligação série. A troca de dados entre os dispositivos de campo é principalmente cíclica.

#### **4.21.12 Funções básicas**

O controlador central (mestre) lê ciclicamente as entradas de informação dos escravos e escreve neles a informação de saída. O tempo de ciclo da rede deve ser menor que o tempo de ciclo de programa do sistema de automação central, que para muitas aplicações é aproximadamente de 10 ms. Adicionalmente, para a transmissão cíclica de dados definidos pelo utilizador, o DP disponibiliza funções para diagnóstico. A comunicação de dados é vigiada por funções de monitoração em ambas as partes (mestre e escravo).

**Tabela 4.16. Resumo das Funções Básicas DP.**

# CST

## Arcelor Brasil

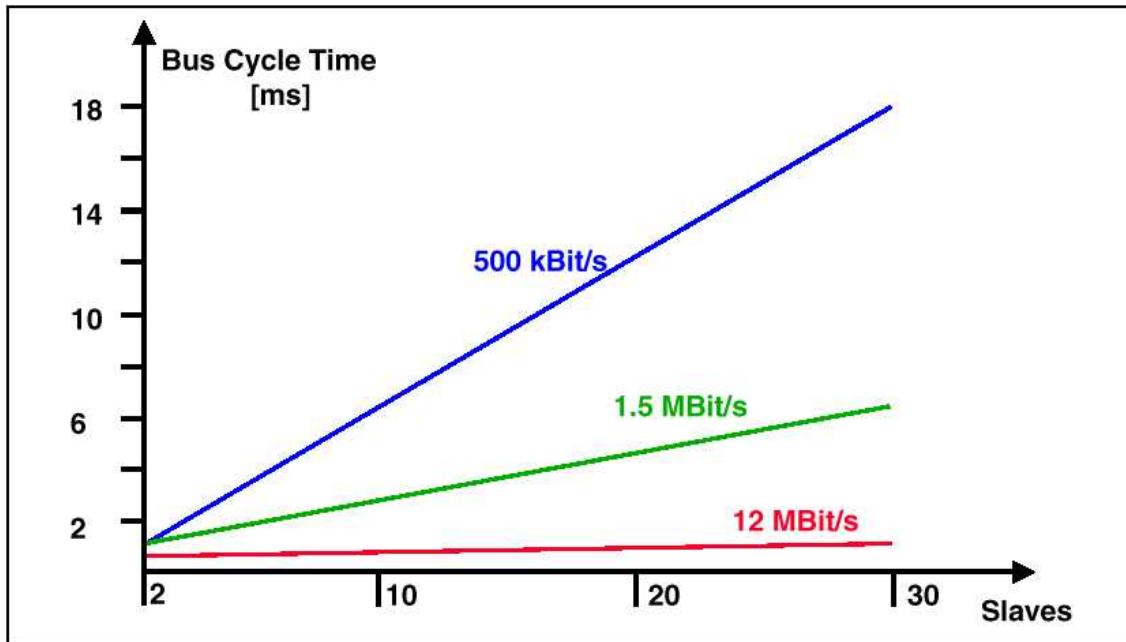
<b>Acesso à rede:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Procedimento de passagem de token entre os mestres e procedimento mestre-escravo entre mestres e escravos</li><li>Possibilidade de sistemas multi-mestre</li><li>Dispositivos Master e Slave, max. 126 estações em rede</li></ul>
<b>Comunicação:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Peer-to-peer (comunicação de dados de utilizador) ou multicast (comandos de controle)</li><li>Comunicação mestre-escravo cíclica de dados de utilizador</li></ul>
<b>Estados de operação:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Operate: Transmissão cíclica de dados de E/S</li><li>Clear: As entradas são lidas, as saídas permanecem num estado seguro</li><li>Stop: Diagnóstico e parametrização, nenhuma transmissão de dados de utilizador</li></ul>
<b>Sincronização:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Os comandos de controlo permitem a sincronização das entradas e das saídas</li><li>modo de Sync: Entradas são sincronizadas</li></ul>
<b>Funções:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>transferência cíclica de que dados de utilizador entre master e slave(s) DP</li><li>activação Dinâmica ou desactivação de slaves individuais</li><li>verificação da configuração dos slaves</li><li>funções poderosas de diagnóstico, 3 níveis hierárquicos de mensagens de diagnóstico</li><li>Sincronização das entradas e/ou saídas</li><li>Possibilidade opcional de atribuição de endereços aos slaves pela rede</li><li>Possibilidade de um máximo de 244 bytes de dados de entrada e saída para cada escravo</li></ul>
<b>Funções de protecção:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Todas as mensagens são transmitidas a uma distância de hamming de HD=4</li><li>Controlo com Cão de Guarda (WatchDog) de um escravo DP que permite descobrir falhas no mestre a ele associado</li><li>Protecção no acesso a entradas e saídas de escravos</li><li>monitorização da comunicação de dados de utilizador com tempo ajustável no mestre</li></ul>
<b>Tipos de dispositivos:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Mestre DP Classe 2 (DPM2), por exemplo ferramentas de diagnóstico</li><li>Mestre DP Classe 1 (DPM1), por exemplo controladores programáveis centrais como PLC, PC....</li><li>Escravo DP, por exemplo dispositivos com entradas/saídas binárias ou analógicas, válvulas, drivers</li></ul>

### 4.21.13 Características básicas

Gestão simples, boas capacidades de diagnóstico e proteção contra interferências são algumas das características importantes a um utilizador PROFIBUS.

#### Velocidade:

O perfil DP requer aproximadamente 1 ms a uma velocidade de 12Mbit/s para enviar 512 bit de dados de I/O, distribuídos por 32 estações. A fig.4.56 mostra o tempo típico de transmissão, dependendo do número de estações existente e da velocidade. A transmissão de dados de I/O num único ciclo de mensagem com DP, resulta num aumento significativo de velocidade, comparado com o FMS. Com DP, os dados de utilizador são transmitidos com o serviço **SRD** da camada 2.



**Fig.4.56.**  
**Tempo de ciclo de rede com um sistema DP mono Master.**

#### 4.21.14 Funções de diagnóstico

As extensas funções de diagnóstico DP permitem a localização rápida de falhas. As mensagens de diagnóstico são transmitidas pela rede e apanhadas pelo master. Estas mensagens estão divididas em três grupos:

- **Estações relacionadas com diagnósticos**

Estas mensagens dizem respeito ao estado geral de operação de uma estação (isto é, sobre-aquecimento e tensões baixas).

- **Módulos relacionados com diagnósticos**

Estas mensagens indicam que, dentro uma certa gama de Entradas/Saídas (por exemplo um módulo de entradas de 8 bits) de uma estação, estão pendentes diagnósticos.

- **Canais relacionados com diagnósticos**

Neste caso, a causa da falha é especificada em relação a um bit de entrada/saída individual (canal) - por exemplo um pequeno curto circuito numa saída.

#### 4.21.15 Configuração do sistema e tipos de dispositivos

O perfil DP permite a utilização de sistemas mono-mestre ou multi-mestre. Isto permite um grande alto grau flexibilidade durante a configuração do sistema. Podem ser ligados a uma linha de rede

no máximo 126 dispositivos (mestre ou escravos). As especificações de configuração do sistema definem o número de estações, a atribuição dos endereços às entradas/saídas, a consistência de dados de I/O, o formato das mensagens de diagnóstico e os parâmetros de rede a utilizar. Cada sistema de DP consiste em diferentes tipos de dispositivos.

Faz-se uma distinção entre três tipos de dispositivos:

#### **Mestre DP Classe 1 (DPM1)**

Este é um controlador central que troca cicличamente informação com as estações distribuídas (escravos) num ciclo de mensagem definido. Os dispositivos típicos são por exemplo PLCs ou PCs.

#### **Mestre DP Classe 2 (DPM2)**

Os dispositivos deste tipo são dispositivos de engenharia, de configuração, ou de operação. São utilizados para a instalação, manutenção e diagnóstico, por forma a configurar os dispositivos ligados, avaliar valores e parâmetros de medida, e vigiar o estado dos dispositivos.

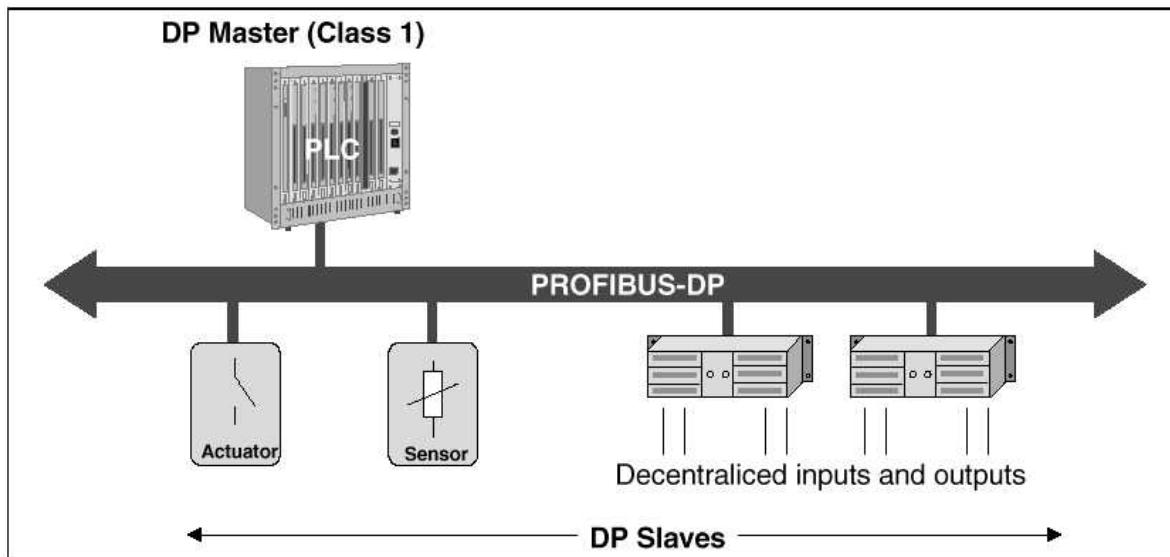
#### **Escravo**

Um escravo é um dispositivo periférico (dispositivos de I/O, drivers, IWH, válvulas, transdutores) que coleciona dados de input e envia dados de output. Existem ainda dispositivos que fornecem apenas dados de input ou de output.

A quantidade de dados de input e output depende do tipo de dispositivo. É permitido um máximo de 246 bytes de dados de input e um máximo de 246 bytes de dados de output.

Em **sistemas mono-mestre** só se encontra ativo durante o funcionamento da rede um mestre. A Fig.4.57 mostra a configuração de um sistema mono-mestre. O controlador programável é o componente de controle central. Os escravos estão ligados ao PLC por uma transmissão no meio físico de uma forma descentralizada. Os sistemas mono-mestre possuem um menor tempo de ciclo de rede.

Em **configurações multi-mestre** vários mestres estão ligados em rede. Estes mestres representam qualquer subsistema independente, cada um do qual consistindo de um mestre DPM1 e dos respectivos escravos associados ou, numa configuração adicional, de dispositivos de diagnóstico. As imagens das Entradas/Saídas dos escravos podem ser lidas por todos os mestres DP. No entanto, apenas um mestre DP (por exemplo o DPM1 atribuído durante a configuração) pode aceder e escrever nas entradas.



**Fig.4.57.**  
**Sistema DP mono master.**

#### 4.21.16 Comportamento do sistema

A especificação do perfil DP inclui uma descrição detalhada do comportamento do sistema para assegurar o relacionamento entre os dispositivos da rede.

O comportamento do sistema é primariamente determinado pelo estado operacional dos dispositivos DPM1. Estes dispositivos podem ser controlados, quer localmente, quer remotamente, de acordo com o seu tipo de configuração.

Existem três tipos principais de estado:

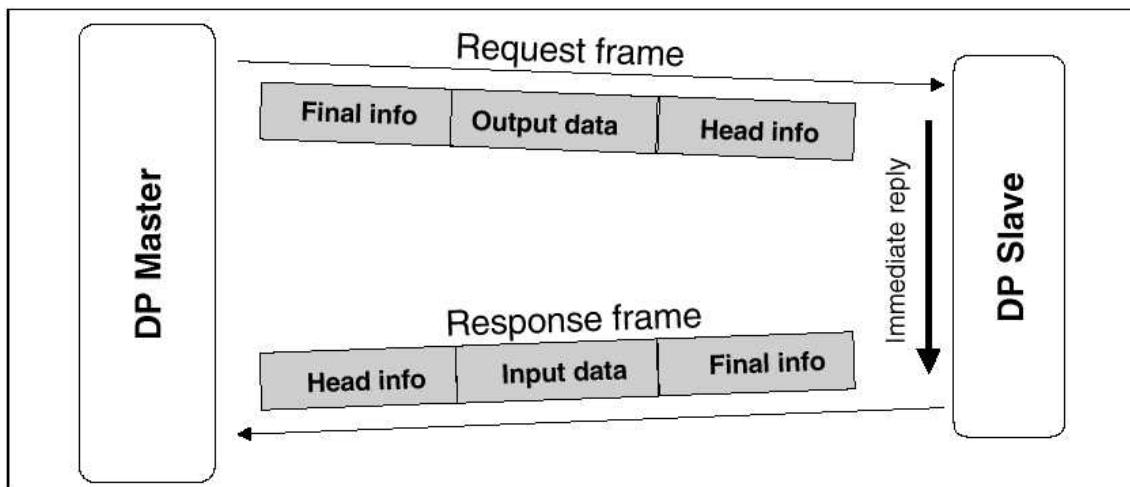
- **Stop** - Neste estado, não ocorre nenhuma transmissão de dados entre os dispositivos DPM1 e os dispositivos escravos.
- **Clear** - Neste estado, os dispositivos DPM1 lêem os dados de Input dos escravos e mantêm o estado das Saídas deles num estado seguro.
- **Operate** - Neste estado, os dispositivos DPM1 encontram-se na fase de transferência de dados. No ciclo da comunicação de dados, as entradas dos escravos são lidas, e as saídas escritas.

#### 4.21.17 Transmissão cíclica de dados entre os dispositivos dpm1 e os dispositivos escravos

A transmissão de dados entre os dispositivos DPM1 e os escravos a eles associados é executada

automaticamente pelos DPM1 numa ordem e forma periódica, anteriormente bem definida. Durante a configuração do sistema, o utilizador define quais os escravos que serão atribuídos a um dispositivo DPM1. O utilizador define também quais os escravos que serão incluídos, ou excluídos, da transmissão de dados cíclica definidos pelo mesmo.

A transmissão de dados entre dispositivos DPM1 e os escravos é dividida em três fases: **parametrização, configuração e transferência de dados**. Na fase de parametrização e na fase de configuração é verificada se a configuração desejada corresponde à configuração do dispositivo atual. No decurso desta configuração, o tipo de dispositivo, o formato e o comprimento da informação, assim como o número de entradas e de Saídas, têm que corresponder. Estes testes de verificação fornecem ao utilizador uma proteção fidedigna contra erros de parametrização. Adicionalmente à transferência de dados de utilizador que é efetuada pelos DPM1, podem ser enviados aos escravos novos parâmetros a pedido do utilizador.



**Fig.4.58.**  
**Ciclo de transmissão de dados de utilizador.**

#### 4.21.18 Modo sync e modo de congestionamento (freeze)

Além da transferência de dados de utilizador relacionados com as estações que é executada automaticamente pelos dispositivos DPM1, o dispositivo mestre pode enviar comandos de controle para um único escravo, um grupo de escravos, ou ainda simultaneamente a todos os escravos. Estes comandos de controle são transmitidos através de multicast que permitem a utilização de modos de **sync** e de modos de **congelamento** para sincronização dos escravos controlada por acontecimentos.

Os escravos entram no estado de sync quando recebem, por parte do seu mestre, um comando de sync. As saídas de todos os escravos endereçados entram, então, num estado de congelamento, mantendo assim o seu estado atual. Durante transmissões subsequentes de dados de utilizador, os dados de Output são armazenados nos escravos, mantendo-se estes, no entanto, inalterados. Os dados de Output armazenados só são enviados às respectivas saídas a quando da recepção de um próximo comando de sync. Um comando Sync conclui-se com um comando de **unsync**.

Analogamente, um comando de controle de congelamento – **"Freeze"** – obriga os

escravos endereçados a assumir o modo de congelamento. Neste modo de operação, os estados das entradas são congelados no seu valor atual, só sendo atualizado os seus dados de Input quando o mestre enviar um próximo comando de congelamento. O modo de congelamento conclui-se com um comando de **unfreeze**.

#### **4.21.19 Mecanismos de proteção**

A segurança e a confiabilidade conseguem-se por intermédio de funções efetivas de proteção do perfil DP contra erros de parametrização ou contra falhas no equipamento de transmissão. Para se conseguir isto, é implementado nos mestres e nos escravos DP um mecanismo de monitoração, sob a forma de tempo de monitoração. O intervalo de tempo para monitoração é definido durante a configuração do sistema.

##### **Nos mestres DP**

Os dispositivos DPM1 monitorizam com um temporizador (**Data\_Control\_Timer**) a transmissão de dados dos escravos. É utilizado para cada escravo um temporizador de controle. O tempo de monitoração é parado quando não ocorre dentro do intervalo de tempo de monitoração uma transmissão correta de dados. O utilizador é informado desta ocorrência. Se foi habilitada a detecção automática da ocorrência de erro (**Auto\_Clear = True**), o dispositivo DPM1 sai do seu estado de operação, comuta para um estado seguro todas as saídas dos escravos a ele associados, e põe-se no estado de operação CLEAR.

##### **Nos escravos**

O escravo usa o controle por "watchdog" para detectar falhas do mestre ou falhas nas linhas de transmissão de dados. Se não ocorrer dentro do intervalo de controle do "watchdog", nenhuma comunicação de dados com o mestre, o escravo comuta automaticamente as suas saídas para um estado seguro. Adicionalmente, é requerida a proteção de acesso para as entradas e saídas dos escravos que operam em sistemas multi\_mestre. Tal procedimento assegura que só os mestres autorizados têm acesso autorizado. Para os outros mestres, os escravos dão uma imagem das suas entradas e saídas, a qual pode ser lida por qualquer um deles, mesmo que não tenham direitos de acesso.

#### **4.21.20 Funções DP estendidas**

As funções DP estendidas possibilitam a transmissão acíclica de leituras e escritas, assim como alarmes entre mestres e escravos, independente do ciclo de comunicação cíclico de dados de utilizador. Tal permite a um utilizador usar uma ferramenta de engenharia (por exemplo DPM2), para ajustar os parâmetros dos dispositivos de campo ligados (escravos) ou ler os estados dos dispositivos sem perturbar o normal funcionamento do sistema. Com estas funções, um dispositivo DP preenche todos os requisitos de todos os complexos dispositivos que frequentemente têm de ser parametrizados. Atualmente, as funções DP estendidas são usadas principalmente para o funcionamento "*online*" dos dispositivos de campo e das ferramentas de engenharia. A transmissão acíclica de dados é executada, a uma velocidade elevada, com um nível de prioridade mais baixo em

paralelo com a transferência de dados cíclicos de utilizador. O mestre precisa de tempo adicional para concretizar os serviços de comunicação acíclicos. Isto deve ser levado em conta na parametrização global do sistema. Para se conseguir isto, a ferramenta de parametrização aumenta normalmente um pouco o tempo de circulação do "token" para dar ao master a possibilidade de transmitir não só dados cíclicos, como também efetuar as tarefas acíclicas de comunicação.

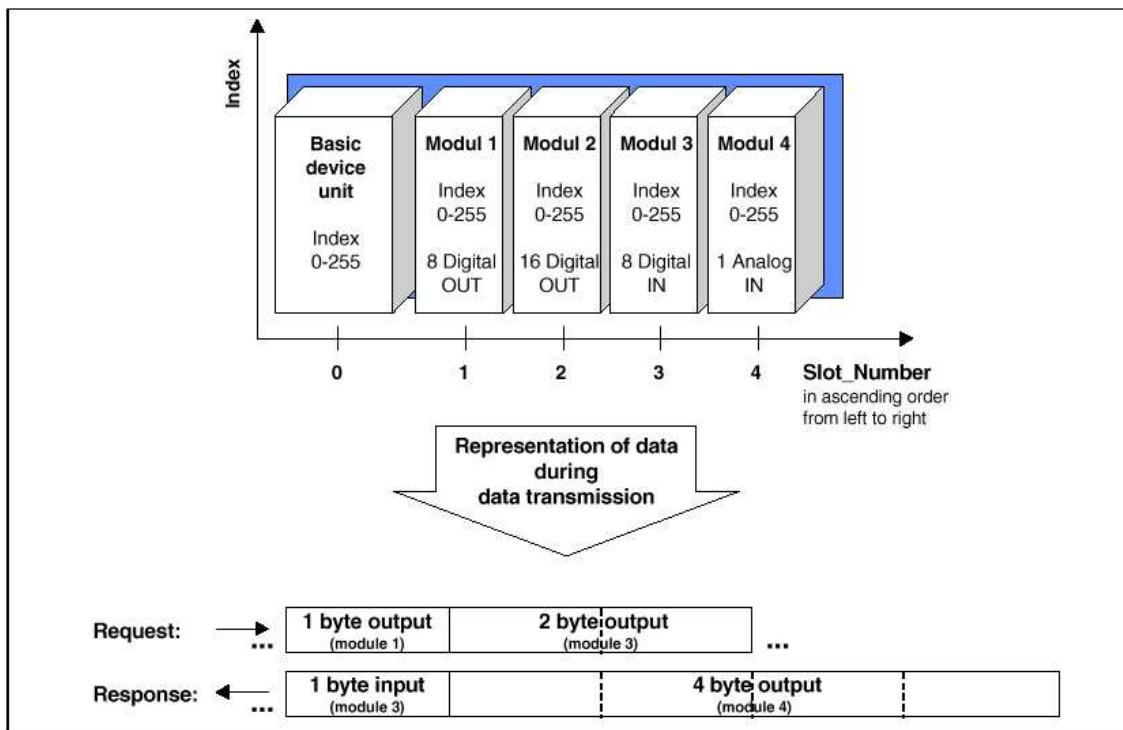
Estas funções estendidas são opcionais e compatíveis com as funções básicas DP. Os dispositivos existentes que não querem, ou não precisem de utilizar estas novas funções, podem continuar a ser utilizados uma vez que as funções estendidas são suplementares às funções básicas existentes.

#### **4.21.21 Endereçamento**

Para enviar os dados, o PROFIBUS assume que os escravos são constituídos como blocos físicos, ou podem ser estruturados interiormente em unidades de função lógicas (simplesmente denominados por módulos). Este modelo é também usado pelas funções básicas DP para a transmissão cíclica de dados, onde cada módulo possui um número constante de bytes de entradas e/ou de saídas que são transmitidos num telegrama fixo de dados de utilizador.

O procedimento de endereçamento (entrada, saída ou combinação de ambos). Todos os identificadores perfazem na sua totalidade a configuração de um escravo que é conferido por um dispositivo DPM1 quando o sistema inicia o seu funcionamento.

Os novos serviços acíclicos são também baseados neste modelo. Todos os blocos de dados habilitados para acessos de leitura ou escrita são também considerados como pertencentes aos módulos. Estes blocos podem ser endereçados através do número do "**Slot**" e de um índice. O número de slot endereça o módulo, e o índice envia blocos de dados pertencentes a um módulo. Cada bloco de dados pode possuir um tamanho de/até 244 bytes (ver Fig.4.59)



**Fig.4.59.**

**Endereçamento nos serviços DP acíclicos de leitura e escrita.**

Nos dispositivos modulares, o número de slot é atribuído, iniciando-se em 1, sendo numerado em ordem crescente. O **slot 0** é fornecido pelo próprio dispositivo.

Os dispositivos compactos são tratados como sendo uma unidade de módulos virtuais, utilizando-se neles o mesmo procedimento de endereçamento.

Com a especificação do comprimento dos dados de leitura ou escrita requeridos é possível ler ou escrever partes de um bloco de dados. Se o acesso ao bloco de dados for conseguido com êxito, o escravo responde com uma leitura positiva. Caso contrário, o escravo dá uma resposta negativa na qual classifica o problema.

#### 4.21.22 Transmissão acíclica de dados entre dispositivos DPM1 e dispositivos escravos

Encontram-se disponíveis as seguintes funções para comunicação acíclica de dados entre o sistemas de automação central (DPM1) e os escravos:

- **MSAC1\_Read:**

O mestre lê um bloco de dados do escravo

- **MSAC1\_Write:**

O mestre escreve um bloco de dados no escravo.

- **SAC1\_Alarm:**

Transmissão de um alarme do escravo para o mestre. A recepção de um alarme é

explicitamente conhecida pelo mestre. Só depois do reconhecimento da recepção do alarme, o escravo é capaz enviar uma nova mensagem de alarme. Isto significa que os alarmes nunca podem ser sobrepostos.

- **MSAC1\_Alarm\_Acknowledge:**

O mestre acusa a recepção de uma mensagem de alarme.

- **MSAC1\_Status:**

Transmissão de uma mensagem de estado do escravo para o mestre. A recepção da mensagem de estado não é confirmada, como tal, podem ser sobrepostas.

Os dados são transferidos por uma ligação orientada à conexão, através de uma ligação **MSAC1**. Esta ligação é estabelecida pelos dispositivos DPM1.

#### **4.21.23 Transmissão acíclica de dados entre dispositivos DPM2 e dispositivos escravos**

Encontram-se disponíveis as seguintes funções para comunicação acíclica de dados entre as ferramentas de engenharia (DPM2) e os escravos:

- **MSAC2\_Initiate e MSAC2\_Abort:**

Estabelecimento e terminação de uma ligação para comunicação acíclica de dados entre os dispositivos DPM2 e escravos.

- **MSAC2\_Read:**

O mestre lê do escravo um bloco de dados.

- **MSAC2\_Write:**

O mestre escreve no escravo um bloco de dados.

- **MSAC2\_Data\_Transport:**

Com este serviço, o mestre pode escrever aciclicamente dados nos escravos e, se preciso, ler também deles dados no mesmo ciclo de serviço. O significado dos dados são específicos da aplicação e definidos segundo perfis.

A comunicação é orientada à conexão e denominada de **MSAC\_C2**. A ligação é estabelecida pelos dispositivos DPM2 antes do início da comunicação acíclica de dados com o serviço **MSAC2\_Initiate**, encontrando-se de seguida disponível uma ligação para os serviços **MSAC2\_Read**, **MSAC2\_Write** e **MSAC2\_Data\_Transport**. Quando já não é necessária uma ligação, ela é desligada pelo master por intermédio do serviço **MSAC2\_Abort**. Em geral é possível um escravo manter ao mesmo tempo ativas várias ligações MSAC2. O número de ligações que podem ser mantidas ativas ao mesmo tempo está limitado pelos recursos disponíveis no escravo e varia consoante o tipo de dispositivo.

A transmissão acíclica de dados é efetuada numa sequência predefinida com a ajuda do serviço **MSAC2\_Read**.

Primeiro o mestre envia ao escravo um pedido **MSAC2\_Read**; neste pedido os dados requeridos são endereçados através do número de "slot" e de índice.

Após a recepção deste pedido, o escravo tem a oportunidade de tornar os dados pedidos disponíveis.

O mestre envia regularmente telegramas para recolher os dados pedidos ao escravo.

O escravo responde a esses telegramas com um reconhecimento breve sem dados até ter processado todos os dados.

O próximo pedido de dados pelo mestre é então respondido com uma resposta **MSAC2\_Read**, na qual os dados lidos são transmitidos. A transmissão de dados é monitorada ao longo do tempo.

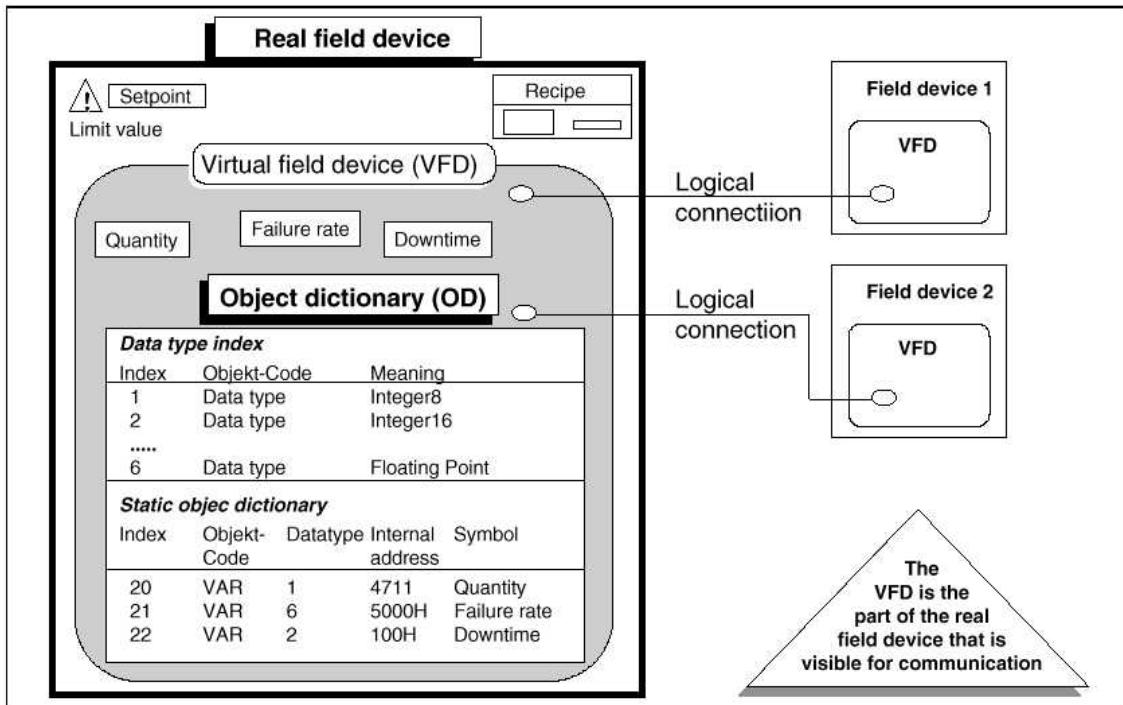
#### **4.21.24 Perfil de comunicação FMS**

O perfil de comunicação FMS é projetado para a comunicação ao nível de célula. Neste nível, os controladores programáveis (PLCs e PCs) comunicam entre si, dando-se mais importância a um alto grau de funcionalidade do que a uma rápida reação temporal dos sistemas. A camada de aplicação FMS (camada 7) consiste nas seguintes partes:

- **Fieldbus Message Specification (FMS)**
- **Lower Layer Interface (LLI)**

O modelo de comunicação PROFIBUS\_FMS permite que aplicações distribuídas a nível de processo possam ser unificadas num único processo comum utilizando relações de comunicação.

À porção de uma aplicação de processo existente num dispositivo de campo (que pode ser alcançado através da comunicação) chama-se de **dispositivo virtual de campo (VFD)**. A Fig.4.60 mostra a relação entre o dispositivo real de campo e o dispositivo virtual de campo. Neste exemplo, apenas certas variáveis (por exemplo, número de unidades, taxa de falhas e tempo de manutenção) fazem parte do dispositivo virtual de campo e podem ser lidas ou escritas pelas duas relações de comunicação.



**Fig.4.60**  
**Dispositivo virtual de campo com dicionário de objetos (OD).**

Todos os **objetos de comunicação** de um dispositivo FMS são introduzidos num dicionário de objetos (*Object Dictionary\_OD*). Este dicionário contém a descrição, a estrutura e o tipo de dados, a relação entre os endereços internos dos dispositivos dos objetos de comunicação e respectiva designação na rede (índice/nome).

Os **objetos estáticos de comunicação** são introduzidos no dicionário de objetos estáticos. Eles são configurados apenas uma vez e não podem ser alterados durante operação.

Os **objetos dinâmicos de comunicação** são introduzidos na seção dinâmica do dicionário de objetos. Estes já podem ser modificados durante operação.

O endereçamento **lógico** é o método preferido para endereçar os objetos. O acesso é executado com um pequeno endereço (o índice \_ número do tipo **Unsigned16**). Cada objeto possui um índice único, podendo a título excepcional ser endereçado através de um nome.

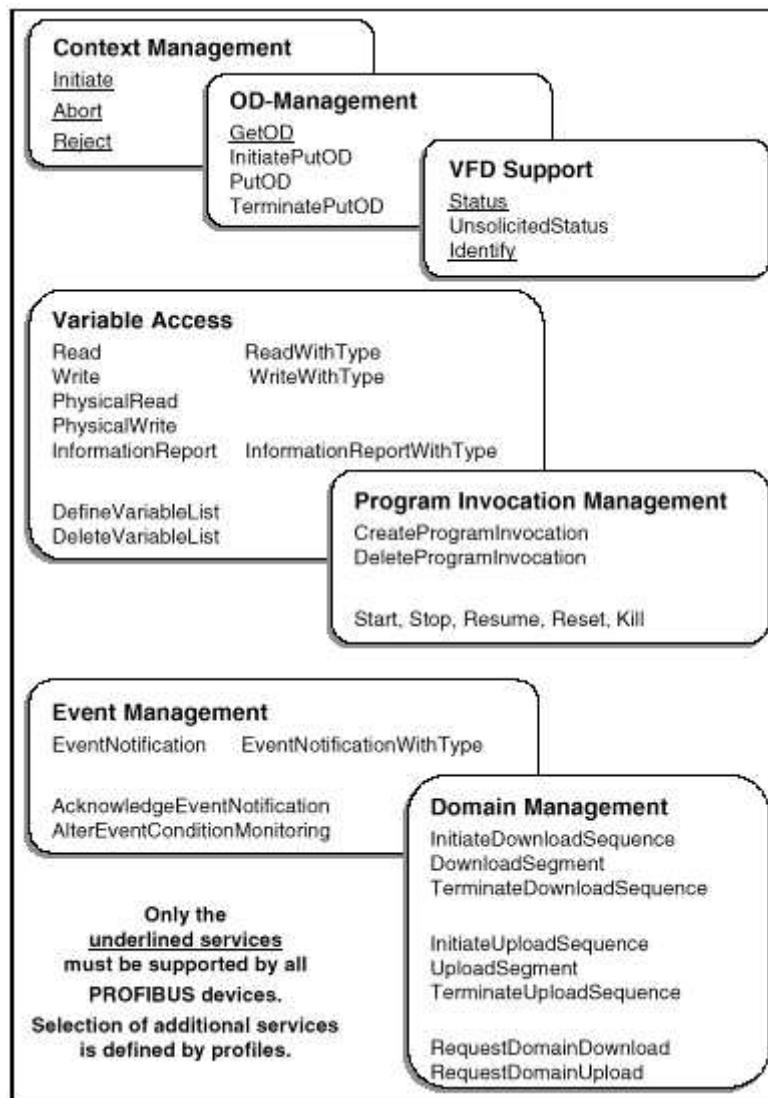
Os objetos de comunicação podem também ser protegidos contra acessos não autorizados através de serviços de proteção, ou por restrição de serviços de permissão de acesso a um objeto (por exemplo serviços apenas de leitura).

#### 4.21.25 Serviços FMS

# CST

## Arcelor Brasil

Os serviços FMS são um subconjunto dos serviços de MMS (**MMS – Manufacturing Message Specification, ISO9506**) que foram aperfeiçoados para as aplicações em redes de campo e ampliados por funções para administração de objetos de comunicação e administração de rede. A Fig.4.61 mostra uma avaliação dos serviços FMS disponíveis pelo PROFIBUS. Só podem ser usados **serviços confirmados de comunicação** para relações de comunicação orientadas à conexão. Na Fig.4.62 mostra-se a execução de um serviço deste tipo.

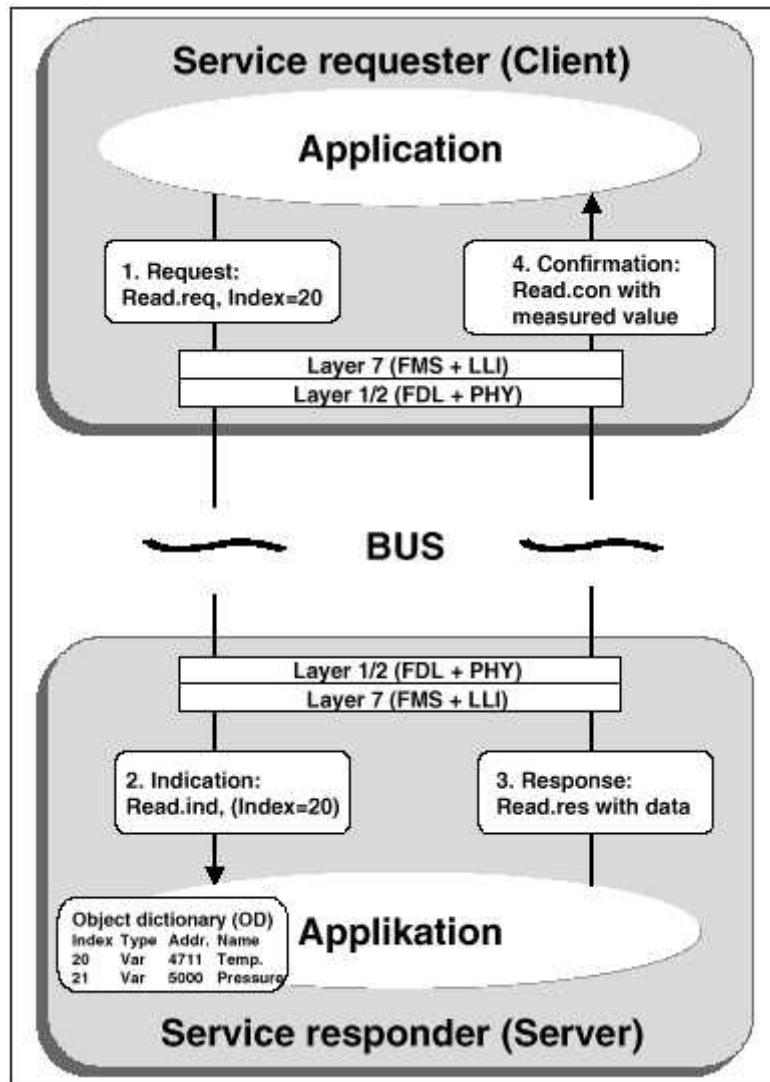


**Fig.4.61.**  
**Serviço FMS.**

Os **serviços não confirmados** podem também ser utilizados em relações de comunicação não orientadas à conexão (*Broadcast* e *Multicast*), transmitidos com alta ou baixa prioridade.

Os serviços FMS encontram-se divididos pelos seguintes grupos:

- **Serviços de contexto administrativo**, utilizados para estabelecer e terminar ligações lógicas.
- **Serviços de acesso a variáveis**, utilizados para se ter acesso a variáveis, registros, arrays, ou listas variáveis.
- **Serviços de domínio administrativo**, utilizados na transmissão de grandes áreas de memória. Aqui, os dados devem ser segmentados pelos utilizadores.
- **Serviços de gestão de evocação de programas**, utilizados para controle de programas.
- **Serviços de gestão de acontecimentos**, utilizados na transmissão de mensagens de alarme. Estas mensagens podem também ser enviadas por Broadcast ou Multicast.
- **Serviços de apoio a VFDs**, utilizados para identificar estados, podendo ser enviados espontaneamente a pedido de um dispositivo por intermédio de transmissões multicast ou broadcast.
- **Serviços de gestão do dicionário de objetos**, utilizados para acessos de leitura e de escrita no dicionário.



**Fig.4.62.**  
**Sequência de um serviço FMS Confirmado.**

#### 4.21.26 Lower link interface (LLI)

O mapeamento da camada 7 na camada 2 é gerida pela **LLI**. Aqui a sua tarefa inclui o controle de fluxo e a monitoração da ligação. Um utilizador comunica com os processos através de canais lógicos, denominados por **relações de comunicação**. A LLI fornece vários tipos de relações de comunicação para a execução do FMS e dos serviços de gestão. As relações de comunicação possuem capacidades para diferentes conexões (por exemplo monitoração, transmissão de pedidos entre os intervenientes na comunicação).

As **relações orientadas à conexão** representam uma ligação lógica ponto-a-ponto entre dois processos de aplicação. A ligação deve primeiro ser estabelecida com o **serviço Inic平ate**, antes de ser usado na transmissão de dados. Após se ter estabelecido corretamente, a conexão é protegida contra acessos não autorizados e disponibilizada

para a transmissão de dados. Quando uma conexão estabelecida deixa de ser necessitada, ela pode ser desligada com o serviço **Abort**.

A LLI permite ainda a ligação controlada por tempo para vigiar relações de comunicação orientadas à conexão.

Os atributos de ligação "open" e "defined" são outras características de relações de comunicação orientadas à conexão.

Em **ligações definidas**, o "interveniente na comunicação" é especificado durante a configuração. Em ligações abertas, este interveniente é especificado apenas durante a fase de estabelecimento de uma ligação. Relações de comunicação do tipo "**connectionless**" permitem a um dispositivo comunicar simultaneamente com várias estações que utilizem serviços não confirmados.

Em relações de comunicação do tipo **broadcast**, um serviço FMS não confirmado é enviado simultaneamente a todas outras estações.

Em relações de comunicação do tipo **multicast**, um serviço de FMS não confirmado é enviado simultaneamente a um grupo predefinido de estações.

Todas as relações de comunicação de um dispositivo de FMS são introduzidas numa lista de comunicações de referência (*Communication Reference List \_ CRL*). Para dispositivos simples, a lista é predefinida pelo fabricante. No caso de dispositivos complexos, a **CRL** é configurada pelo utilizador. Cada relação de comunicação é endereçada por uma pequena designação local \_ **referência de comunicação (CREF)**. Do ponto de vista da rede, uma **CREF** é definida por um endereço de estação, um ponto de acesso ao serviço da camada 2 e um ponto de acesso ao serviço LLI.

A **CRL** contém as tarefas a efetuar entre a **CREF** e a camada 2, e o endereço da LLI. Adicionalmente, a **CRL** especifica quais serviços FMS são suportados, as durações dos telegramas, etc., para cada **CREF**.

#### 4.21.27 Gestão da Rede

Além dos serviços FMS, funções de gestão da rede (**Fieldbus MAnagement Layer 7 \_ FMA7**) estão disponíveis. As **funções FMA7** são opcionais e permitem a configuração central. Elas podem ser iniciadas local ou remotamente.

O **contexto de gestão** pode ser usado para estabelecer e desligar uma conexão FMA7.

A **gestão da configuração** pode ser usada para aceder a CRLs, variáveis, contadores estatísticos e parâmetros das camadas 1 e 2. Pode também ser usada para identificação e inscrição de estações na rede.

A **gestão de falhas** pode ser utilizada para indicar falhas e acontecimentos e reajustar dispositivos.

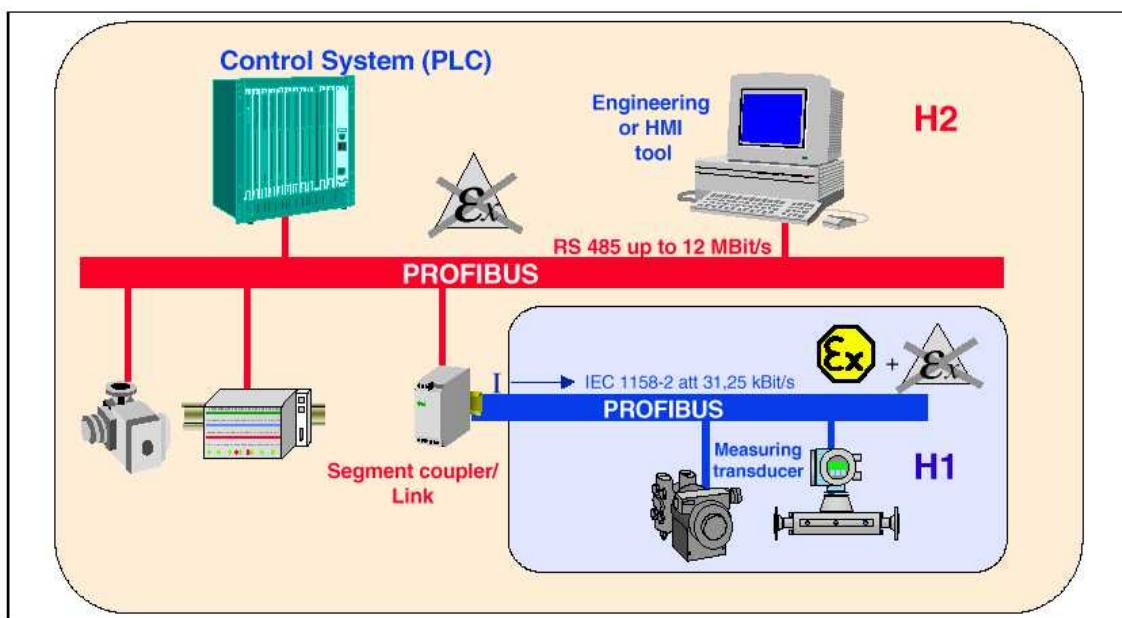
#### 4.21.28 Perfis de aplicação

Os perfis de aplicação PROFIBUS descrevem o uso da comunicação PROFIBUS e os perfis físicos para uma certa gama de aplicações (automação de processos, automação de edifícios) ou para certos tipos de dispositivo (encoders, drivers).

### Processos de Automação (PA)

O uso do PROFIBUS em dispositivos típicos e em aplicações na área da automação de processos é definido pelo **perfil PA**. Este perfil é baseado no Perfil de Comunicação DP, e dependendo do campo de aplicação. São utilizadas as tecnologias de transmissão **IEC 1158\_2**, **RS\_485** ou as **fibras ópticas**. O perfil PA define os parâmetros e o comportamento típico dos dispositivos de campo (independente do fabricante) facilitando assim a utilização de dispositivos. A descrição das funções e o comportamento dos dispositivos são baseados num modelo de blocos de funções internacionalmente reconhecido. Estas definições e opções do perfil de aplicação PA, tornam o PROFIBUS ideal para na substituição dos sinais de transmissão analógicos com 4...20 mA.

O PROFIBUS permite também efetuar medições e controle em malha fechada em aplicações de engenharia do processo através de um par simples de condutores. Permite ainda fazer a manutenção, ligar/desligar dispositivos em operação, mesmo estando implementados em áreas perigosas.



**Fig.4.63.**  
**Configuração típica de um sistema de automação de processos.**

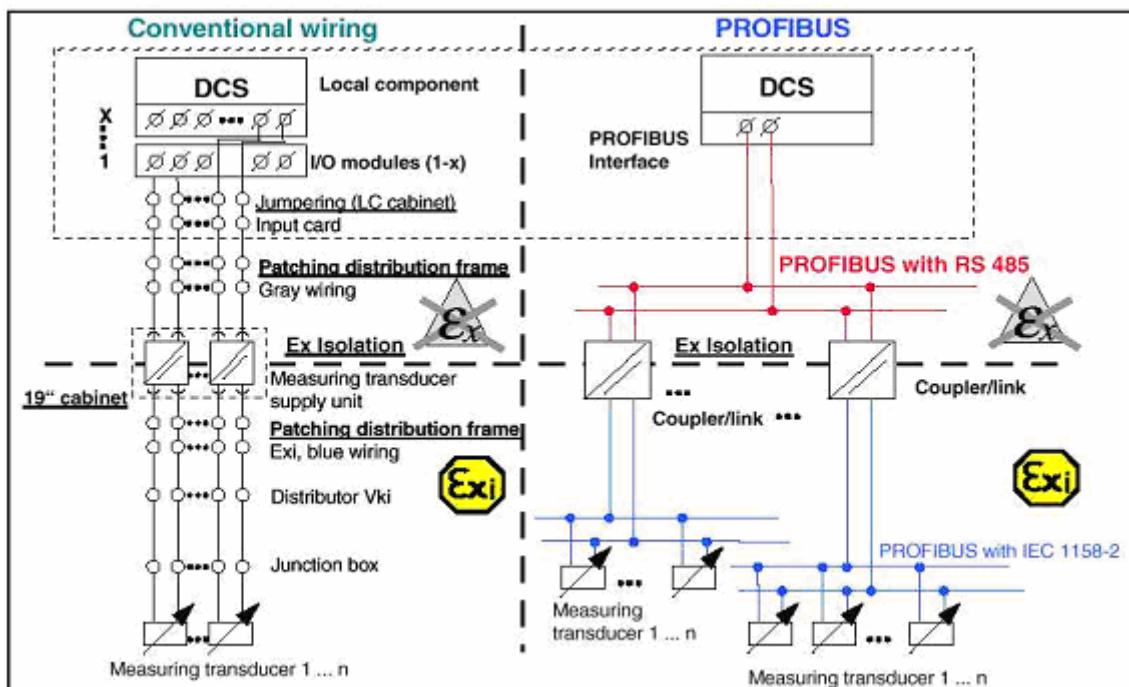
O perfil PA foi desenvolvido em cooperação com vários utilizadores dos processos industriais e satisfaz as seguintes características.

- Normalização de perfis de aplicação para processos industriais e integração de dispositivos de campo de diferentes fabricantes.
- Adição e remoção de estações da rede, mesmo em áreas intrinsecamente perigosas, sem influenciar outras.

- Ligação em rede de transdutores de medida através da tecnologia IEC 1158\_2 (utilizando um par de condutores);
- Implementação em áreas potencialmente explosivas, com tipos de proteção "intrinsecamente seguros" (EEx ia/ib) ou encapsulação (Exd).

### Aspectos da Comunicação

A utilização do PROFIBUS em sistemas de engenharia de processos permite poupar mais de 40% no planejamento, cabeamento, manutenção, e oferece um aumento significativo em funcionalidade e segurança. A Fig.4.64 evidencia as diferenças entre uma instalação elétrica de um sistema convencional de 4 a 20 de mA e um sistema baseado em PROFIBUS.



**Fig.4.64.**  
**Comparação de uma instalação convencional com uma instalação Profibus.**

Os dispositivos de campo utilizados em áreas perigosas são ligados através da tecnologia de transmissão PROFIBUS IEC 1158\_2. Esta tecnologia permite a transmissão de dados e energia para o dispositivo de campo, e utiliza apenas dois condutores. A transição do PROFIBUS para áreas não perigosas é efetuada com a tecnologia RS\_485, com a ajuda de um segmento acoplador ou conector. Contrariamente à instalação elétrica convencional, onde uma linha separada tem que ser utilizada para cada sinal do ponto de medida para o módulo de Entradas/Saídas do sistema de controle do processo (DCS), no PROFIBUS os dados dos vários dispositivos são transmitidos por um cabo comum.

Enquanto que é necessária a alimentação individual dos dispositivos numa instalação convencional, com segmentos acopladores ou conectores esta função é comumente levada para muitos dos dispositivos de uma rede de campo PROFIBUS. Dependendo das exigências na proteção e do consumo de energia dos dispositivos, podem ser ligados a um segmento acoplador/conector, entre 9 (EEx ia/ib) a 32 (não ex) transdutores de medida, o que não só se economiza na cabeamento, como também nos módulos de Entrada/Saída do DCS, uma vez que estes são substituídos pela interface PROFIBUS. Desde que possa ser fornecida, (de uma única unidade de alimentação), energia para os vários transdutores de medida, com o PROFIBUS todas os sistemas de proteção adicionais podem deixar de ser utilizados.

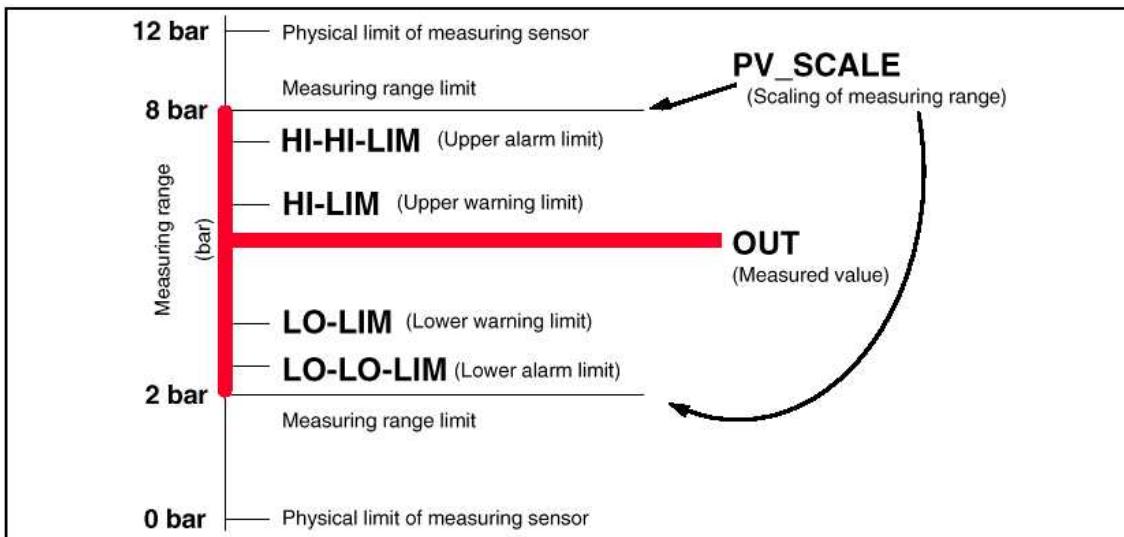
Os valores medidos e os estados dos dispositivos de campo PA são transmitidos ciclicamente com alta prioridade entre os DCS (DPM1) e os transdutores de medida utilizando as funções básicas DP. Isso garante que o valor medido e os estados a ele associados são sempre atualizados e disponíveis no sistema automatizado (DPM1). Por outro lado, os parâmetros dos dispositivos para visualização, operação, manutenção e diagnósticos são transmitidos pelas ferramentas de engenharia (DPM2) através das funções DP acíclicas de baixa prioridade por uma ligação C2.

#### **4.21.29 Aspectos de aplicação**

Além das definições relevantes de comunicação, o perfil PA contém também definições para aplicações, como tipos de dados e unidades de transmissão de valores medidos, assim como o significado dos valores dos estados associados. As especificações das unidades e o significado dos parâmetros dos dispositivos (tais como limites de gamas superior e inferior) são independentes dos fabricantes. Para apoiar a instalação de uma rede é possível simular os valores medidos dos transdutores.

Aqui um utilizador pode introduzir um valor de medida fictício utilizando uma ferramenta de engenharia. Depois, este é então transmitido do transdutor para o sistema de controle do processo, em vez do valor real medido. Isto facilita a simulação dos estados críticos do processo fabril e apóia os instaladores da rede durante a sua instalação e configuração.

O comportamento dos dispositivos é definido especificando-se as variáveis normalizadas com as quais se descreve detalhadamente as suas propriedades. A Fig.4.65 mostra o princípio de um transdutor de pressão, onde é descrito como um bloco de função “Entrada Analógica”.



**Fig.4.65.**  
**Ilustração dos parâmetros no perfil Profibus PA.**

O perfil PA consiste numa folha de dados geral, que contém as definições aplicáveis a todos os tipos de dispositivo, e em folhas de dados de dispositivo que contêm a informação específica do respectivo tipo de dispositivo. Este perfil é satisfatório, tanto para a descrição de dispositivos com uma variável de medida (única variável), como para dispositivos multifuncionais com várias variáveis de medida (multi-variável). O atual perfil PA (versão 3.0) define as folhas de dados de dispositivo para todos os transdutores de medida comuns.

- Pressão e pressão diferencial;
- Nível, temperatura, fluxo;
- Entradas e Saídas Analógicas e Digitais;
- Válvulas, posicionadores;
- Analisadores;

### Blocos de função PA

O perfil PA apoia a troca e operação entre os dispositivos de campo PA de diferentes fabricantes. Este perfil usa para descrever as funções e parâmetros de dispositivos um modelo de blocos de função reconhecido internacionalmente. Os blocos de função representam diferentes funções de utilização, tais como entradas e saídas analógicas. Estão ainda disponíveis dois blocos de função para características específicas dos dispositivos (bloco físico e bloco transdutor). Os parâmetros de entrada e de saída dos blocos de função podem ser ligados na rede através de uma aplicação de engenharia do processo.

#### • Bloco físico

Contém a informação geral do dispositivo, como o nome, o fabricante, versão e número de série.

- **Bloco transdutor**

Contém dados específicos de aplicação, como correção de parâmetros.

- **Bloco de entradas analógicas (AI)**

Fornece o valor medido pelo sensor, com o seu estado e escala.

- **Bloco de saídas analógicas (AO)**

Fornece a saída analógica do valor especificado pelo sistema de controle.

- **Entrada Digital (DI)**

Fornece ao sistema de controle o valor digital de uma entrada.

- **Saída digital (DO)**

Fornece a saída digital do valor especificado pelo sistema de controle.

Uma aplicação contém alguns blocos de função. Estes são integrados nos dispositivos de campo pelos respectivos fabricantes e podem ser acedidos por intermédio da comunicação em rede e das ferramentas de engenharia.

#### **4.21.30 Aplicações tolerantes a falhas**

O perfil PROFISafe (número de ordem 3.092) define como os dispositivos em sistemas tolerantes a falhas (botões de pressão de paragem de emergência, luzes de sinalização, sistemas de bloqueamento) são ligados aos controladores programáveis através do PROFIBUS. O que quer dizer que as vantagens das redes de comunicação abertas como o PROFIBUS, podem ser utilizadas nesta área especial onde até agora quase todos os dispositivos são ligados convencionalmente.

Como resultado, os dispositivos com perfis PROFISafe podem ser utilizados sem restrições em coexistência pacífica com dispositivos standard que usam a mesma linha de comunicação.

O perfil PROFISafe baseia-se no perfil de comunicação DP e pode ser utilizado com as tecnologias de transmissão RS\_485, IEC 1158\_2 e fibras ópticas.

O ProfiSafe é uma solução de software que não requer qualquer cabeamento de rede adicional, e em conta todos os erros previstos, possíveis de ocorrer durante a comunicação na rede (repetição, perda, inserção, sequência incorreta, atraso, corrupção de dados e endereçamento errado), definindo mecanismos adicionais de segurança.

#### **4.21.31 Automação de edifícios**

Este perfil (número de ordem 3.011) é dedicado a uma área específica e serve como base para a automação de edifícios. Com base do perfil de comunicação FMS, define como vigiar, controlar, regular, operar, gerir alarmes, e construir sistemas de automação de edifícios.

#### **4.21.32 Perfis de aplicação para tipos especiais de dispositivos**

Com base no perfil de comunicação DP, são definidos os perfis de aplicação para os seguintes tipos de dispositivo:

- **NC/RC (3.052):**

Este perfil descreve como controlar o manuseamento e a montagem de robôs. Cartas de fluxo mostram o movimento e o controle do programa dos robôs do ponto de vista de alto\_nível do sistema de automação.

- **Encoders (3.062):**

Este perfil descreve a ligação ao perfil DP de encoders rotativos, encoders angulares e encoders lineares.

- **Drivers de variadores de velocidade (3.072):**

Este perfil especifica como os drivers são parametrizados e como são transmitidos os "**setpoints**", os valores atuais, o controle de velocidade e os modos posicionamento.

- **Interface de Homem \_ Máquina (3.082):**

Este perfil é utilizado nas interfaces Homem-Máquina (HMI) e especifica a sua ligação através do perfil DP aos componentes de automação. O perfil utiliza, como base de comunicação, as funções estendidas DP.

## 4.22 FOUNDATION Fieldbus

### 4.22.1 Considerações Iniciais

A instalação e manutenção de sistemas de controle tradicionais implicam em altos custos principalmente quando se deseja ampliar uma aplicação onde são requeridos além dos custos de projeto e equipamento, custos com cabeamento destes equipamentos à unidade central de controle.

De forma a minimizar estes custos e aumentar a operacionalidade de uma aplicação

# CST

## Arcelor Brasil

introduziu-se o conceito de rede para interligar os vários equipamentos de uma aplicação. A utilização de redes em aplicações industriais prevê um significativo avanço nas seguintes áreas:

Custos de instalação

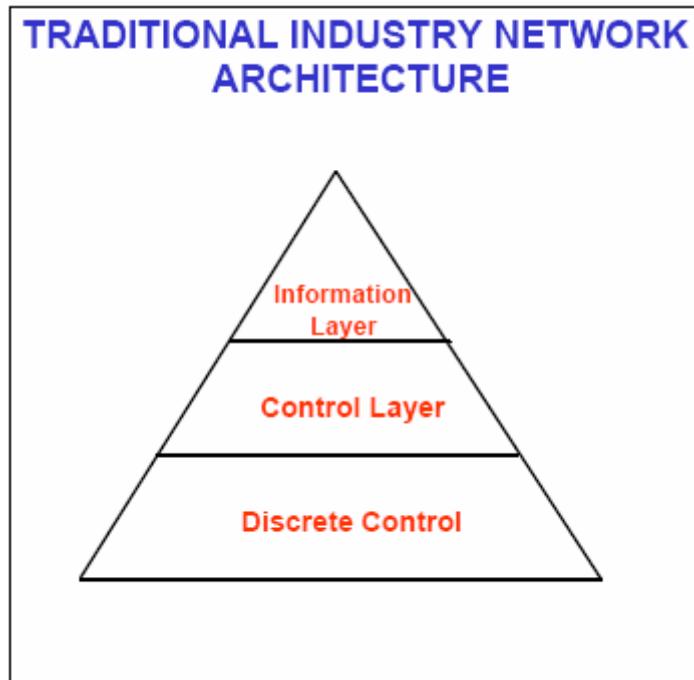
- Procedimentos de manutenção
- Opções de *upgrades*
- Informação de controle de qualidade

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

Surge daí a opção pela utilização de arquiteturas de sistemas abertos que, ao contrário das arquiteturas proprietárias onde apenas um fabricante lança produtos compatíveis com a sua própria arquitetura de rede, o usuário pode encontrar em mais de um fabricante a solução para os seus problemas. Além disso, muitas redes abertas possuem organizações de usuários que podem fornecer informações e possibilitar trocas de experiências a respeito dos diversos problemas de funcionamento de uma rede.

Redes industriais são padronizadas sobre 3 níveis de hierarquias cada qual responsável pela conexão de diferentes tipos de equipamentos com suas próprias características de informação (ver Fig.4.66).

O nível mais alto, nível de informação da rede, é destinado a um computador central que processa o escalonamento da produção da planta e permite operações de monitoramento estatístico da planta sendo implementado, geralmente, por softwares gerenciais (MIS). O padrão Ethernet operando com o protocolo TCP/IP é o mais comumente utilizado neste nível.



**Fig.4.66.**  
**Níveis de redes industriais**

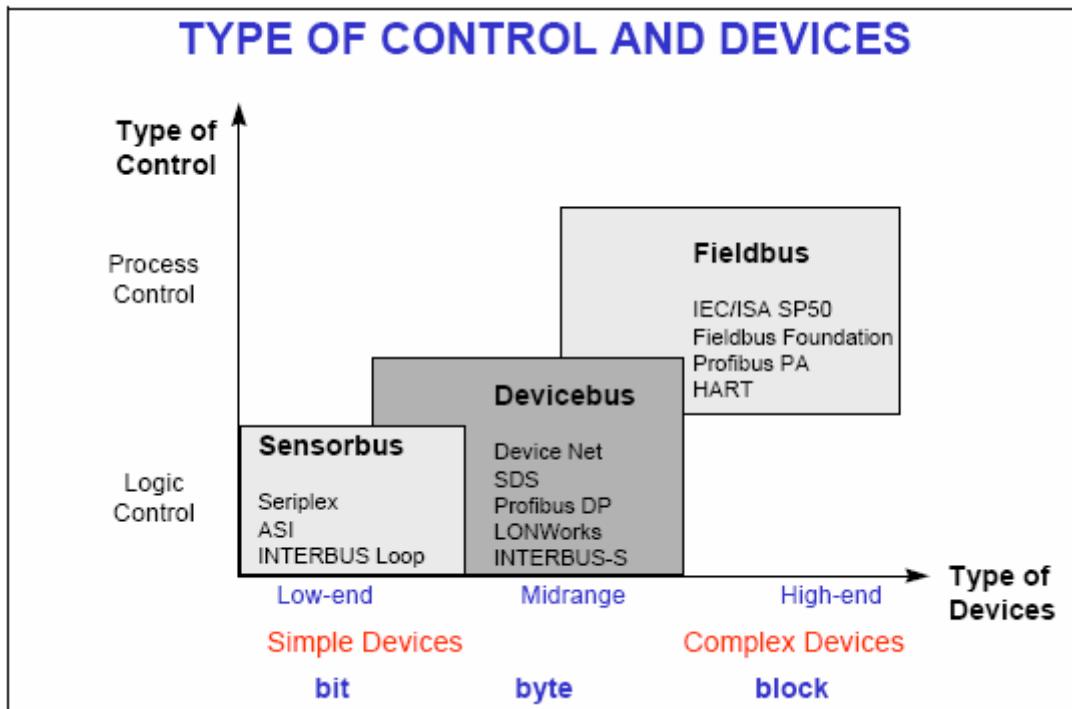
O nível intermediário, nível de controle da rede, é a rede central localizada na planta incorporando PLCs, DCSc e PCs. A informação deve trafegar neste nível em tempo real para garantir a atualização dos dados nos softwares que realizam a supervisão da aplicação.

O nível mais baixo, nível de controle discreto, se refere geralmente às ligações físicas da rede ou o nível de I/O. Este nível de rede conecta os equipamentos de baixo nível entre as partes físicas e de controle. Neste nível encontram-se os sensores discretos, contatores e blocos de I/O.

As redes de equipamentos 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 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.

Assim, classificam-se as redes quanto ao tipo de rede de equipamento e os dados que ela transporta como (ver Fig.4.67):

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



**Fig.4.67**  
**Classificação das redes**

A rede Sensorbus conecta equipamentos simples e pequenos diretamente à rede. Os equipamentos deste tipo de rede necessitam de comunicação rápida em níveis discretos e são tipicamente sensores e atuadores de baixo custo. Estas redes não almejam cobrir grandes distâncias, sua principal preocupação é manter os custos de conexão tão baixos quanto for possível. Exemplos típicos de rede sensorbus incluem Seriplex, ASI e INTERBUS Loop.

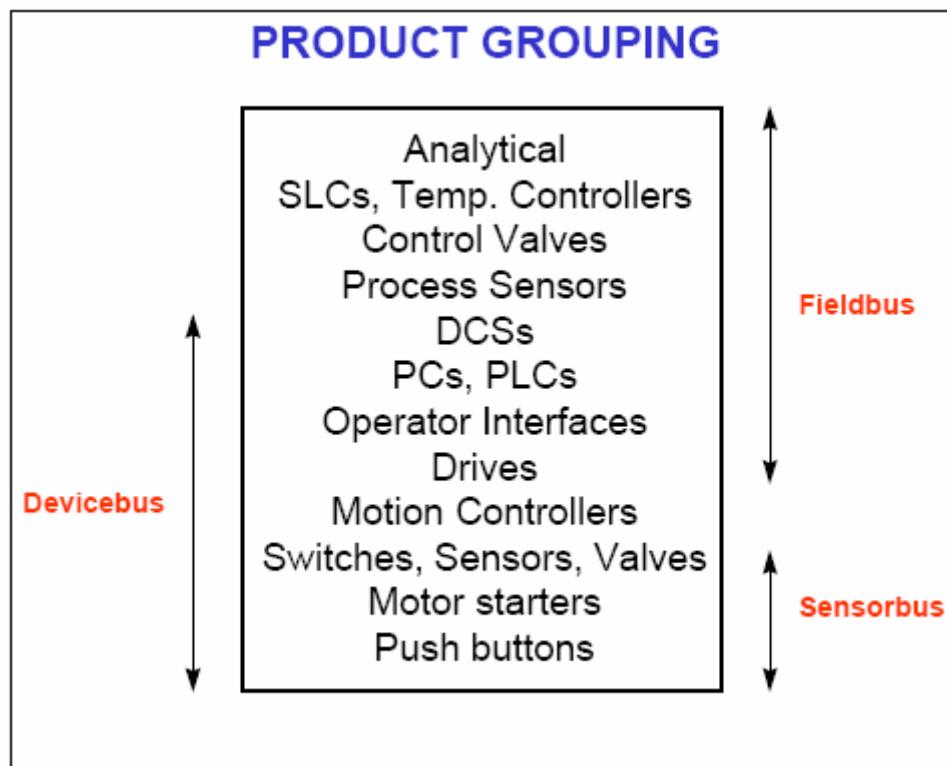
A rede Devicebus preenche o espaço entre redes Sensorbus e Fieldbus e pode cobrir distâncias de até 500 m. Os equipamentos conectados a esta rede terão mais pontos discretos, alguns dados analógicos ou uma mistura de ambos. Além disso, algumas destas redes permitem a transferência de blocos em uma menor prioridade comparado aos dados no formato de bytes. Esta rede tem os mesmos requisitos de transferência rápida de dados da rede de sensorbus, mas consegue gerenciar mais equipamentos e dados. Alguns exemplos de redes deste tipo são DEVICENET, Smart Distributed System (SDS), Profibus DP, LONWORKS e INTERBUS-S.

A rede fieldbus interliga os equipamentos de I/O mais inteligentes e pode cobrir distâncias maiores. Os equipamentos acoplados à rede possuem inteligência para desempenhar funções específicas 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 IEC/ISA SP50, Fieldbus Foundation, Profibus PA e

HART.

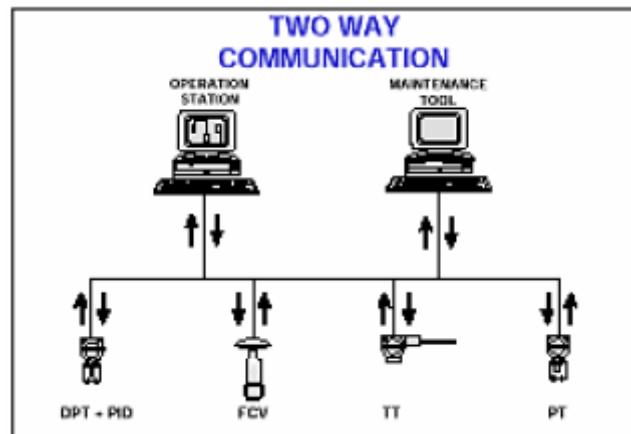
Os tipos de equipamentos que cada uma destas classes agrupam podem ser vistos na Fig.4.68.



**Fig.4.68.**  
**Grupos de produtos por classe de rede**

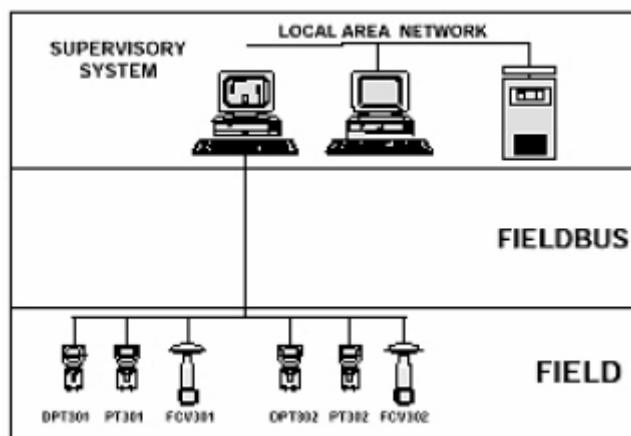
#### 4.22.2 Definições

FIELDBUS é um sistema de comunicação digital bidirecional (Fig.4.69) que permite a interligação em rede de múltiplos instrumentos diretamente no campo, realizando funções de controle e monitoração de processo e estações de operação (IHM) através de softwares supervisórios (Fig.4.70).



**Fig.4.69.**  
**Comunicação digital bidirecional**

A seguir estaremos analisando os detalhes de projeto utilizando-se o protocolo FIELDBUS elaborado pela Fieldbus Foundation e normalizado pela ISA - The International Society for Measurement and Control para automação de Plantas de Processos.

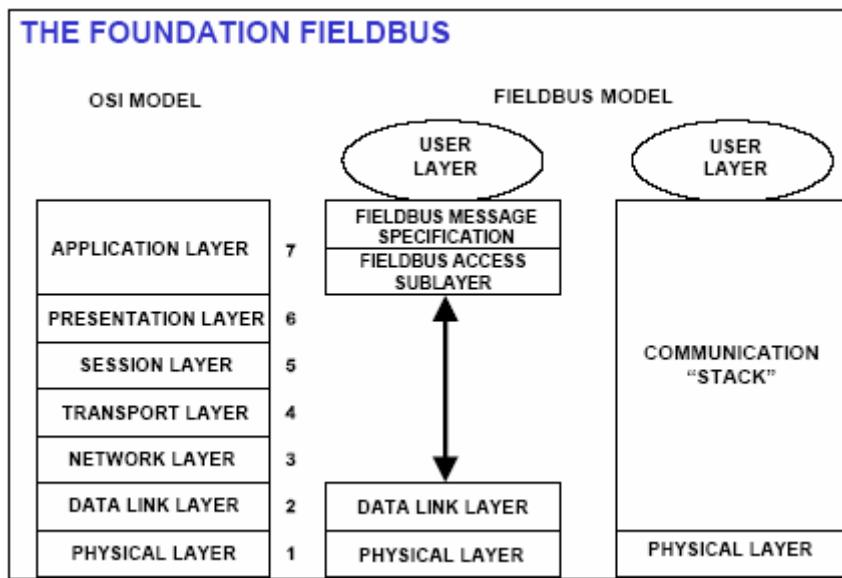


**Fig.4.70.**  
**FIELDBUS em operação conjunta a softwares Supervisórios**

#### 4.22.3 Níveis de Protocolo

O protocolo FIELDBUS foi desenvolvido baseado no padrão ISO/OSI embora não contenha todos os seus níveis, podemos em primeira análise dividi-lo em nível físico

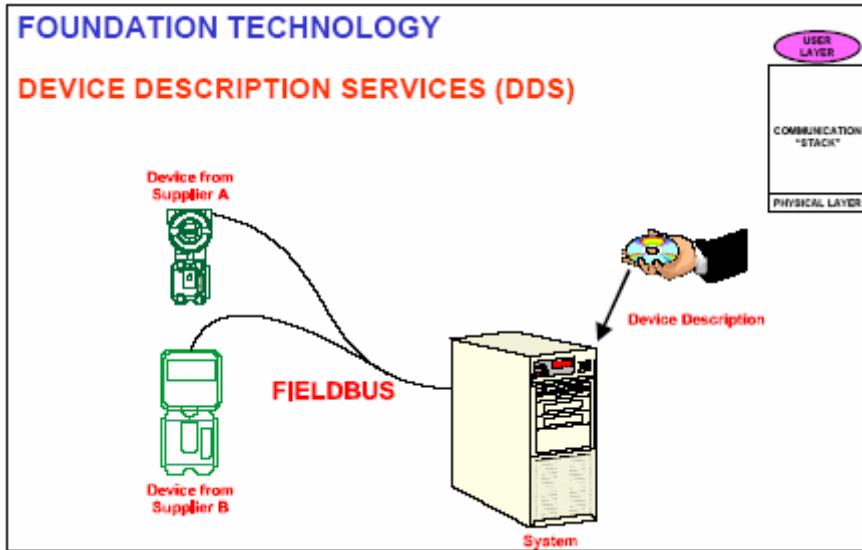
(“Physical Layer” - que trata das técnicas de interligação dos instrumentos) e níveis de software (“Communication Stack”) que tratam da comunicação digital entre os equipamentos (Fig.4.71).



**Fig.4.71.**  
**Níveis de Protocolo**

#### 4.22.4 Níveis de Software

Embora o objetivo deste curso não seja um estudo aprofundado dos níveis de software, a seguir explicaremos alguns detalhes. Destacamos que para o usuário tudo isto é transparente e é tratado pelo software de configuração ou pelo software supervisório.



**Fig.4.72.**  
**DDL - Garantia de interoperabilidade**

#### A. Nível de Enlace (Data Link Layer)

O nível de enlace garante a integridade da mensagem através de dois bytes calculados através de um polinômio aplicado a todos os bytes da mensagem e que é acrescentado no final da mesma. Este nível controla também o acesso ao meio de transmissão, determinando quem pode transmitir e quando. O nível de enlace garante que os dados cheguem ao equipamento correto.

*Características Técnicas:*

##### 1- Acesso ao meio

Existem três formas para acessar a rede:

- a) *Passagem de Token*: O Token é o modo direto de iniciar uma transição no barramento. Quando termina de enviar as mensagens, o equipamento retorna o "Token" para o LAS (Link Active Scheduler). O LAS transmite o "Token" para o equipamento que requisitou, via preconfiguração ou via escalonamento.
- b) *Resposta Imediata*: o mestre dará uma oportunidade para uma estação responder com uma mensagem.
- c) *Requisição de "Token"*: um equipamento requisita um Token usando um código em alguma das respostas que ele transmitiu para o barramento. O LAS recebe esta requisição e envia um "Token" para o equipamento quando houver tempo disponível nas fases aperiódicas do escalonamento.

##### 2- Modelo Produtor/Consumidor:

Um equipamento pode produzir ou consumir variáveis que são transmitidas através da rede usando o modelo de acesso à rede de resposta imediata. O produtor coloca as variáveis em Buffers e qualquer estação pode acessar estes dados. Com apenas uma

transação, dados podem ser transmitidos para todos os equipamentos que necessitam destes dados. Este modelo é o modo mais eficiente para transferência de dados entre vários usuários. Um controlador consome a variável de processo produzida pelo sensor, e produz a saída consumida pelo atuador.

**3- Escalonamento para suportar aplicações de tempo crítico:**

O LAS coordenará o tempo necessário para cada transação na rede, garantindo o período de troca de dados.

**4- Sincronização do Tempo:**

Existe um mecanismo para garantir uma referência de tempo da rede para conseguir sincronização do barramento e atividades de processo.

**5- Endereçamento:**

Pode ser usado para endereçar um grupo de estações, uma estação ou até uma variável. Este endereçamento permite uma otimização do acesso às mensagens.

**6- Passagem do Token num anel lógico:**

Este método é usado pelo Profibus e pelo ISP para acessar a rede. Ele pode ser simulado, mas não com a mesma eficiência, pelo uso da atual definição do nível de enlace do SP50.

**B. NÍVEL DE APLICAÇÃO (*Application Layer*)**

O nível de aplicação fornece uma interface para o software aplicativo do equipamento. Basicamente este nível define como ler, escrever ou disparar uma tarefa em uma estação remota. A principal tarefa é a definição de uma sintaxe para as mensagens.

Ele também define o modo pelo qual a mensagem deve ser transmitida: ciclicamente, imediatamente, somente uma vez ou quando requisitado pelo consumidor.

O gerenciamento define como inicializar a rede: atribuição do Tag, atribuição do endereço, sincronização do tempo, escalonamento das transações na rede ou conexão dos parâmetros de entrada e saída dos blocos funcionais.

Ele também controla a operação da rede com levantamento estatístico de detecção de falhas e de adição de um novo elemento ou remoção de uma estação. O gerenciamento monitora continuamente o barramento para identificar a adição de novas estações.

**C. NÍVEL DO USUÁRIO (*User Layer*)**

Define o modo para acessar a informação dentro de equipamentos *FIELDBUS* e de que forma esta informação pode ser distribuída para outros equipamentos no mesmo nó ou, eventualmente em outros nós da rede *FIELDBUS*. Este atributo é fundamental para aplicações em controle de processo.

A base para arquitetura de um equipamento *FIELDBUS* são os blocos funcionais, os quais executam às tarefas necessárias as aplicações existentes hoje, tais como: aquisição de dados, controle PID, cálculos e atuação. Todo bloco funcional contém um

algoritmo, uma base de dados (entradas e saídas) e um nome definido pelo usuário (o Tag do bloco deve ser único na planta do usuário). Os parâmetros do bloco funcional são endereçados no *FIELDBUS* via TAG.PARAMETER-NAME.

Um equipamento *FIELDBUS* conterá um número definido de blocos funcionais. A base de dados pode ser acessada via comunicação.

Como complementação de bibliografia, as informações contidas neste curso estão baseadas nos seguintes documentos:

- ISA/SP50-1995-359M - Industrial Automation Systems - Systems Integration and Communication - Fieldbus, Part 3 : Data Link Service Definition – 1995
- ISA/SP50-1995-360M - Industrial Automation Systems - Systems Integration and Communication - Fieldbus, Part 4 : Data Link Protocol Specification-1995
- ISA/SP50-1993-389F - User Layer (Fieldbus) Technical Report-1993
- ISA/SP50-1994-505B - Fieldbus Specification, Part 5 : Application Layer Service Definition (Core Set)-1994
- ISA/SP50-1994-508B - Fieldbus Specification, Part 6: Application Layer Protocol Specification (Core Part)-1994

#### **4.22.5 Nível Físico**

No estudo do nível físico estaremos analisando os tipos de ligações possíveis (fiação, cabos coaxiais, ótico ou rádio), conexões, terminadores, características elétricas, etc...especificados pela FIELDBUS FOUNDATION PHYSICAL LAYER PROFILE SPECIFICATION, Document FF-94-816, August 28,1995.

Como complementação de bibliografia, as informações contidas neste curso estão baseadas nos seguintes documentos publicados pela ISA - The International Society for Measurement and Control - pela Fieldbus Foundation e pela IEC – The Electrotechnical Commission:

- . IEC 1158-2 : 1993, Fieldbus Standard for use in Industrial Control Systems - Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition.
- . ISA - S50.02 - 1992, Fieldbus Standard for use in Industrial Control Systems - Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition.
- . ISA - dS50.02-1995-544A, Fieldbus (draft) Standard for use in Industrial Control Systems - Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition, Amendment to Clause 24 (Formerly Clause 11)
- Fieldbus Preliminary Application Note on Intrinsic Safety, Revision 1.1, 21 September 1995.
- . ISA/SP50-1993-466C - Fieldbus Standard for use in Industrial Control Systems, Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition, Amendment 1 : Radio Medium - Proposed Clauses 18,19&20-1993
- . ISA/SP50-1993-477 - TR1 : Technical Report for Low Speed Radio Medium Physical Layer Fieldbus-1993.
- . ISA/SP50-1994-517A - Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems, Part 7: Fieldbus Management, Clause 1: Introduction, Scope, Definitions, Reference Model-1994

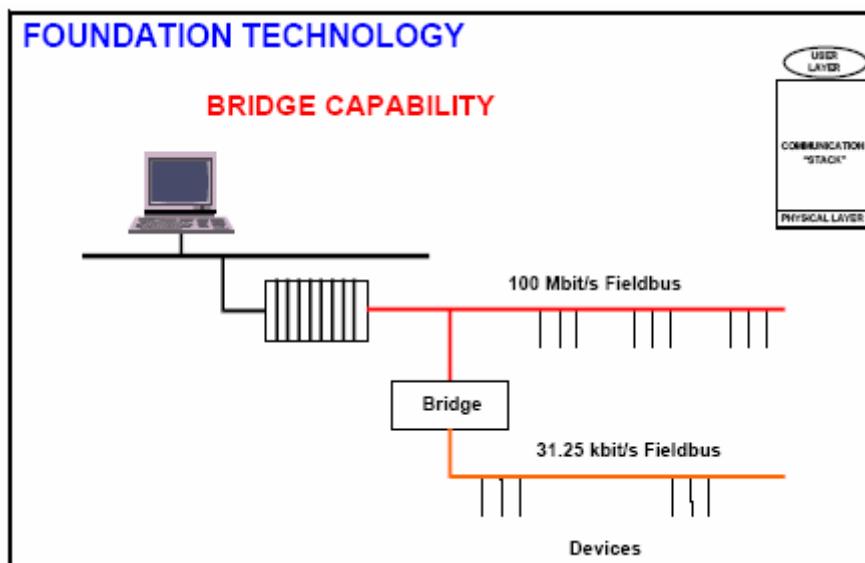
- ISA/SP50-1995-518A - Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems, Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition, Amendment X: Medium Attachment Unit (MAU) Current Mode (1 Ampere), Wire Medium-1995

- IEC 65C/178/CDU – IEC 61158-3 – Data Link Layer – DLL Service Part 3
- IEC 65C/179/CDU – IEC 61158-4 – Data Link Layer – DLL Protocol Part 4

A Norma ANSI/ISA - S50.02-1992, aprovada em 17 de Maio de 1994 - "Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition" trata do meio físico para a realização das interligações os principais itens são:

- Transmissão de dados somente digital
- Self-clocking
- Comunicação bi-direcional
- Código Manchester
- Modulação de voltagem (acoplamento paralelo)
- Velocidades de transmissão de 31,25 kb/s, 100 Mb/s;
- Barramento sem energia, não intrinsecamente seguro;
- Barramento com energia, não intrinsecamente seguro;
- Barramento sem energia, intrinsecamente seguro;
- Barramento com energia, intrinsecamente seguro;

No nível de instrumentos ligados aos barramentos de campo, a velocidade normalizada é 31,25 kb/s, as outras velocidades deverão ser utilizadas para a interligação de "bridges" e "gateways" para a conexão em alta velocidade destes dispositivos (Fig.4.73).



**Fig.4.73.**  
**Utilização de "Bridges"**

Na velocidade de 31,25 kb/s a norma determina, dentre outras, as seguintes regras:

- a) um instrumento FIELDBUS deve ser capaz de se comunicar entre os seguintes

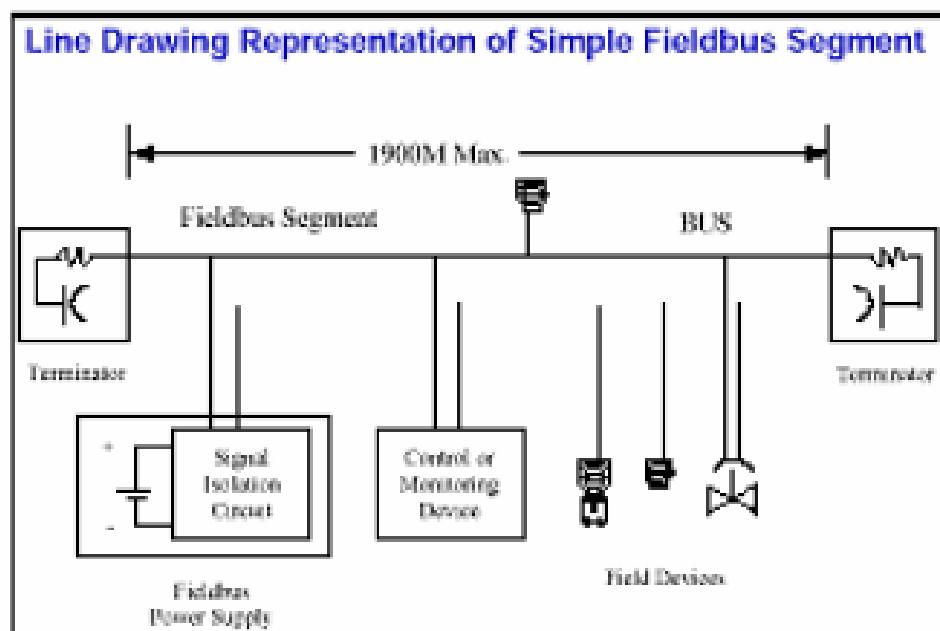
números de equipamentos:

- Entre 2 e 32 instrumentos numa ligação sem segurança intrínseca e alimentação separada da fiação de comunicação;
- Entre 2 a 6 instrumentos alimentados pela mesma fiação de comunicação numa ligação com segurança intrínseca;
- Entre 1 e 12 instrumentos alimentados pela mesma fiação de comunicação numa ligação sem segurança intrínseca.

Obs: Esta regra não impede a ligação de mais instrumentos do que o especificado, estes números foram alcançados levando-se em consideração o consumo de 9 mA +/- 1 mA, com tensão de alimentação de 24 VDC e barreiras de segurança intrínseca com 11 a 21 VDC de saída e 60 mA máximos de corrente para os instrumentos localizados na área perigosa.

b) Um barramento carregado com o número máximo de instrumentos na velocidade de 31,25 kb/s não deve ter entre quaisquer dois equipamentos o comprimento maior que 1.900 m (incluindo as derivações) (ver Fig.4.74);

Obs.: esta regra não impede o uso de comprimentos maiores desde que sejam respeitadas as características elétricas dos equipamentos.



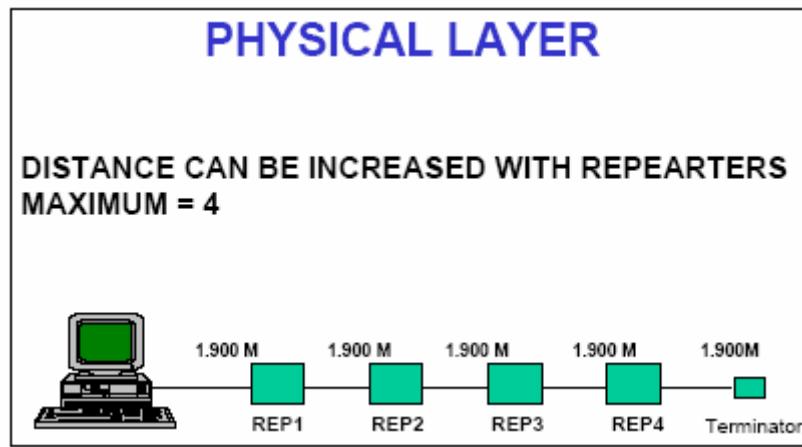
**Fig.4.74.**  
**Comprimento máximo de um segmento FIELDBUS**

- c) o número máximo de repetidores para a regeneração da forma de onda entre dois instrumentos não pode exceder a 4 (quatro) (ver Fig.4.75);
- d) um sistema FIELDBUS deve ser capaz de continuar operando enquanto um instrumento está sendo conectado ou desconectado;
- e) as falhas de qualquer elemento de comunicação ou derivação (com exceção de curto-círcuito ou baixa impedância) não deverá prejudicar a comunicação por mais de 1 ms;
- f) deve ser respeitada a polaridade em sistemas que utilizem pares trançados, seus condutores

devem ser identificados e esta polarização deve ser mantida em todos os pontos de conexão;  
g) para sistemas com meio físico redundante:

- Cada canal deve atender as regras de configuração de redes;
- Não deve existir um segmento não redundante entre dois segmentos redundantes;
- Os repetidores também deverão ser redundantes;
- Os números dos canais deverão ser mantidos no FIELDBUS, isto é, os canais do FIELDBUS devem ter os mesmos números dos canais físicos.

h) O “shield” dos cabos não deverão ser utilizados como condutores de energia.



**Fig.4.75.**  
**Distâncias máximas entre repetidores**

#### 4.22.6 Distribuição de Energia

A alimentação de equipamentos FIELDBUS pode ser feita opcionalmente através dos mesmos condutores de comunicação ou separadamente; um instrumento com alimentação separada pode ser conectado a um outro instrumento com alimentação e comunicação no mesmo par de fios.

Na seqüência algumas especificações elétricas para sistemas FIELDBUS:

- Um equipamento pode opcionalmente receber energia por condutores de sinal ou por condutores separados;
- Um equipamento pode ser certificado como intrinsecamente seguro recebendo energia tanto pelos condutores de sinal quanto por condutores separados;
- Um equipamento energizado separadamente pode ser conectado a um equipamento energizado pelo mesmo condutor de sinal.

**CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS ENERGIZADOS EM REDE PARA O MODO DE VOLTAGEM DE 31,25 KBIT/S**

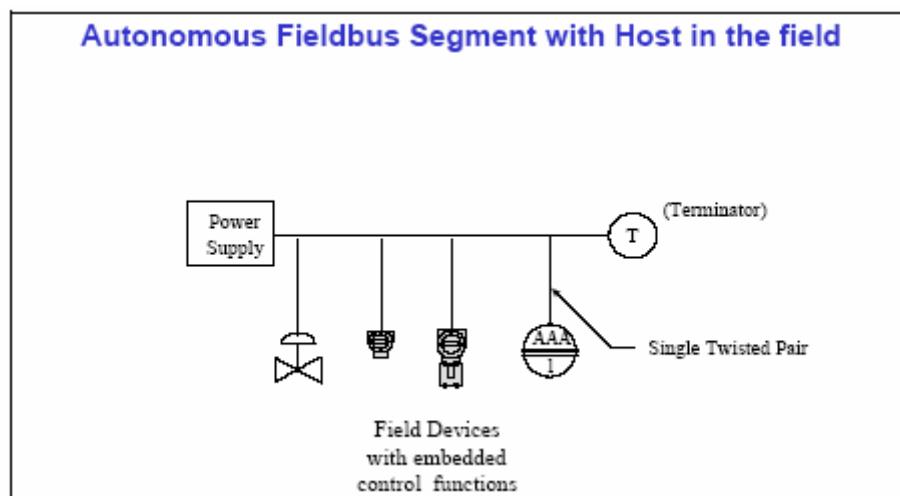
**Tabela 4.17 - Requisitos para a alimentação de redes**

Características dos equipamentos energizados em rede	Limites para 31,25 Kbit/s
Voltagem de operação	9,0 a 32,0 V DC
Máxima voltagem	35 V
Máxima taxa de mudança de corrente de repouso (não transmitindo); este requisito não é aplicado nos primeiros 10 ms após a conexão do equipamento em uma rede em operação ou nos primeiros 10 ms após a energização da rede.	1,0 mA/ms
Máxima corrente; este requisito é ajustado durante o intervalo de 100 µs até 10 ms após a conexão do equipamento a uma rede em operação ou 100 µs até 10 ms após a energização da rede.	Corrente de repouso mais 10 mA

**A. Fonte de Alimentação**

Um equipamento FIELDBUS que inclui o modo de voltagem de 31,25 Kbit/s será capaz de operar dentro de um intervalo de voltagem de 9 V à 32 V DC entre os dois condutores incluindo o ripple. O equipamento poderá ser submetido a máxima Voltagem de 35 V DC sem causar danos.

NOTA: Para sistemas intrinsecamente seguros a voltagem de operação pode ser limitada pelos requisitos de certificação. Neste caso a fonte de energia estará localizada na área segura e sua voltagem de saída será atenuada por uma barreira de segurança ou um componente equivalente.



**Fig.4.76.**

### Rede FIELDBUS com mestre no campo

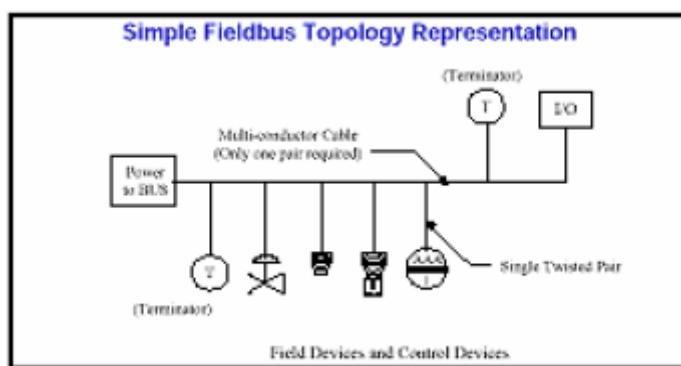
Um equipamento FIELDBUS que inclui o modo de voltagem de 31,25 Kbit/s obedecerá aos requisitos da norma ISA-S50.02 quando energizada por uma fonte com as seguintes especificações:

- A tensão de saída da fonte de alimentação para redes não intrinsecamente seguras será no máximo de 32 V DC incluindo o ripple;
- A impedância de saída da fonte de alimentação para redes não intrinsecamente seguras será  $\geq 3K\Omega$  dentro da faixa de freqüência 0,25fr à 1,25fr (7,8KHz à 39KHz). Este requisito não é aplicado dentro dos 10 ms da conexão nem na remoção de um equipamento do campo;
- A impedância de saída de uma fonte de alimentação intrinsecamente segura será 400  $K\Omega$  dentro da faixa de freqüência 0,25fr à 1,25fr (7,8KHz à 39KHz);
- Os requisitos de isolação do circuito de sinal e do circuito de distribuição de energia em relação ao terra e entre ambos devem estar de acordo com a IEC 1158-2 (1993).

### B. Energização via condutores de sinal de comunicação

Um equipamento FIELDBUS operando no modo de voltagem de 31,25 Kbit/s é energizado pelos condutores de sinal, deve obedecer aos requisitos da norma ISA-S50.02 quando estiver operando com níveis máximos de ripple e ruído da fonte de alimentação como segue:

- 16 mV pico-a-pico dentro da faixa de freqüência 0,25fr à 1,25fr (7,8 KHz à 39KHz);
- 2,0 V pico-a-pico dentro da faixa de freqüência 47 Hz à 63 Hz para aplicações não intrinsecamente seguras;
- 0,2 V pico-a-pico dentro da faixa de freqüência 47 Hz à 625 Hz para aplicações Intrinsecamente seguras;
- 1,6 V pico-a-pico em freqüências maiores que 125fr, até o máximo de 25 MHz.



**Fig.4.77.**  
**Barramento de comunicação energizado**

### C. Isolação elétrica

Todos os equipamentos FIELDBUS que usam fios condutores seja na energização separada ou na energização através dos condutores de sinal de comunicação, deverão fornecer isolação para baixas freqüências entre o terra, o cabo do barramento e o equipamento. Isto deve ser feito pela isolação de todo o equipamento do terra ou pelo uso de um transformador, opto-acoplador, ou qualquer outro componente isolador entre o "trunk" e o equipamento.

Uma fonte de alimentação combinada com um elemento de comunicação não necessitará de

isolação elétrica.

Para cabos blindados, a impedância de isolação medida entre a blindagem do cabo FIELDBUS e o terra do equipamento FIELDBUS deverá ser maior que 250K $\Omega$  em todas as freqüências abaixo de 63 Hz.

A máxima capacidade não balanceada para o terra de ambos terminais de entrada de um equipamento não deverá exceder 250 pF.

Os requisitos de isolação do circuito de sinal de transmissão e do circuito de distribuição de energia em relação ao terra e entre ambos devem estar de acordo com a IEC 1158-2 (1993).

#### D. Especificação do meio condutor

- Conectores

Conectores para os cabos, se utilizados, deverão seguir o padrão FIELDBUS IEC (anexo). Terminações no campo podem ser feitas diretamente nos terminais dos instrumentos ou através de conectores em caixas de terminação.

- Cabos

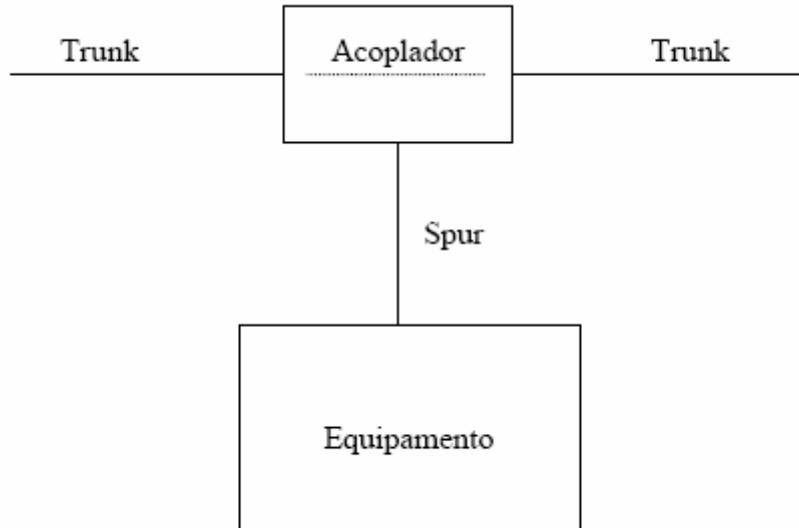
De acordo com os requisitos da norma ISA-S50.02, o cabo utilizado para ligar equipamentos FIELDBUS com o modo de voltagem de 31,25 Kbit/s pode ser um simples par de fios trançados com a sua blindagem atendendo os seguintes requisitos mínimos (a 25 °C):

- a) Zo em fr (31,25 KHz) = 100 $\Omega$  ±20%;
- b) Atenuação máxima em 1,25fr (39 KHz) = 3.0 dB/Km;
- c) Máxima capacidade não balanceada da blindagem = 2 nF/Km;
- d) Resistência DC máxima (por condutor) = 22  $\square$ /Km;
- e) Atraso máximo de propagação entre 0,25 fr e 1,25 fr = 1.7 us/Km;
- f) Área seccional do condutor (bitola) = nominal 0,8 mm<sup>2</sup> (#18 AWG);
- g) Cobertura mínima da blindagem deverá ser maior ou igual a 90%.

Observações:

- Outros tipos de cabo para conformidade de testes podem ser utilizados. Cabos com especificações melhoradas podem habilitar barramentos com comprimentos maiores e/ou com imunidade superior à interferência. Reciprocamente, cabos com especificações inferiores podem provocar limitações de comprimento para ambos, barramentos (trunk) e derivações (spurs) mais a não conformidade com os requisitos RFI/EMI.
- Para aplicações de segurança intrínseca, a razão indutância / resistência (L/R) deve ser menor que o limite especificado pela agência regulamentadora local.
- Acopladores

O acoplador pode prover um ou muitos pontos de conexão para o barramento. Pode ser integrado ao equipamento FIELDBUS caso não haja nenhuma derivação. Caso contrário, deverá ter pelo menos 3 pontos de acesso como visto na Fig.4.78: um para o spur e um para cada lado do trunk.

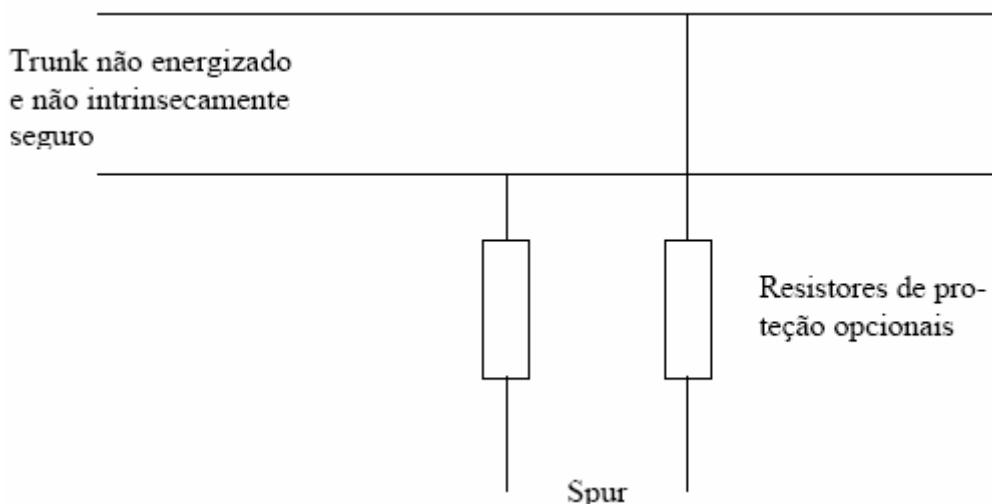


**Fig.4.78.**  
**Acoplador FIELDBUS**

Um acoplador passivo deve conter alguns elementos opcionais descritos abaixo:

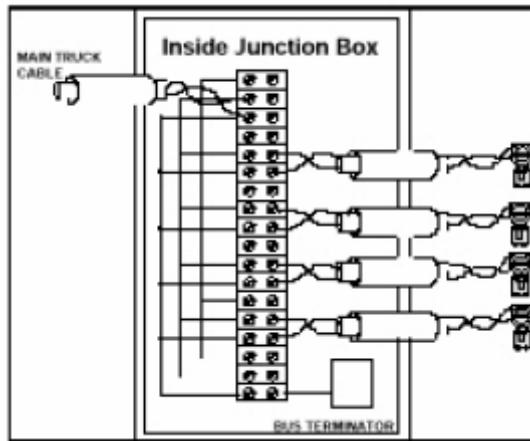
- Um transformador para fornecer isolamento galvânico e um transformador de impedância entre trunk e spur;
- Conectores, para fornecer conexões fáceis de spur e/ou trunk;
- Resistores de proteção como visto na figura abaixo, para proteger o barramento do tráfego entre outras estações dos efeitos de um spur em curto-círcuito num trunk desenergizado, não intrinsecamente seguro.

Acopladores ativos, que requerem alimentações externas, podem conter componentes para amplificação do sinal e retransmissão.



**Fig.4.79.**  
**Resistores de proteção**

Através das ligações internas dos acopladores (Fig.4.80), pode-se construir várias topologias como visto na seção 2.2.



**Fig.4.80.**  
**Ligações internas de uma caixa de campo**

- **Splices**

Um splice é qualquer parte da rede na qual as características de impedância do cabo da rede não são preservadas. Isto é possivelmente oportuno para operação dos condutores de cabos, remoção da blindagem do cabo, troca do diâmetro do fio ou seu tipo, conexão à spurs, conexão em terminais nus, etc. Uma definição prática para splice é, portanto, qualquer parte da rede que não tem um comprimento contínuo de um meio condutor especificado.

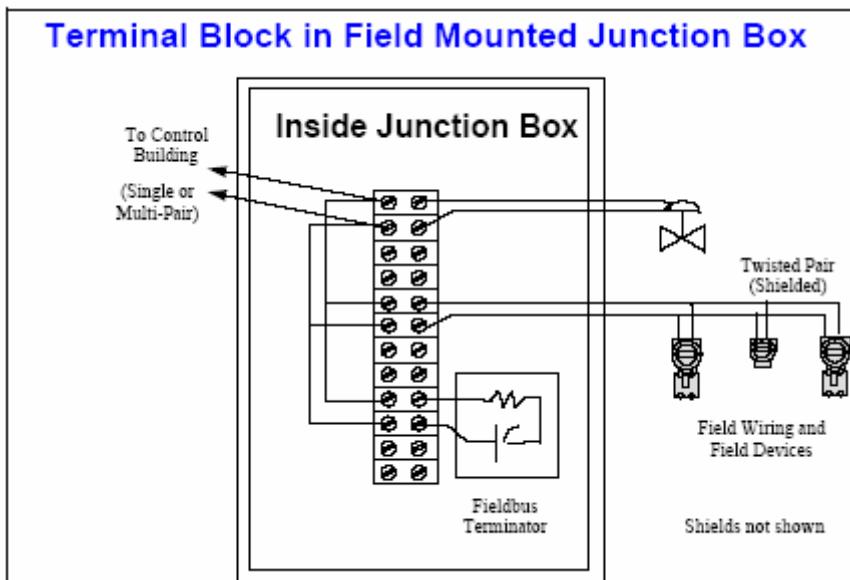
Para redes que têm um comprimento total de cabos (trunk e spurs) maior que 400 m, a soma de todos os comprimentos de todos os splices não deve exceder 2,0 % do comprimento do cabo. Para comprimento de cabos de 400 m ou menos, a soma dos comprimentos de todos splices não deve exceder 8 m. O motivo para esta especificação é preservar a qualidade de transmissão requerendo que a rede seja construída quase totalmente com o meio condutor especificado.

A continuidade de todos os condutores do cabo devem ser mantidas em um splice.

- **Terminadores**

Um terminador deve estar em ambas pontas do cabo de trunk, conectado de um condutor de sinal para o outro. Nenhuma conexão deve ser feita entre o terminador e a blindagem do cabo.

Pode-se ter o terminador implementado internamente à uma caixa de campo (*Junction Box*) como sugere a Fig.4.81.



**Fig.4.81.**  
**Terminador interno à uma caixa de campo**

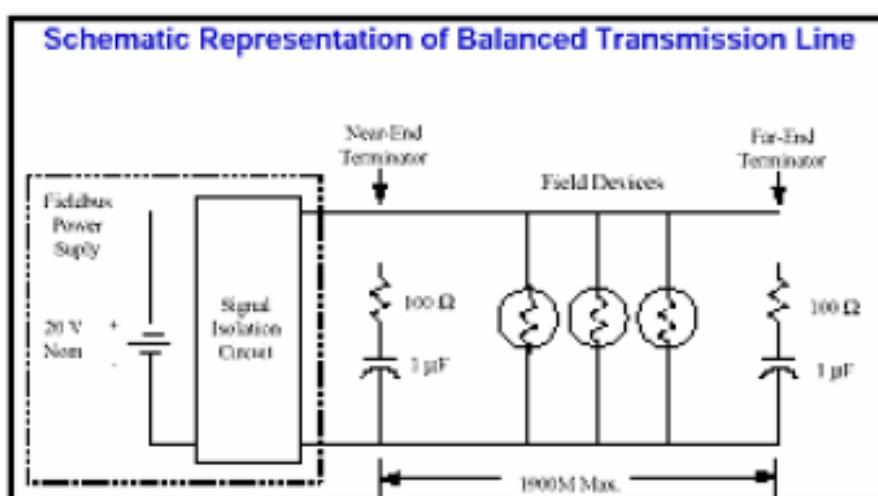
O valor da impedância do terminador deve ser  $100\Omega \pm 20\%$  dentro da faixa de freqüência 0,25 fr à 1,25 fr (7,8 KHz a 39 KHz). Este valor é aproximadamente o valor médio da impedância característica do cabo nas freqüências de trabalho e é escolhido para minimizar as reflexões na linha de transmissão.

O vazamento de corrente direta pelo terminador não deve exceder 100  $\mu$ A.

O terminador deve ser não polarizado.

Todos os terminadores usados em aplicações intrinsecamente seguras devem atender as necessidades de isolamento e distanciamento (necessárias para a aprovação I.S.).

É aceito para as funções de fonte de alimentação, barreiras de segurança e terminadores a combinação de várias maneiras (desde que a impedância equivalente atenda os requisitos da norma ISA-S50.02).



**Fig.4.82.**  
**Esquema da linha de transmissão balanceada**

• Regras de Blindagem:

Para atender os requisitos de imunidade a ruídos é necessário assegurar a continuidade da blindagem através do cabeamento, conectores e acopladores, atendendo as seguintes regras:

- a) A cobertura da blindagem do cabo deverá ser maior do que 90% do comprimento total do cabo;
- b) A blindagem deverá cobrir completamente os circuitos elétricos através também dos conectores, acopladores e splices.

Nota: O não atendimento das regras de blindagem pode degradar a imunidade a ruído.

• Regras de Aterramento:

O aterramento para um sistema FIELDBUS deve estar permanentemente conectado à terra através de uma impedância suficientemente baixa e com capacidade suficiente de condução de corrente para prevenir picos de voltagem, os quais poderão resultar em perigo aos equipamentos conectados ou pessoas, a linha comum (zero volts) pode ser conectada à terra onde eles são galvanicamente isolados do barramento FIELDBUS.

Equipamentos FIELDBUS devem funcionar com o ponto central de um terminador ou de um acoplador indutivo conectado diretamente para a terra.

Equipamentos FIELDBUS não podem conectar nenhum condutor do par trançado ao terra em nenhum ponto da rede. Sinais podem ser aplicados e preservados diferencialmente através da rede.

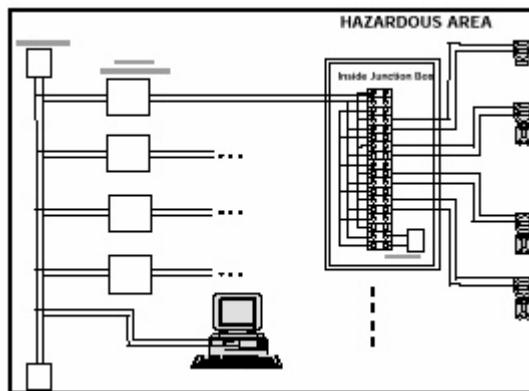
É uma prática padrão para uma blindagem de um cabo do barramento FIELDBUS (se aplicável) ser efetivamente aterrado em um ponto único ao longo do comprimento do cabo. Por esta razão equipamentos FIELDBUS devem ter isolação DC da blindagem do cabo ao terra. É também uma prática padrão conectar os condutores de sinal ao terra de forma balanceada ao mesmo ponto, por exemplo, usando o tap central de um terminador ou um transformador acoplador. Para sistemas com barramento energizado, o aterramento da blindagem e dos condutores de sinal balanceado deverão ser perto da fonte de alimentação. Para sistemas intrinsecamente seguros o aterramento deverá ser na conexão de terra da barreira de segurança.

• Segurança Intrínseca:

As barreiras de segurança intrínsecas devem ter impedância maior do que  $400\Omega$  em qualquer freqüência no intervalo de 7,8 KHz a 39 KHz, essa especificação vale para barreiras de segurança intrínsecas do tipo equipamento separado ou incorporadas internamente em fontes de alimentação.

Dentro do intervalo de voltagem de funcionamento da barreira de segurança intrínseca (dentro do intervalo 7,8-39 KHz) a capacitância medida do terminal positivo (lado perigoso) para a terra não deverá ser maior do que 250 pF da capacitância medida do terminal negativo (lado perigoso) para a terra.

Uma barreira de segurança intrínseca não deverá estar separada do terminador por mais de 100 m (Fig.4.83). A barreira pode apresentar uma impedância de  $400\Omega$  na freqüência de trabalho e a resistência do terminador deve ser suficientemente baixa para que quando colocada em paralelo com a impedância da barreira, a impedância equivalente deverá ser inteiramente resistiva.



**Fig.4.83.**  
**Segurança Intrínseca**

- Especificações e Descrições dos Cabos:

Para novas instalações devemos especificar cabos de par trançado com blindagem do tipo A (Fig.4.84), outros cabos podem ser usados, mas respeitando as limitações da tabela abaixo como, por exemplo, os cabos múltiplos com pares trançados com uma blindagem geral (denominado cabo tipo B).

O tipo de cabo de menos indicação é o cabo de par trançado simples ou múltiplo sem qualquer blindagem (denominado cabo tipo C).

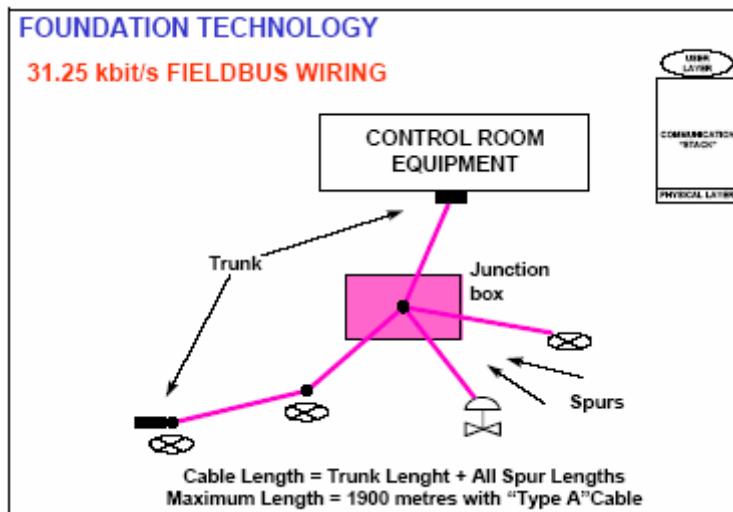
O tipo de cabo de menor indicação é o cabo de múltiplos condutores sem pares trançados (denominado cabo tipo D) e sem blindagem.

A seguir a tabela de especificações dos tipos de cabos (a 25 °)

**Tabela 4.18. Especificação dos Tipos de Cabos(à 25°)**

Parâmetros	Condições	Tipo "A"	Tipo "B"	Tipo "C"	Tipo "D"
Impedância característica, $Z_0$ , $\Omega$	$f_r$ (31,25 KHz)	$100 \pm 20$	$100 \pm 30$	**	**
Resistência DC máxima, $\Omega/\text{km}$	por condutor	22	56	132	20
Atenuação máxima, $\text{dB/km}$	$1,25 f_r$ (39 kHz)	3.0	5.0	8.0	8.0
Área seccional nominal do condutor (bitola), $\text{mm}^2$		0.8 (#18 AWG)	0.32 (#22 AWG)	0.13 (#26 AWG)	1.25 (#16 AWG)
Capacitância máx. não balanceada, $\text{pF}$	1 metro de comprimento	2	2	**	**

\*\* não especificado



**Fig.4.84.**  
**Cabos utilizados no FIELDBUS**

Comprimentos típicos de barramento e derivações:

**Tabela 4.19 - Comprimentos típicos de barramento e derivações**

Cabo tipo	Distância (m)
A	1900
B	1200
C	400
D	200

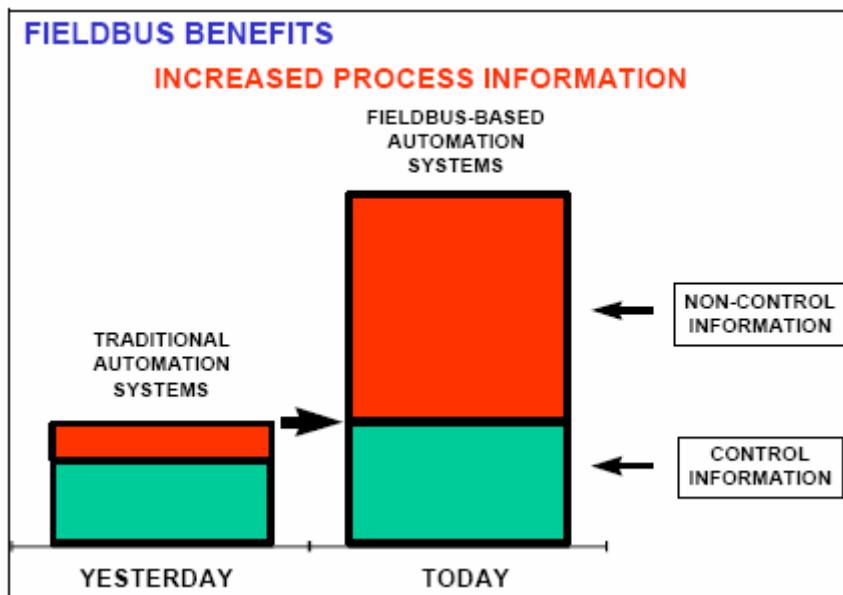
#### 4.22.7 Benefícios do Fieldbus

Os benefícios da tecnologia FIELDBUS podem ser divididas em melhoria e maior quantidade de informações de controle e não de controle (Fig.4.85) e benefícios econômicos.

##### A. Benefícios na obtenção de informação

Nos sistemas de automação tradicionais, o volume de informações disponíveis ao usuário não ia muito além daquele destinado às informações de controle.

Nos sistemas FIELDBUS, o volume de informações extra controle é bem maior (ver Fig.4.85) devido às facilidades atribuídas principalmente à comunicação digital entre os equipamentos.

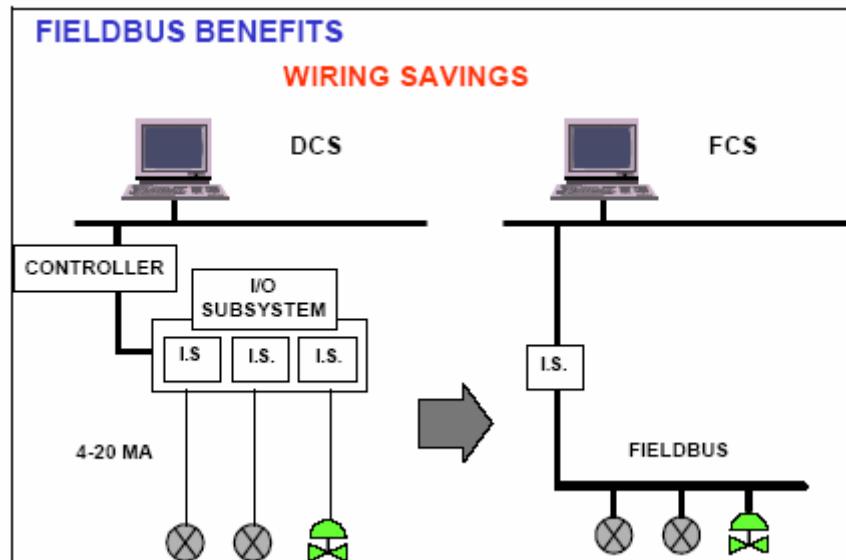


**Fig.4.63.**

### **B. Benefícios econômicos**

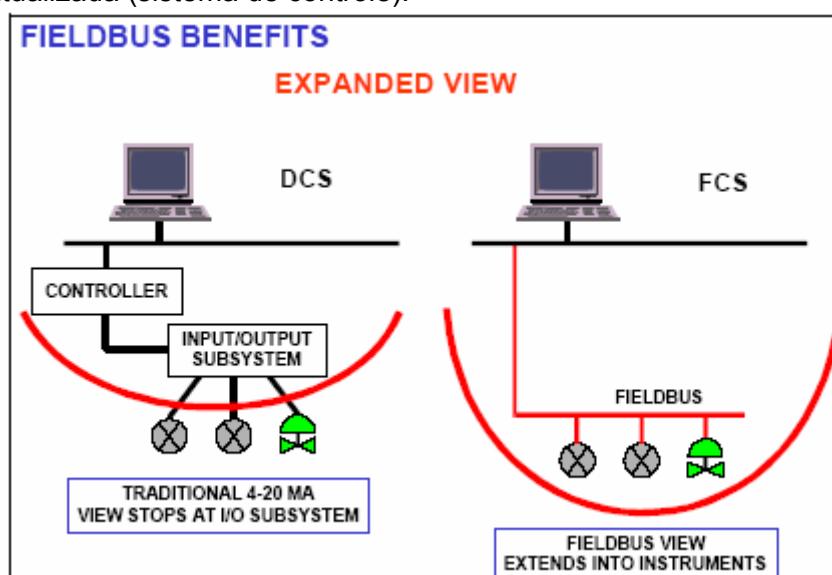
- Baixos custos de implantação:
  - Engenharia de detalhamento
  - Mão de obra /materiais de montagens
  - Equipamentos do sistema supervisório
  - Configuração do sistema
  - Obras civis
  - Ar condicionado
  - Baixos custos no acréscimo de novas malhas

Instalação apenas de novos instrumentos no campo (Fig.4.85)



**Fig.4.86.**  
**Redução de custos na implementação de novas malhas**

- Baixos custos de implantação da automação por área;
- Instalação apenas de placas de interfaces;
- Ganhos tecnológicos;
- Instrumentação de ponta (estado da arte);
- Vantagens operacionais do sistema (sistema aberto)
- Tecnologia atualizada (sistema de controle).



**Fig.4.87.**  
**Informações obtidas pelos dois sistemas**

#### 4.22.8 Comparações com as tecnologias anteriores

Seguramente, devido as vantagens da tecnologia FIELDBUS o SDCD tradicional não é mais recomendado para novos projetos, para os sistemas existentes os altos custos de substituição dos instrumentos e a obsoléncia do sistema de controle podem abreviar a sua vida útil e provocar a introdução da tecnologia FIELDBUS.

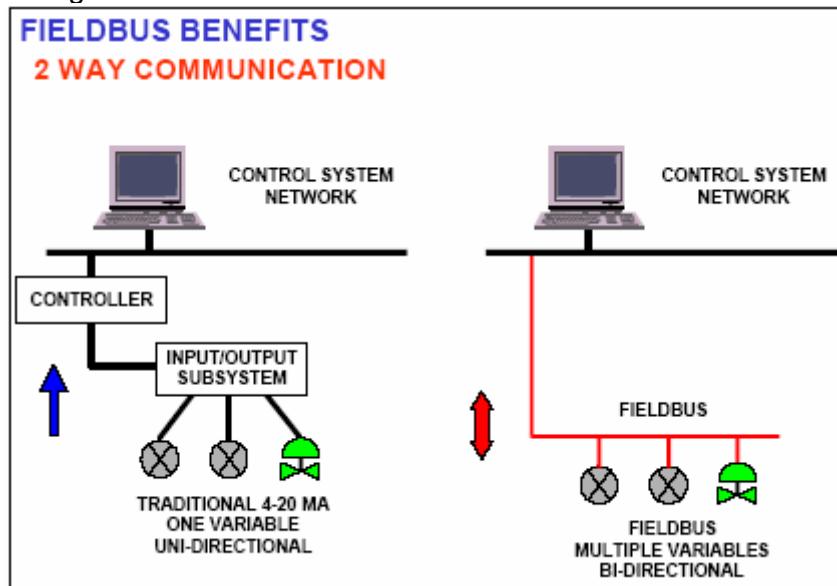


Fig.4.88.  
Fluxo das informações nos sistemas tradicionais e FIELDBUS

- **Documentação básica**

Para a elaboração dos dois tipos de projetos (SDCD e FIELDBUS) são gerados diversos documentos, tanto para o SDCD como para o FIELDBUS, porém com graus de complexidades diferentes, que são característicos de cada tecnologia.

Podemos observar a seguir uma tabela comparativa:

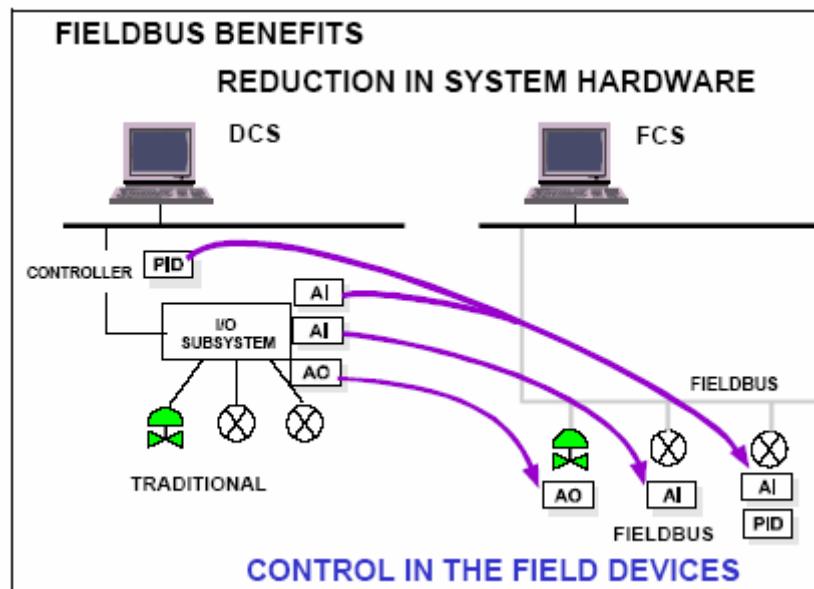
**Tabela 4.20 - Comparação entre SDCD e FIELDBUS**

	Projeto SDCD	FIELDBUS / Grau de Complexidade
Revisão de fluxogramas de engenharia	sim	igual
Diagrama de malhas	sim	menor
Diagrama funcional	sim	igual
Diagrama lógico	sim	igual
Base de dados	sim	igual
Planta de instrumentação	sim	menor
Detalhe típico de instalação	sim	igual
Arranjo de painéis	sim	não tem
Diagrama de interligações de Painéis	sim	não tem
Diagrama de alimentação	sim	menor
Arranjo de armários	sim	menor
Lista de cabos	sim	menor

- **Análise de cada documento**

a) Revisão de Fluxogramas de engenharia.

A revisão dos fluxogramas, para ambas as tecnologias, SDCD e FIELDBUS serão parecidas, sendo que para o FIELDBUS, a inteligência de controle estará localizada no campo.



**Fig.4.89.**  
**Redução no hardware com a implementação de transmissores "inteligentes"**

b) Diagrama de malhas

Na tecnologia FIELDBUS haverá uma redução de trabalhos, na elaboração dos diagramas de malhas, pois serão apresentados, para cada malha, apenas a configuração de controle dos elementos de campo, pois a fiação será muito simples, não necessitando apresentar o bifilar das malhas, que estará sendo representado em documento do software de configuração contendo todas as malhas.

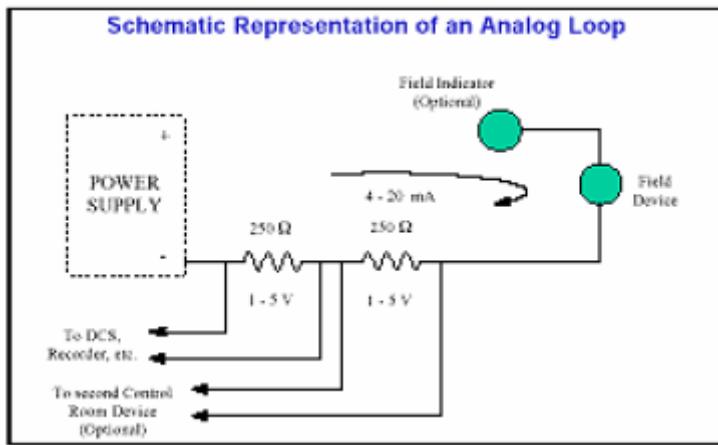


Fig.4.90.

**Representação esquemática de um loop analógico para sistemas convencionais**

c) Diagrama Funcional

Este documento não sofrerá alterações.

d) Diagrama Lógico

Este documento não sofrerá alterações.

e) Base de Dados de configuração de controle e supervisão

Haverá praticamente o mesmo volume de trabalho.

f) Planta de instrumentação

Na tecnologia FIELDBUS haverá uma grande redução de trabalhos, na elaboração deste documento, devido principalmente, ao encaminhamento de cabos e bandejas, pois, serão necessários poucos recursos mecânicos, devido a baixa utilização de cabos de interligação, principalmente com a sala de Controle.

g) Detalhes típicos de instalação

Este documento não sofrerá alterações.

h) Arranjos de painéis

Na tecnologia FIELDBUS não serão gerados estes documentos.

i) Diagrama de interligação de painéis

Na tecnologia FIELDBUS não serão gerados estes documentos.

j) Diagrama de alimentação

Esse documento no caso do FIELDBUS, será muito simples, pois a alimentação é por lotes de instrumentos e não individualmente.

k) Arranjo de armários

Caso exista este documento para o FIELDBUS, ele será muito simples, pois normalmente não haverá necessidade deste documento.

l) Lista de Cabos

No caso do FIELDBUS, essa lista, dependendo da planta, pode ser até 10% da lista comparativa com o sistema SDCD.

m) Folhas de especificação.

Na tecnologia FIELDBUS haverá uma redução nessas folhas de especificação, pois a inteligência está localizada nos elementos de campo, e não nos elementos de controle na sala de controle.

n) Lista de Material

Como haverá uma redução dos componentes de um projeto na tecnologia FIELDBUS,

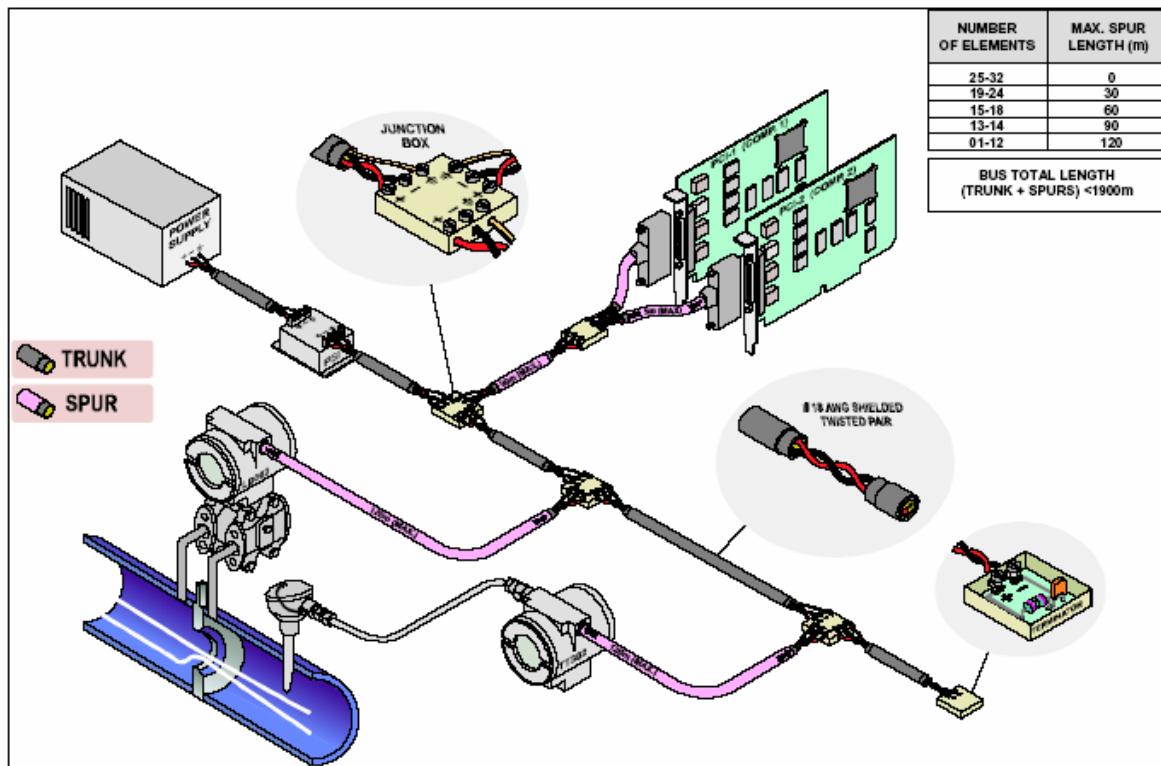
conseqüentemente a lista de material será menor.

#### **4.22.9 Detalhando um projeto FIELDBUS**

Neste capítulo são abordados os elementos básicos para a construção de um projeto FIELDBUS.

##### **A. Considerações e limitações**

Um importante aspecto na concepção de um projeto fieldbus é a determinação de como serão instalados os equipamentos que farão parte da rede. Dessa forma devem ser consideradas as distâncias máximas permitidas entre os equipamentos, ou seja, deve-se ter em mãos a planta onde será efetuado o projeto para a determinação dos melhores pontos para instalação dos equipamentos de forma a otimizar ao máximo o comprimento do barramento (trunk) e das derivações (spurs) como visto na Fig.4.91.



**Fig.4.91.**  
**Configuração Típica de Instalação**

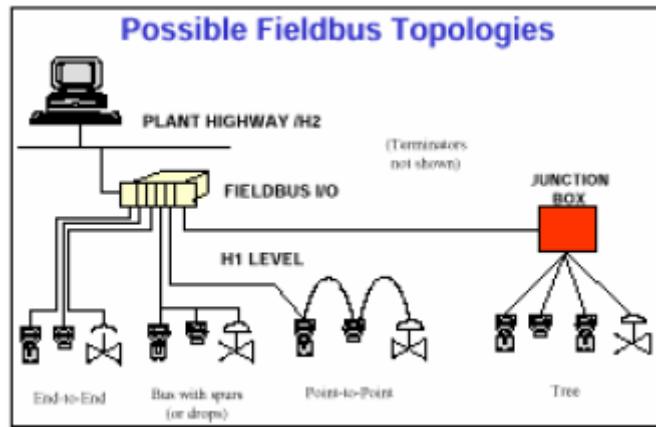
Além disso, outras características também devem ser consideradas tais como: número máximo de equipamentos ligados à uma mesma rede (um fator limitante pode ser a fonte de alimentação que deve alimentar todos os transmissores, caso o barramento seja energizado), a topologia utilizada na implementação dos equipamentos (ver próxima seção) e os elementos que constituirão a rede fieldbus conjuntamente com os equipamentos (dispositivos que permitam facilidade e agilidade quando for solicitado algum tipo de manutenção com um determinado equipamento, como por exemplo as caixas de campo).

Outro ponto a ser analisado refere-se à utilização de barreiras de segurança Intrínseca e redundância dos equipamentos. Deve-se fazer uma análise preliminar destas características no ambiente de instalação do sistema visando a maior otimização possível no que se refere às instalações dos equipamentos (número de equipamentos e comprimento de cada barramento), caso se faça necessário a utilização destes recursos.

Nas próximas seções serão abordadas com maior profundidade as topologias comumente utilizadas em sistemas fieldbus bem como os componentes de um projeto.

### **B. Possibilidades de topologias**

Várias topologias podem ser aplicadas em projetos Fieldbus. A Fig.4.92 ilustra 4 topologias que serão discutidas em detalhes a seguir. De forma a simplificar e tornar mais claro os gráficos, as fontes de alimentação e os terminadores foram omitidos destes.

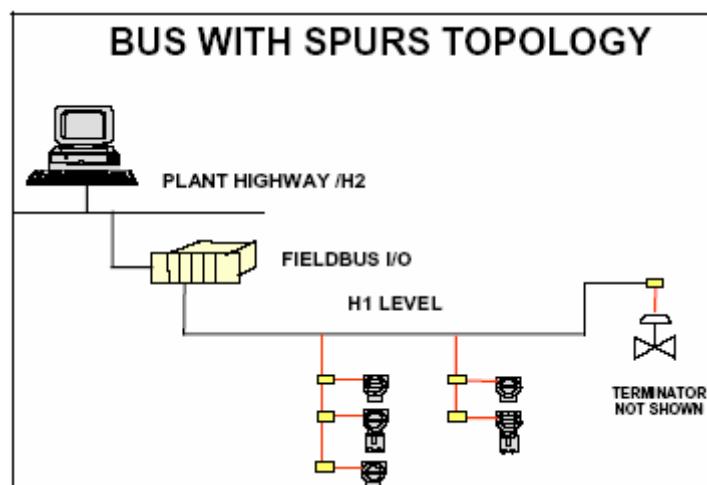


**Fig.4.92.**  
**Topologias possíveis de ligação FIELDBUS**

As topologias mais comumente utilizadas em sistemas FIELDBUS são:

1) Topologia de barramento com Spurs:

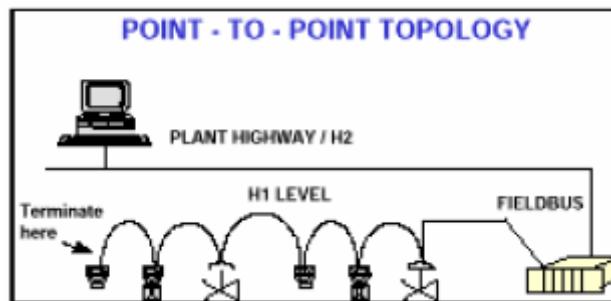
Nesta topologia utiliza-se um barramento único onde equipamentos ou barramentos secundários (spurs) são conectados diretamente a ele. Podem-se ter ainda vários equipamentos diferentes em cada spur (Fig.4.93)



**Fig.4.93.**  
**Topologia de barramento com Spurs**

2) Topologia ponto-a-ponto:

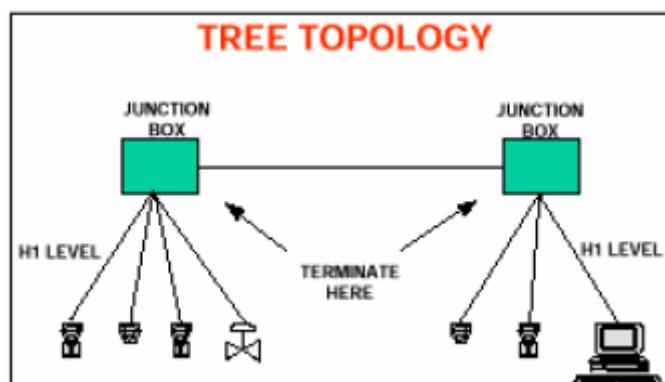
Nesta topologia tem-se a ligação em série de todos os equipamentos utilizados na aplicação (Fig.4.94). O cabo FIELDBUS é roteado de equipamento para equipamento neste seguimento e é interconectado nos terminais de cada equipamento FIELDBUS. As instalações que utilizam esta topologia devem usar conectores de forma que a desconexão de um simples equipamento não interrompa a continuidade do segmento.



**Fig.4.94.**  
**Topologia ponto-a-ponto**

3) Topologia em árvore:

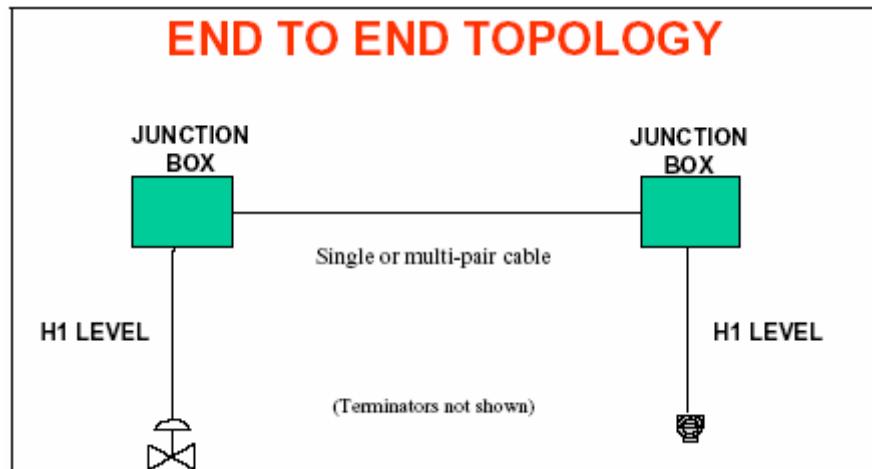
A topologia em árvore concentra em acopladores /caixas de campo a ligação de vários equipamentos. Devido a sua distribuição, esta topologia é conhecida também como “Pé de Galinha” (Fig.4.95).



**Fig.4.95.**  
**Topologia em árvore**

4) Topologia “End-to-End”

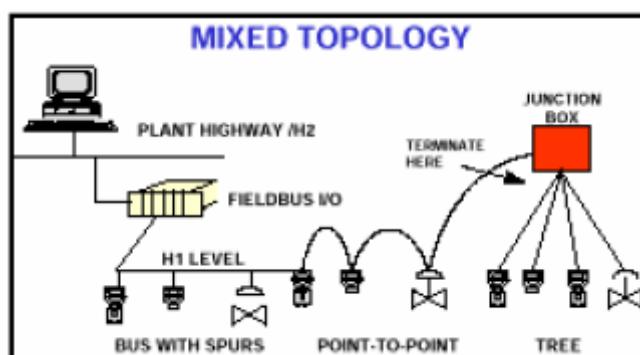
Esta topologia é utilizada quando se conecta diretamente apenas dois equipamentos. Esta ligação pode estar inteiramente no campo (um transmissor e uma válvula sem nenhum outro equipamento conectado – Fig.4.96) ou pode ligar um equipamento de campo (um transmissor) ao “Device Host” (seção 2.3.6).



**Fig.4.96.**  
**Topologia "End-to-End"**

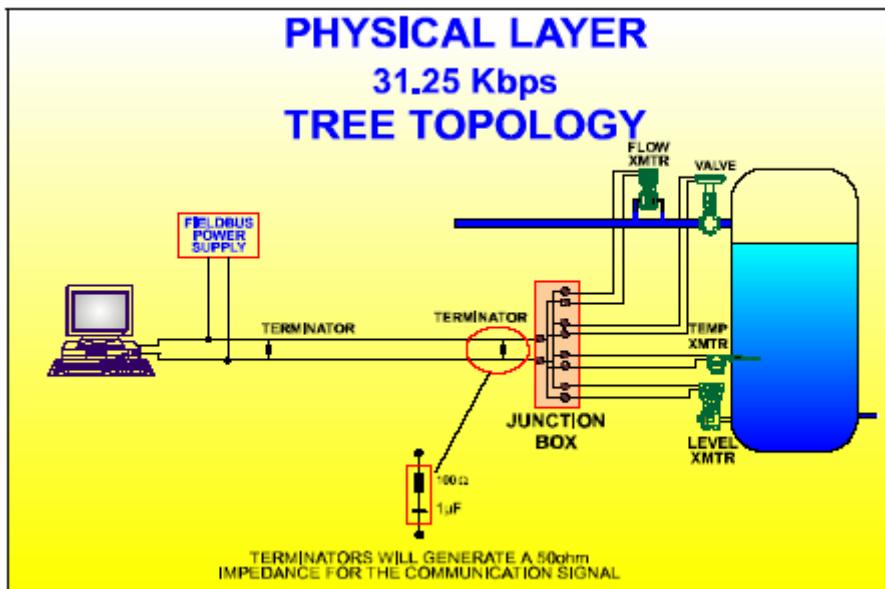
5) Topologia mista:

Nesta configuração encontra-se as 3 topologias mais comumente utilizadas ligadas entre si. Deve-se observar no entanto, o comprimento máximo do segmento que deve incluir o comprimento dos spurs no comprimento total.



**Fig.4.97.**  
**Topologia mista**

**C. Arquitetura de sistemas**



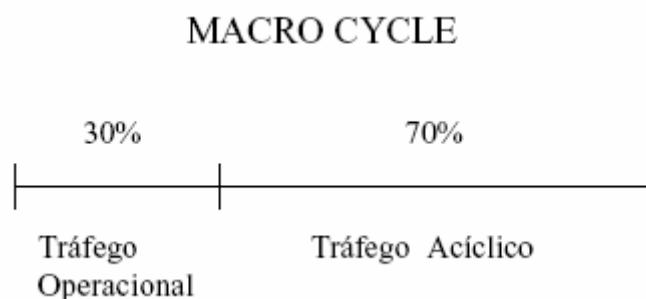
**Fig.4.98.**  
**Arquitetura de um sistema típico (topologia em árvore)**

Tempo de ciclo de supervisão de parâmetros na rede FIELDBUS.

Um importante aspecto quando se trabalha com sistemas FIELDBUS é o tempo gasto para que todos os devices da linha possam "publicar" parâmetros de controle e monitoração de um processo. Este tempo deve ser minimizado tanto quanto possível, pois se pode comprometer o tempo de atualização dos links entre os blocos funcionais que operam na malha de controle em relação a velocidade do processo.

A atualização dos links é feita a cada *Macro Cycle* (MC) e este tempo pode variar dependendo do tipo de instrumento e seus parâmetros para publicação. Num projeto, deve-se verificar o tempo do MC para comparar com o tempo crítico do processo e verificar se o MC deste barramento não compromete a dinâmica do processo.

O tempo de ciclo em um barramento Fieldbus Foundation é dividido em Tráfego Operacional (onde estão publicadas as informações de controle), que tem função cíclica e Tráfego acíclico (onde são publicadas informações não de controle, como, por exemplo, dados de monitoração ou atuações vindas do software supervisório).



**Fig.4.99.**  
**Ciclo de um Barramento**

O tempo de tráfego acíclico pode ser definido e configurado pelo usuário através do software SYSCON (o típico é  $\geq 100$  mseg).

O tempo de tráfego cíclico pode ser determinado pelo maior valor entre:

- A somatória dos tempos de execução dos blocos funcionais de cada device, e
- O cálculo do número de links externos (entre os devices) multiplicados por 30mseg.

#### 4.22.10 Uso de barreiras de proteção

##### A. Introdução

Uma explosão pode ocorrer quando se tem energia na forma de calor ou eletricidade e estas são adicionadas a uma mistura de vapores inflamáveis, ou poeiras ou fibras. As práticas de projeto inicialmente previam o uso de métodos como: caixas e invólucros a prova de explosão, invólucros com pressurização ou purga, encapsulamento em resina epoxy, imersão em óleo, preenchimento de dutos ou canaletas de passagem com talco ou areia, entre outros. Depois da Segunda guerra Mundial tivemos o surgimento da tecnologia das Barreiras de Segurança Intrínseca que é um método de limitação de energia elétrica para os instrumentos localizados na área classificada, sem ser necessário o uso dos sistemas pesados e caros da tecnologia anterior.

##### B. Normas de classificação de áreas explosivas

Como informação sobre classificação de áreas explosivas vamos nos concentrar na classificação baseada no National Electrical Code, NFPA 70, Articles 500 até 504 dos Estados Unidos e na C22, 1, Part I do Canadian Electrical Code, em ambos países as áreas perigosas são classificadas em 3 classes, dependendo do tipo de substâncias que podem estar presentes :

<b>Classe I</b> - Presença de substâncias como gases ou vapores
<b>Classe II</b> - Presença de substâncias como líquidos, fibras ou sólidos
<b>Classe III</b> - Presença de substâncias como poeiras ou talcos

Cada classificação é dividida de acordo com o nível de risco que pode estar presente:

<b>Divisão 1</b> - O perigo pode estar presente durante a condição de funcionamento normal, durante reparos ou manutenções, ou onde uma falha pode causar a falha simultaneamente do equipamento elétrico.
<b>Divisão 2</b> - Existe a presença de material combustível mas confinado em um sistema fechado, ou numa área adjacente a uma localidade Divisão 1.

Ainda temos a divisão da Classe I em 4 grupos, dependendo do tipo de gases ou vapores inflamáveis presentes:

# CST

## Arcelor Brasil

<b>Grupo A</b> - Acetileno
<b>Grupo B</b> - Hidrogênio, combustíveis ou gases de processo com mais de 30 % de hidrogênio em volume, ou gases vapores de butadieno, óxido de etileno, óxido de propileno.
<b>Grupo C</b> - Éter, etileno ou gases ou vapores de risco equivalente
<b>Grupo D</b> - Acetona, amônia, benzeno, butano, etanol, metano, gás natural, nafta, propano ou gases ou vapores de risco equivalente.

Na Classe II as localizações perigosas são subdivididas em 3 grupos :

<b>Grupo E</b> - Atmosferas contendo poeiras metálicas, incluindo alumínio, magnésio, ou outra poeira ou partículas em suspensão combustíveis
<b>Grupo F</b> - Atmosferas contendo poeiras carbonáceas, incluindo carbono preto, poeiras de carvão ou coque que tenham mais do que 8 % de voláteis ou poeiras que sejam sensibilizados por outros materiais que estejam presentes em explosões perigosas.
<b>Grupo G</b> - Atmosferas contendo poeiras combustíveis não incluídas no grupo E ou grupo F, incluindo farinha, grãos, madeira e químicos.

Na Classe III as localizações perigosas são aquelas que são perigosas por causa da presença de fácil ignição de fibras ou sólidos em suspensão, mas tal fibras ou sólidos suspensos não podem ser suspensos em quantidades suficientes para produzir misturas explosivas.

<b>Classe III, Divisão 1</b> são aqueles locais que facilmente dão ignição em fibras ou materiais que produzem combustíveis sólidos suspensos quando são manuseados, processados ou usados.
<b>Classe III, Divisão 2</b> são aqueles locais que facilmente dão ignição em fibras quando são armazenadas ou manuseadas.
Locais que pertencem a essas classes geralmente incluem partes de moinhos têxteis, algodoeiras, fábricas de produtos de madeira, fábrica de roupas manufaturadas, etc.
Fibras de fácil ignição e sólidos suspensos incluem rayon, algodão, sisal, fibra de coco, etc.

Locais de **Classe III** não são mais subdivididos.

A tabela abaixo mostra as diferenças entre as classificações Norte Americanas e as Européias de áreas de explosão.

**Tabela 4.21. Diferença entre classificações em áreas de explosão**

	Explosões contínuas	Explosões intermitentes	Condição anormal de explosão
América do Norte	Divisão 1		Divisão 2
IEC/Europa	Zona 0	Zona 1	Zona 2

A Zona 2 (IEC /Europa) e Divisão 2 (Norte Americana) são equivalentes, enquanto

# CST

## Arcelor Brasil

que a Divisão 1 corresponde as Zonas 0 e 1. Um instrumento designado para Zona 1 não pode necessariamente ser diretamente usado na Divisão 1. Na definição das normas citadas, não há quantificação de expressões “longo período de tempo” para Zona 0, e “pode estar presente” para Zona 1 e Divisão 1, e “normalmente não presente” para Zona 2.

É prática comum, para Zona 0 um nível de probabilidade de uma presença de mistura perigosa maior que 1% do tempo é aceito.

Locais classificados como Zona 1 tem um nível de probabilidade de presença de mistura perigosa entre 0.01 % e 1% (máximo 1 hr/yr), enquanto locais tipo Zona 2 podem ser considerados perigosos quando misturas estão presentes por no máximo 1hr/yr.

A principal diferença entre a classificação Norte Americana e a Européia é que não há uma tendência para equivalência para a Zona 0 Européia no sistema Norte Americano; entretanto, novas normas ISA, se adotadas, podem mudar isto.

A Zona 0 é portanto a mais perigosa. Um instrumento designado para Zona 0 deve ser incapaz de gerar ou acumular energia suficiente para dar ignição na mistura de combustível. Na Europa, os equipamentos são certificados sobre a base do design e nas características de construção, enquanto que no sistema Norte Americano, os equipamentos são classificados na base da zona da possível instalação. Na prática, os dois sistemas são equivalentes se as diferenças forem menores que as mostradas na tabela abaixo:

**Tabela 4.22. Classificação dos equipamentos em área perigosa**

Categorias Explosivas	Classificação de equipamentos		Energia de Ignição
	Europa	América do Norte	
Metano	Grupo I	Não classificada	
Acetileno	Grupo II, C	Classe I, grupo A	>20 uJoules
Hidrogênio	Grupo II, C	Classe I, grupo B	>20 uJoules
Etileno	Grupo II, B	Classe I, grupo C	>60 uJoules
Propano	Grupo II,A	Classe I, grupo D	>180 uJoules
Poeira de metal		Classe II, grupo E	
Poeira de carvão	Em preparo	Classe II, grupo F	
Poeira de grão		Classe II, grupo G	
Fibras		Classe III	



Ignição  
mais fácil

Cada subgrupo do grupo II e da Classe I está associado com um certo número de gases tendo uma energia de ignição incluída nos valores documentados e está representado por um gás referenciado na tabela acima que é usada para testes de certificação.

O Grupo II, C e a Classe I, Grupos A e B são mais perigosos, pois necessita de menor quantidade de energia ignição. Um equipamento designado para estes grupos devem ser incapazes de dar ignição, por meios elétricos, alguma mistura potencialmente explosiva de ar/gás.

### C. Definição de segurança intrínseca

Segurança intrínseca (SI) é um método que segue atmosferas inflamáveis encontradas em uma área de explosão vindo de um contato com equipamento elétrico externo causando uma explosão, esta segurança é acompanhada por limites de valores de tensão e corrente que podem ocasionar

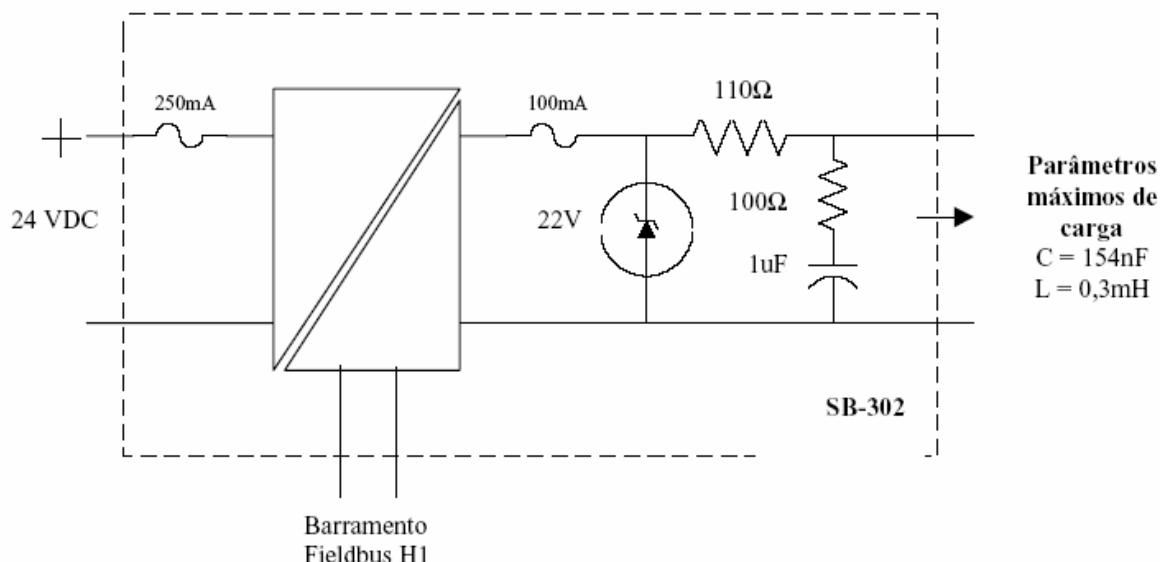
faíscas ou aquecimento de superfícies como resultado das condições normais de operação ou quedas elétricas estão também causando ignição. Características de ignição de materiais inflamáveis são caracterizadas por dois parâmetros não relacionados: a mínima quantidade de energia de ignição de faiscamento necessária para criar uma explosão no gás inflamável especificado, e a mínima temperatura de uma superfície aquecida que terá o mesmo efeito.

#### D. A tecnologia Fieldbus Foundation e a Segurança Intrínseca

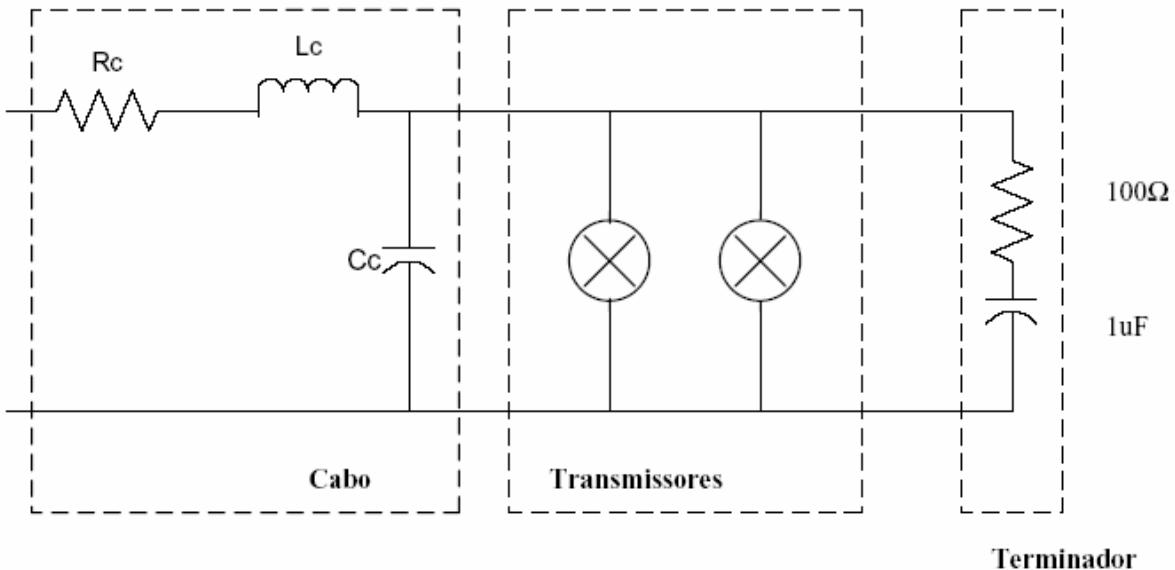
A norma ANSI/ISA – S50.02 – 1992 estabelece que se pode conectar de um até 4 instrumentos (depois das Barreiras de Segurança Intrínsecas) nas áreas perigosas e mais dois equipamentos nas áreas seguras no mesmo barramento.

Com as limitações de energia disponíveis para cada equipamento na área perigosa, alguns instrumentos precisarão ser alimentados através de outras fontes de tensão. Portanto, equipamentos tais como analisadores de processo, subsistemas de I/O, medidores magnéticos ou por efeito Coriolis poderão combinar segurança intrínseca com outras técnicas de instalação ou contenção para proteção contra possíveis explosões.

#### E. Projeto com Barreiras de Segurança Intrínseca (SB-302)



**Fig.4.100.**  
**Esquema básico da Barreira de Segurança Intrínseca**



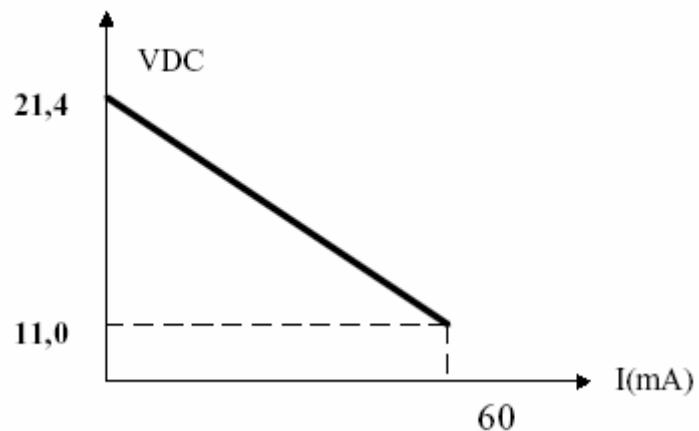
**Fig.4.101.**  
**Círcuito elétrico equivalente de Instalação de Campo**

Onde:

$R_c$  – resistência do cabo  $C_c$  – capacidade equivalente

$L_c$  – indutância do cabo  $C_{eq}$  – capacidade equivalente

Característica tensão x corrente do lado da saída para área classificada

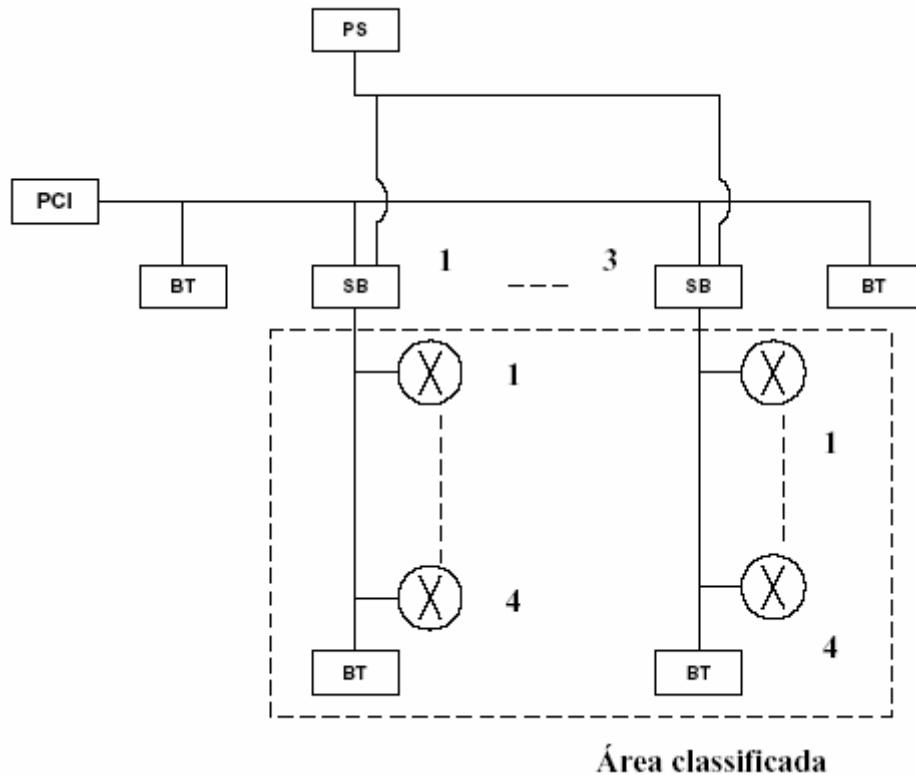


**Fig.4.102.**  
**Curva de carga a Barreira de Segurança Intrínseca**

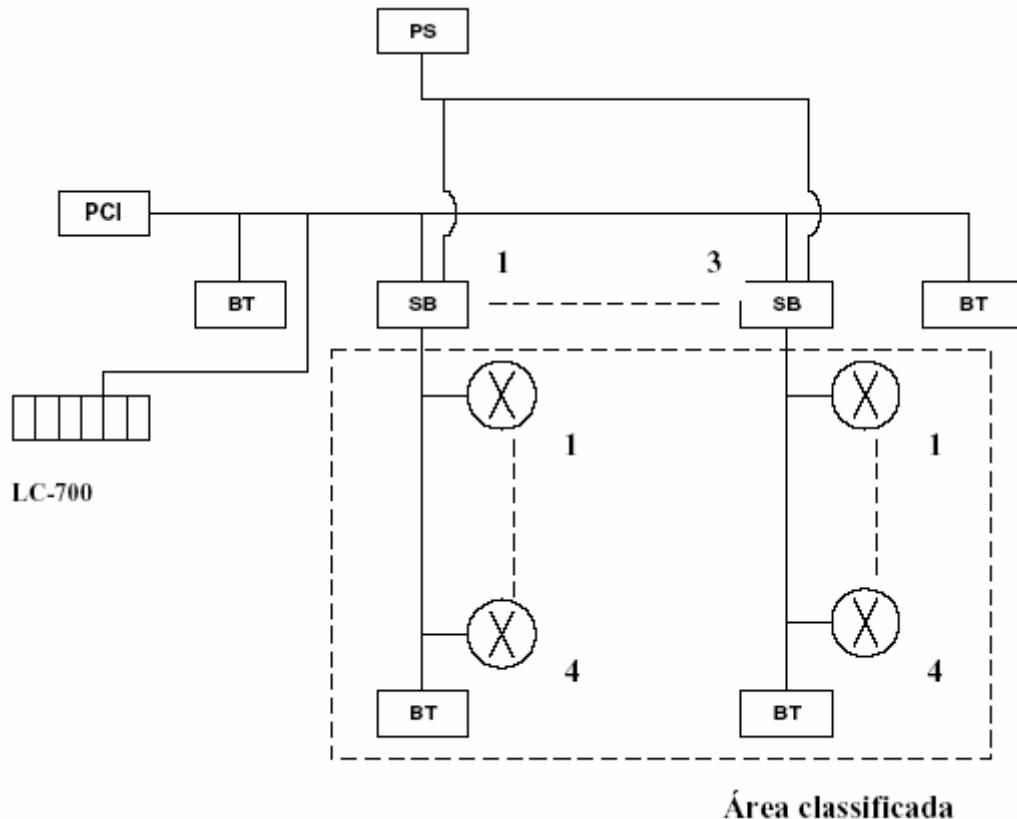
Observação: A barreira não deve ser aterrada, somente a blindagem do cabo deve ter continuidade.

#### F. Possibilidade de Topologias com barreiras de Segurança Intrínseca

Na arquitetura das figuras seguintes temos a conexão somente de elementos passivos no barramento de comunicação fieldbus. Neste caso não é necessária alimentação de 24VDC para a linha, somente instalar os casadores de impedância no início e no final do barramento.

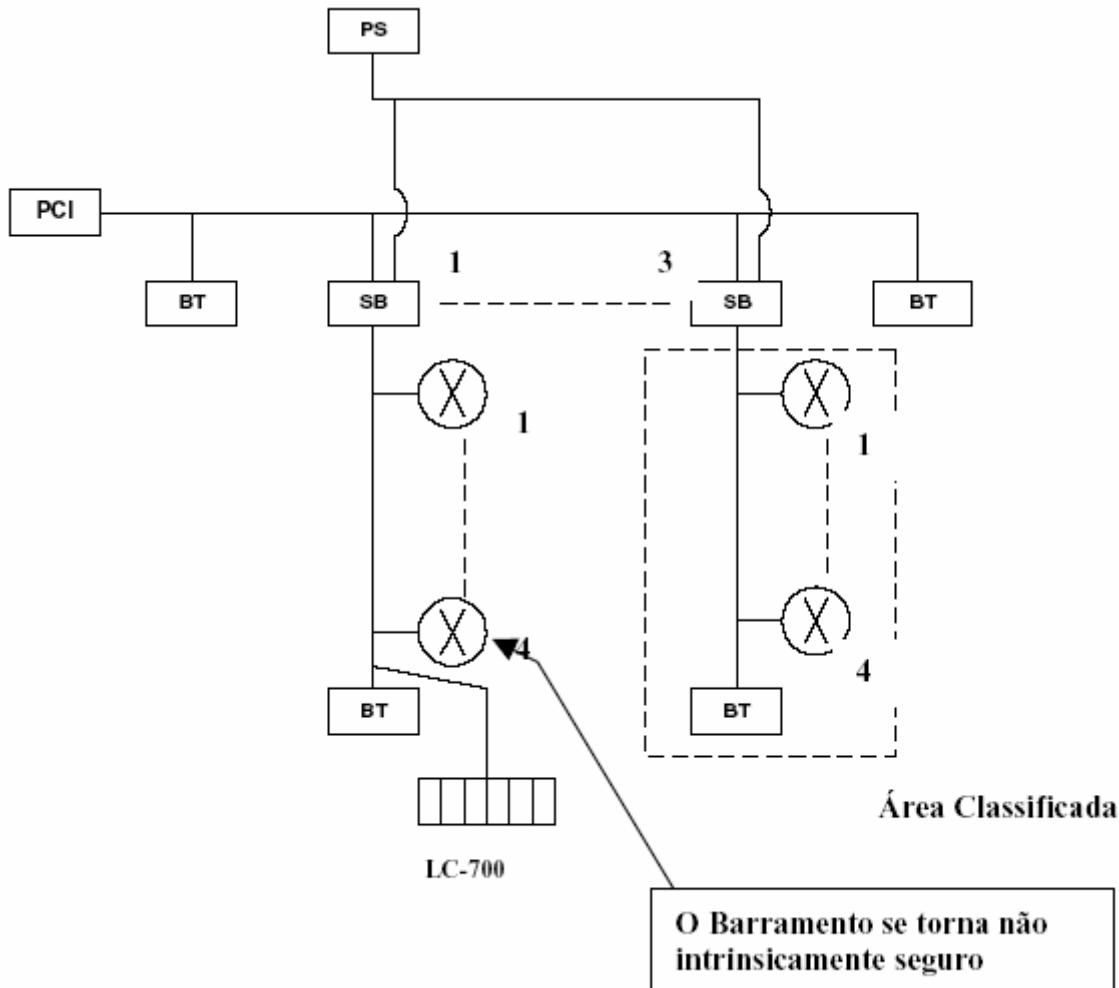


**Fig.4.103.**  
**Conexão somente com Barreiras no Barramento Fieldbus**



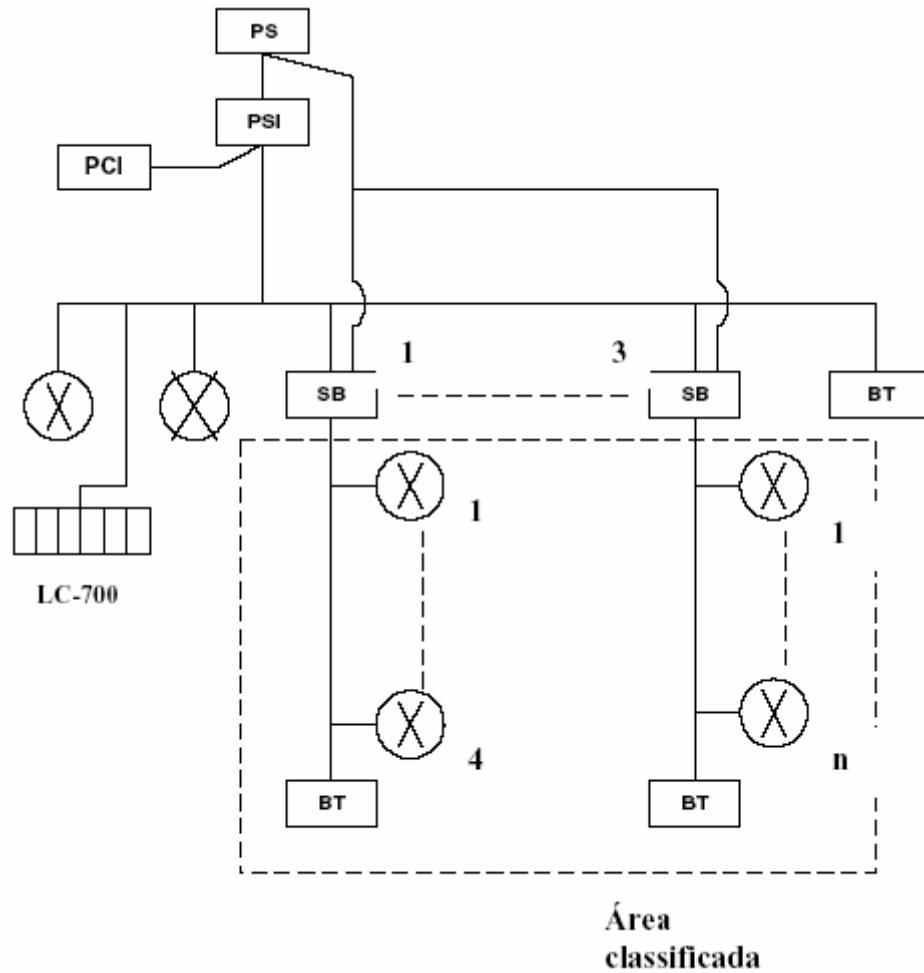
**Fig.4.104.**  
**Conexão com Barreiras e Interface FB card no Barramento Fieldbus**

Na figura abaixo temos a interligação no campo de uma interface que não é intrinsecamente segura, neste caso o barramento após a Barreira perde a sua característica de proteção intrínseca.



**Fig.4.105.**  
**Conexão de interface não Intrinsecamente Segura no Barramento após a Barreira**

Na figura abaixo temos a conexão de elementos ativos no barramento antes da Barreira, neste caso é necessária a alimentação do barramento, que é feita da maneira tradicional com terminadores ativos e passivos.



**Fig.4.106.**

**Conexão de elementos ativos e passivos no Barramento Fieldbus antes da Barreira de Segurança**

#### 4.22.11 Componentes de um projeto FIELDBUS e suas características

Nesta seção serão abordados os principais componentes utilizados em um projeto FIELDBUS.

#### 4.22.12 Cabos

De acordo com os requisitos da norma ISA-S50.02, o cabo utilizado para ligar equipamentos FIELDBUS com o modo de voltagem de 31,25 Kbit/s pode ser um simples par de fios trançados

com a sua blindagem atendendo os seguintes requisitos mínimos (a 25 °C):

- a)  $Z_0$  em fr (31,25 KHz) =  $100 \Omega \pm 20\%$ ;
- b) Atenuação máxima em 1,25 fr (39 KHz) = 3.0 dB/Km;
- c) Máxima capacidade não balanceada da blindagem = 2 nF/Km;
- d) Resistência DC máxima (por condutor) =  $22 \Omega / \text{Km}$ ;
- e) Atraso máximo de propagação entre 0,25 fr e 1,25 fr = 1.7 us/Km;
- f) Área seccional do condutor (bitola) = nominal 0,8 mm<sup>2</sup> (#18 AWG);
- g) Cobertura mínima da blindagem deverá ser maior ou igual a 90%.

O cabo tipo A se enquadra nas especificações para novas instalações de cabos FIELDBUS. A maioria dos cabos utilizados para o sistema 4-20 mA podem ser classificados como tipos B, C e D. Estes tipos (B, C e D) não são considerados ideais para a comunicação FIELDBUS. As distâncias listadas para os tipos B, C e D são apenas estimativas baseadas em cabos instalados. A tabela a seguir mostra os tipos de cabo com seus respectivos comprimentos máximos:

**Tabela 4.23 - Tipos de cabos e comprimentos máximos**

Tipo	Descrição	Bitola	Comprimento Máximo
A	par trançado com blindagem	#18 AWG	1900 m
B	multi-pares trançados com blindagem	#22 AWG	1200 m
C	multi-pares trançados sem blindagem	#26 AWG	400 m
D	múltiplos condutores sem blindagem	#16 AWG	200 m

#### A. Aterramento, “shield” e polaridade.

##### ATERRAMENTO:

As regras de aterramento para um sistema FIELDBUS devem ser utilizadas sem conformidade com a instalação e manutenção do nível físico que seguem práticas padrões de corrente baseadas na empresa, padrões de plantas e padrões internacionais.

Os equipamentos FIELDBUS não devem conectar ao terra nenhum dos condutores do par trançado em nenhum ponto da rede pois isto provocaria a perda da comunicação entre os equipamentos deste barramento cujo condutor fosse aterrado.

##### SHIELDS:

O shield (blindagem) do cabo FILEDBUS é, por prática padrão, aterrado em apenas uma de suas pontas ao longo do cabo e não deve ser utilizado como condutor de energia.

É uma prática padrão em algumas plantas o aterramento do mesmo shield em mais de um ponto ao longo do cabo. Esta prática pode ser aceita em loops de controle de 4-20 mA DC mas pode causar interferências no sistema FIELDBUS. Se um esquema de múltiplo aterramento é utilizado, os requisitos para o aterramento do shield destes cabos devem ser revistos.

##### POLARIDADE:

Todos os sistemas endereçados por este tipo de aplicação devem ser sensíveis à polarização. Baseado nos padrões de nível físico, não há nenhum requerimento para que os equipamentos sejam insensíveis à polaridade, apesar de alguns equipamentos poderem ser ou não polarizados. O meio (par trançado) deve indicar a polaridade e a esta deve ser mantida em todos os pontos de conexão.

### B. Comprimento dos barramentos

O comprimento máximo indicado nas especificações são recomendações contendo um fator de segurança que reduz satisfatoriamente os problemas de comunicação. Em geral, a distância máxima do cabo relaciona-se com o tipo de cabo e suas características, a topologia utilizada e o número e tipo dos equipamentos utilizados.

A mínima tensão para funcionamento dos equipamentos FIELDBUS é de 10 V DC, portanto deve-se calcular a queda de tensão que ocorre no cabo, desde a fonte de alimentação até o equipamento, de forma a verificar se esta condição é atendida.

### C. Conectores

Os conectores são dispositivos opcionais que são muito utilizados em instalações onde os equipamentos devem ser periodicamente desconectados e/ou movidos, e poderia ser utilizada em uma conveniente conexão de um equipamento temporário num determinado local.

Os conectores FIELDBUS devem seguir as especificações da *IEC/ISA Physical Layer Standard, Annex B* (anexo - Informações Gerais).

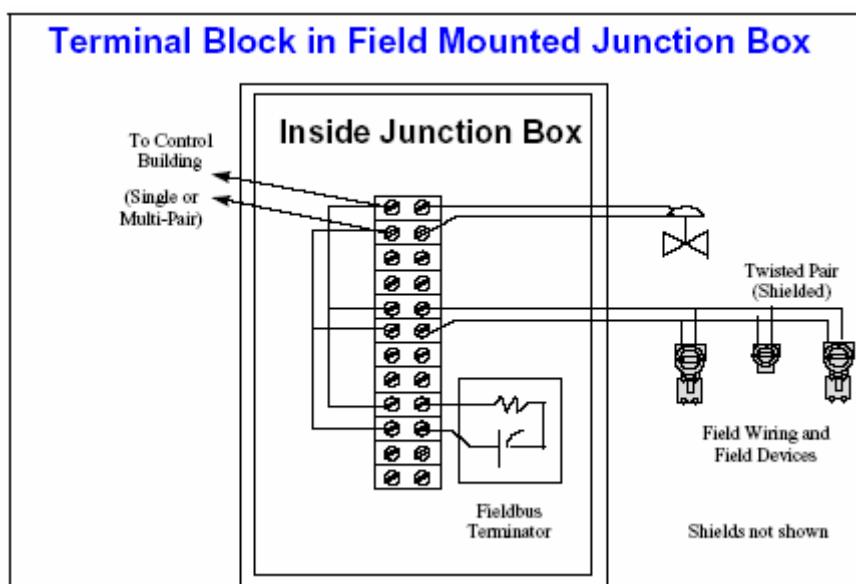
Neste mesmo anexo encontram-se especificações técnicas de conectores comerciais.

### D. Blocos de terminais

O mesmo bloco terminal utilizado para 4-20 mA pode ser usado para FIELDBUS, se conectado como mostra a Fig.4.107.

Os blocos terminais possibilitam múltiplas conexões de barramentos de modo que um equipamento pode ser conectado a qualquer set de terminais de barramento.

O diagrama da Fig.4.107 mostra um método de conexão e terminação de um segmento FIELDBUS a vários equipamentos de campo em uma caixa de campo.



**Fig.4.107.**  
**Terminador interno à uma caixa de campo**

### E. Host Devices"

O “Host Device” é um equipamento ligado ao sistema FIELDBUS com o qual pode-se configurar, monitorar e interagir com o processo sem a necessidade de se permanecer no campo. Pode ser um SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído), um sistema SCADA ou um microcomputador da linha PC que deve ter ao menos as seguintes características:

- a) Microprocessador Intel Pentium II MMX, 233Mhz;
- b) Placa de vídeo SVGA com 4 Mbytes de memória;
- c) 64 Mbytes EDO RAM;
- d) HD 4.1 Gbytes;
- e) 1 drive 3 1/2 " 1.44 Mbytes;
- f) 1 porta paralela e 2 portas seriais;
- g) Monitor SVGA colorido 20";
- h) Mouse PS/2;
- i) CD-ROM 24X-IDE
- j) Teclado ABNT padrão;
- k) Placa de rede NE2000
- l) Sistema Operacional Windows NT Workstation – Service Pack 3 instalado

#### F. Repetidores, “Bridges” e “Gateways”.

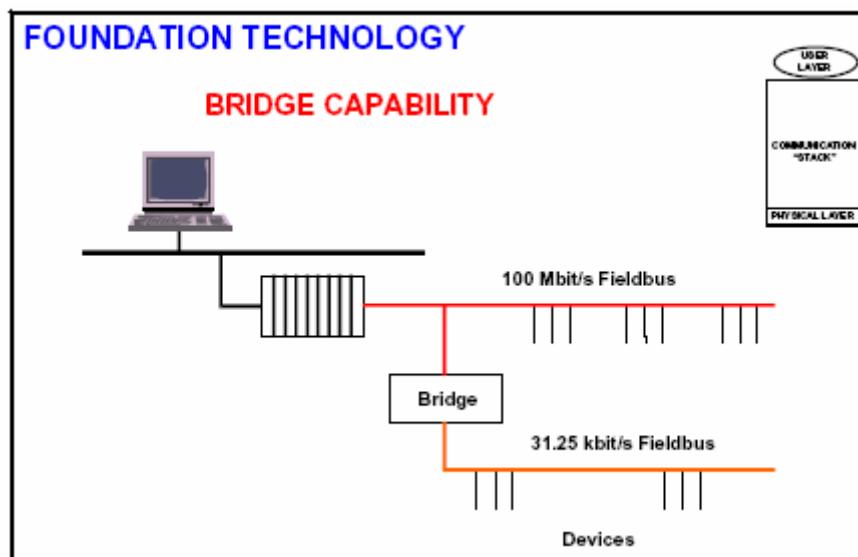
##### REPETIDOR:

É um equipamento com barramento energizado ou não, utilizado para extender um segmento FIELDBUS.

Podem ser utilizados no máximo 4 repetidores e/ou acopladores ativos entre quaisquer 2 equipamentos num segmento FIELDBUS utilizando 4 repetidores, a máxima distância entre quaisquer 2 equipamentos num segmento é de 9.500 metros como mostra a Fig.4.74.

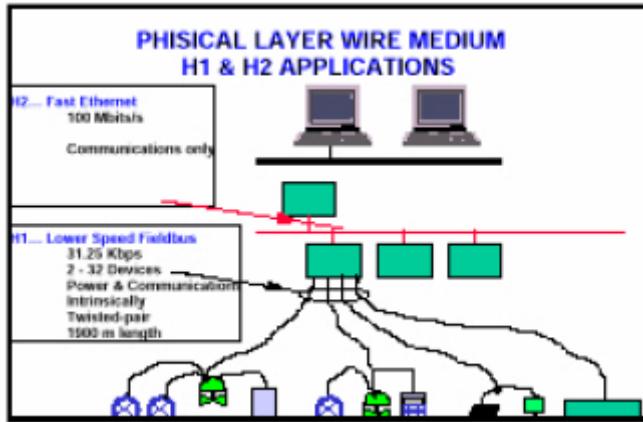
##### BRIDGE:

É um equipamento com barramento energizado ou não, utilizado para conectar segmentos FIELDBUS de diferentes velocidades (e/ou níveis físicos como fios, fibras ópticas, rádio, etc.) a fim de formar uma extensa rede (Fig.4.108).



**Fig.4.108.**  
**Extendendo o sistema com o uso de Bridges**

Normalmente são utilizadas as bridges como interfaces entre os níveis H1 e H2 de uma aplicação (Alta e Baixa velocidade de transmissão, respectivamente), como pode ser visto na Fig.4.108.



**Fig.4.109.**  
**Interfaceamento entre os níveis H1 e H2 utilizando Bridges**

#### GATEWAY:

É um equipamento com barramento energizado ou não utilizado para conectar um ou mais segmentos em outros tipos de protocolo de comunicação como Ethernet, RS232, MODBUS, etc.

#### 4.22.13 Tipos de Equipamentos

Nesta seção são apresentados os equipamentos da linha 302 da SMAR desenvolvidos para operar especificamente como instrumentos fieldbus. Para tanto, optou-se pela utilização dos manuais técnicos de cada um dos equipamentos que são apresentados abaixo.

- Interface FIELDBUS controladora de processos (PCI)
- Fonte FIELDBUS de alimentação (PS 302)
- Filtro FIELDBUS para Barramento (PSI 302)
- Barreiras FIELDBUS de segurança intrínseca (SB 302)
- Terminador FIELDBUS (BT 302)
- Transmissor FIELDBUS de pressão (LD 302)
- Transmissor FIELDBUS de temperatura (TT 302)
- Conversor de FIELDBUS para corrente (FI 302)
- Conversor de corrente para FIELDBUS (IF 302)
- Conversor pneumático para FIELDBUS (FP 302)
- Posicionador Fieldbus (FY 302)
- Controlador Lógico Programável com interface FIELDBUS (LC700)

O **DFI302** é o elemento chave de interface em um sistema de controle de campo. Ele combina poderosos recursos de comunicação, com acesso direto a entradas e saídas e controle avançado para aplicações contínuas e discretas. Com seu conceito modular, o DFI302 pode ser localizado dentro de painéis na sala de controle, ou caixas seladas no campo. Altamente expansível ele pode ser utilizado em pequenos sistemas ou plantas altamente complexos.

# CST

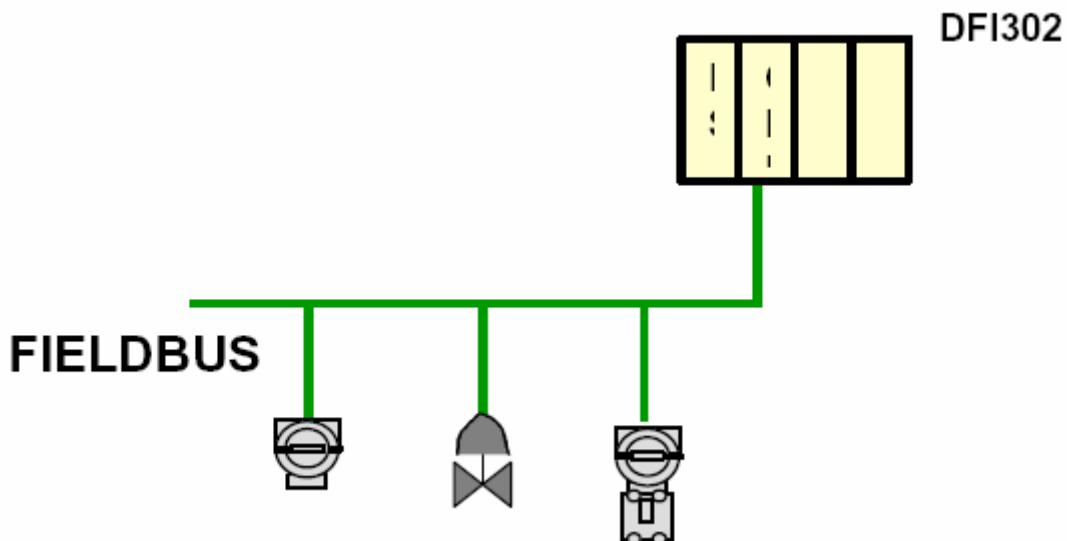
## Arcelor Brasil

Funciona como bridge H1-H1, H1-HSE (HIGH SPEED ETHERNET) ou H1-HSE-H1, e também como mestre dos barramentos H1, gerenciando a comunicação em cada canal.



**Fig.4.110.  
DFI302**

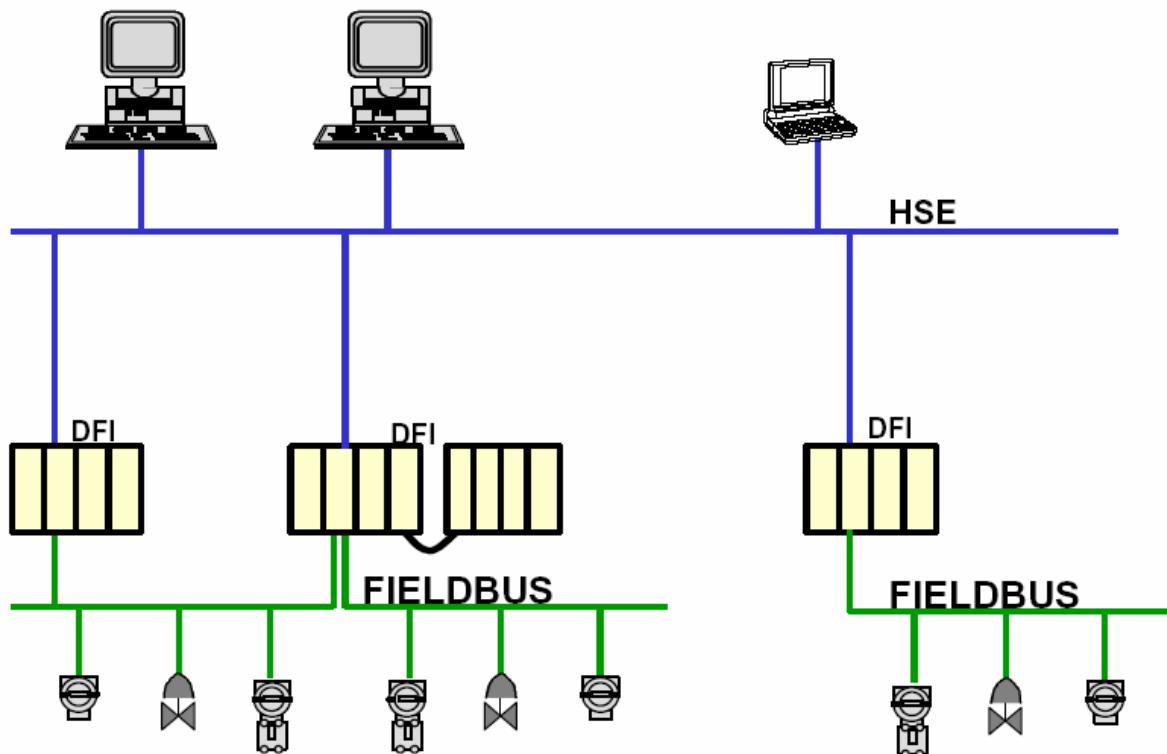
Permitem a execução de diversos blocos funcionais, inclusive novos blocos flexíveis, programados com linguagem IEC 1131 (Ladder, SFC, etc.).



**Fig.4.111.**

### Topologia de rede

Funciona como gateway entre HSE ou H1 e outros protocolos que não FF (Fieldbus Foundation), como Devicenet, Profibus, etc.



**Fig.4.112**  
Níveis da Rede

Vários níveis de redundância são suportados no HSE, desde a mídia Ethernet até a duplicação completa de Linking Devices, o que proporciona um alto nível de disponibilidade do sistema. Além disso, a comunicação em 100Mbit/s garante alta performance para aplicações de pequeno e grande porte, a um custo consideravelmente mais baixo que as antigas soluções baseadas em DCS.

#### 4.22.14 Exemplo de documentação de um projeto

Nesta seção é apresentado um exemplo de documentação de um projeto FIELDBUS real.

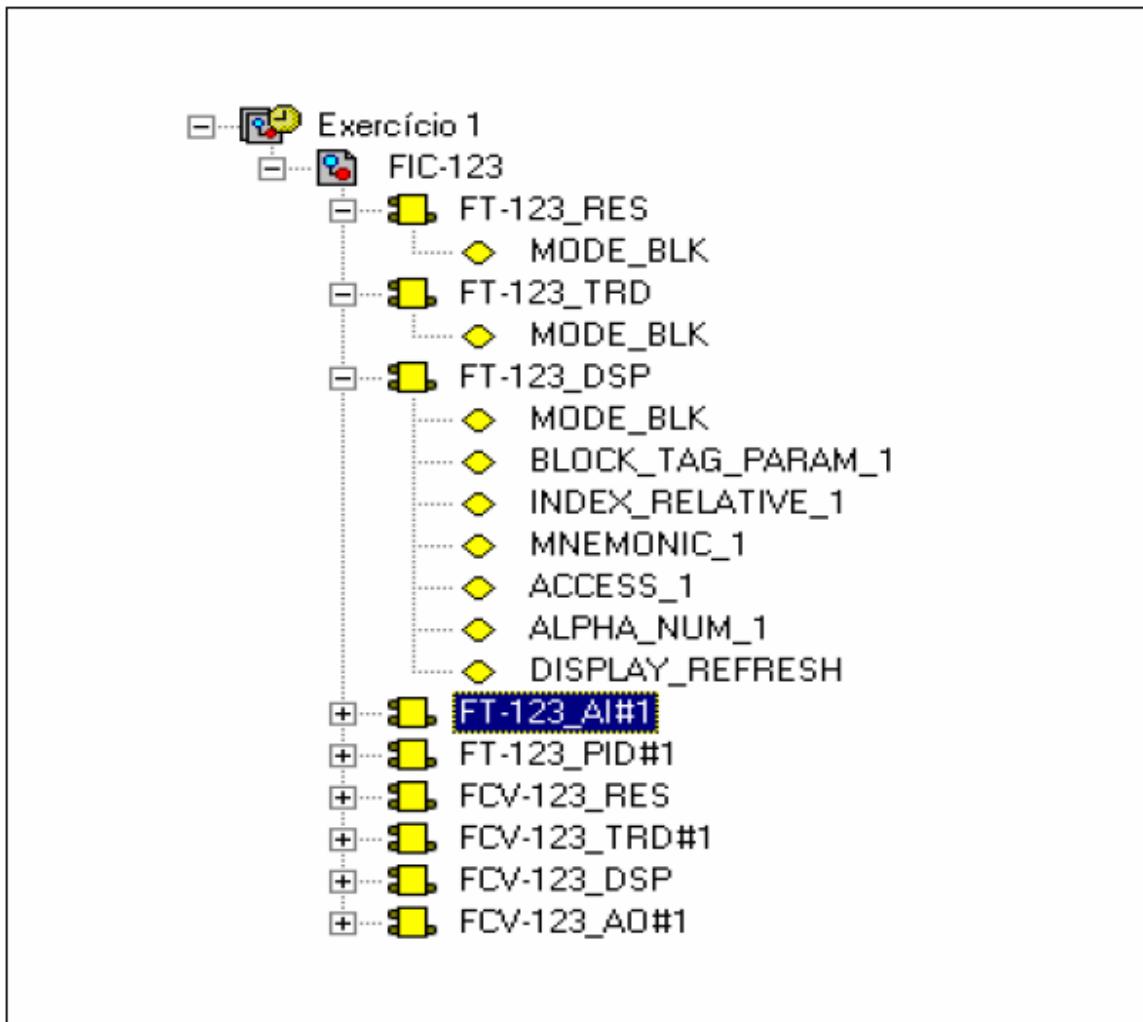
Inicialmente são apresentados os documentos referentes aos diagramas de alimentação e de interligação de um projeto em FIELDBUS. Em seguida, são apresentadas algumas telas elaboradas para um software supervisório onde são apresentados ao usuário os parâmetros e variáveis do processo em tempo real de supervisão.

Através do software configurador (SYSCON - abordado no capítulo 3) o projeto é dividido em duas etapas: configuração lógica (arranjo lógico do processo dividido em células de processo e módulos de controle) e distribuição física da rede de instrumentos (distribuição física dos instrumentos nas bridges /interfaces). Ambas etapas são apresentadas na forma de browsers

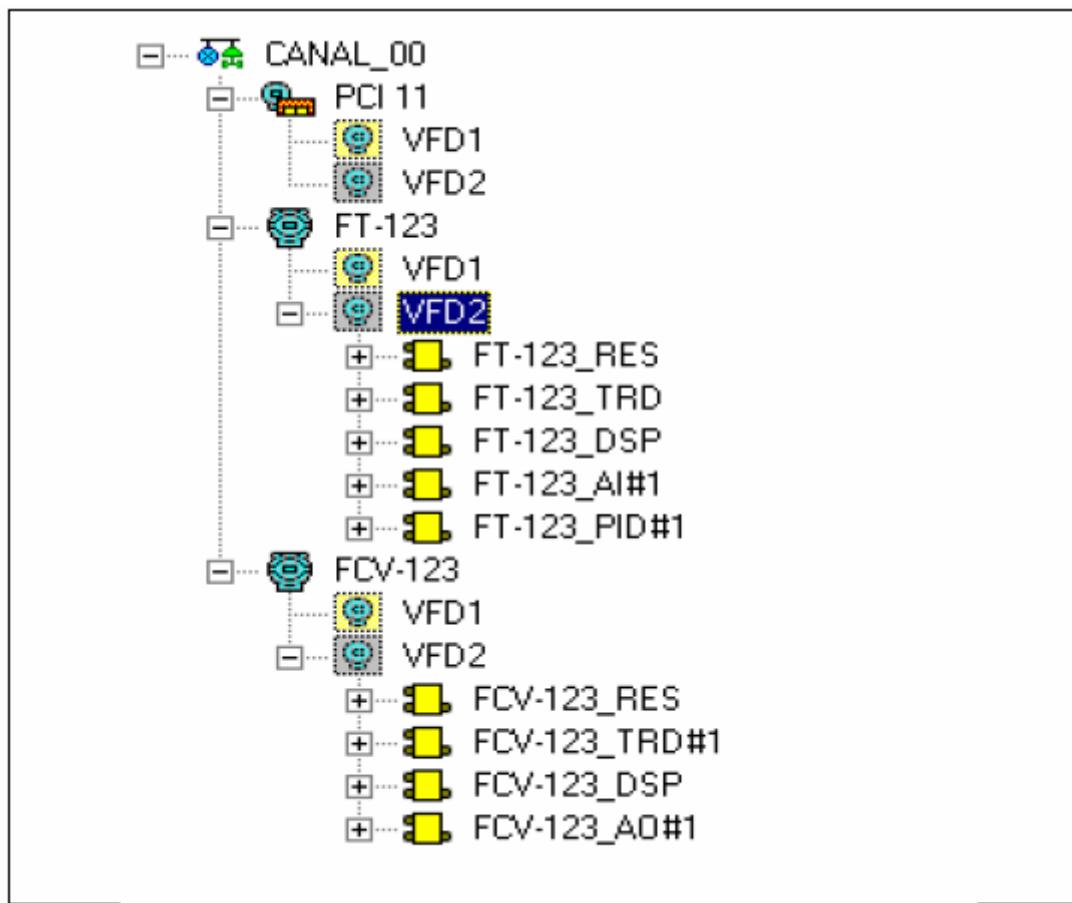
# CST

## Arcelor Brasil

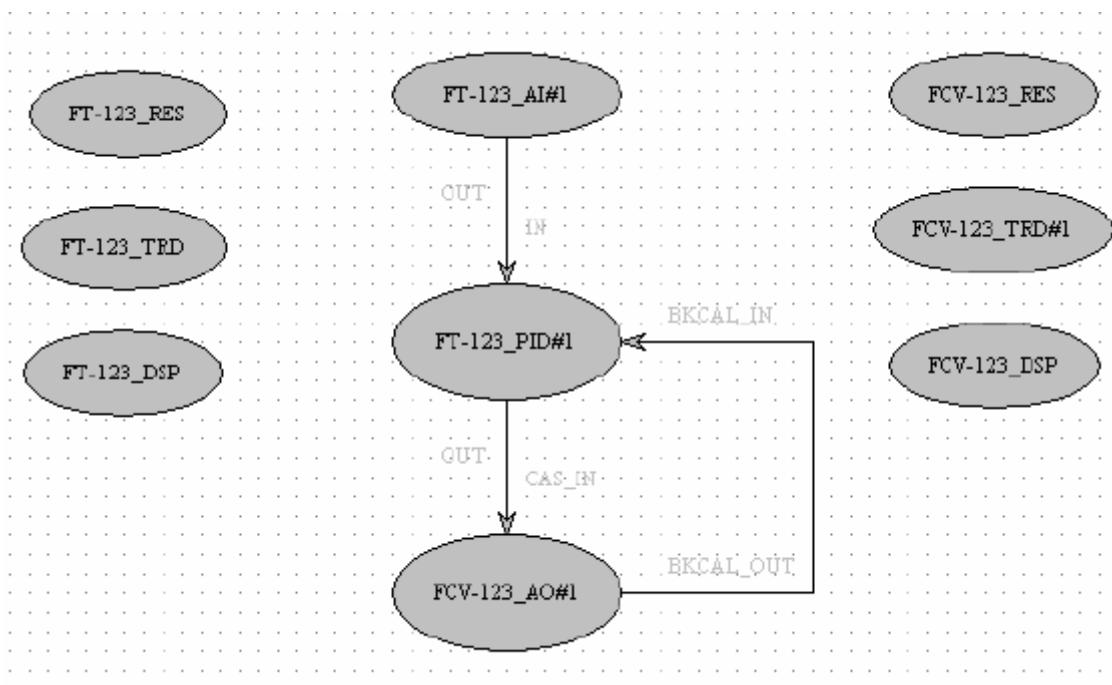
(vide figuras abaixo) que podem ser impressos para gerar a documentação. Os interligamentos entre os blocos funcionais (links) realizados nas janelas de estratégia também podem ser impressos para complementar a documentação (vide figura).



**Fig.4.113.**  
Arranjo lógico



**Fig.4.114.**  
**Distribuição Física dos instrumentos**



**Fig.4.115.**  
**Diagrama de blocos funcionais**

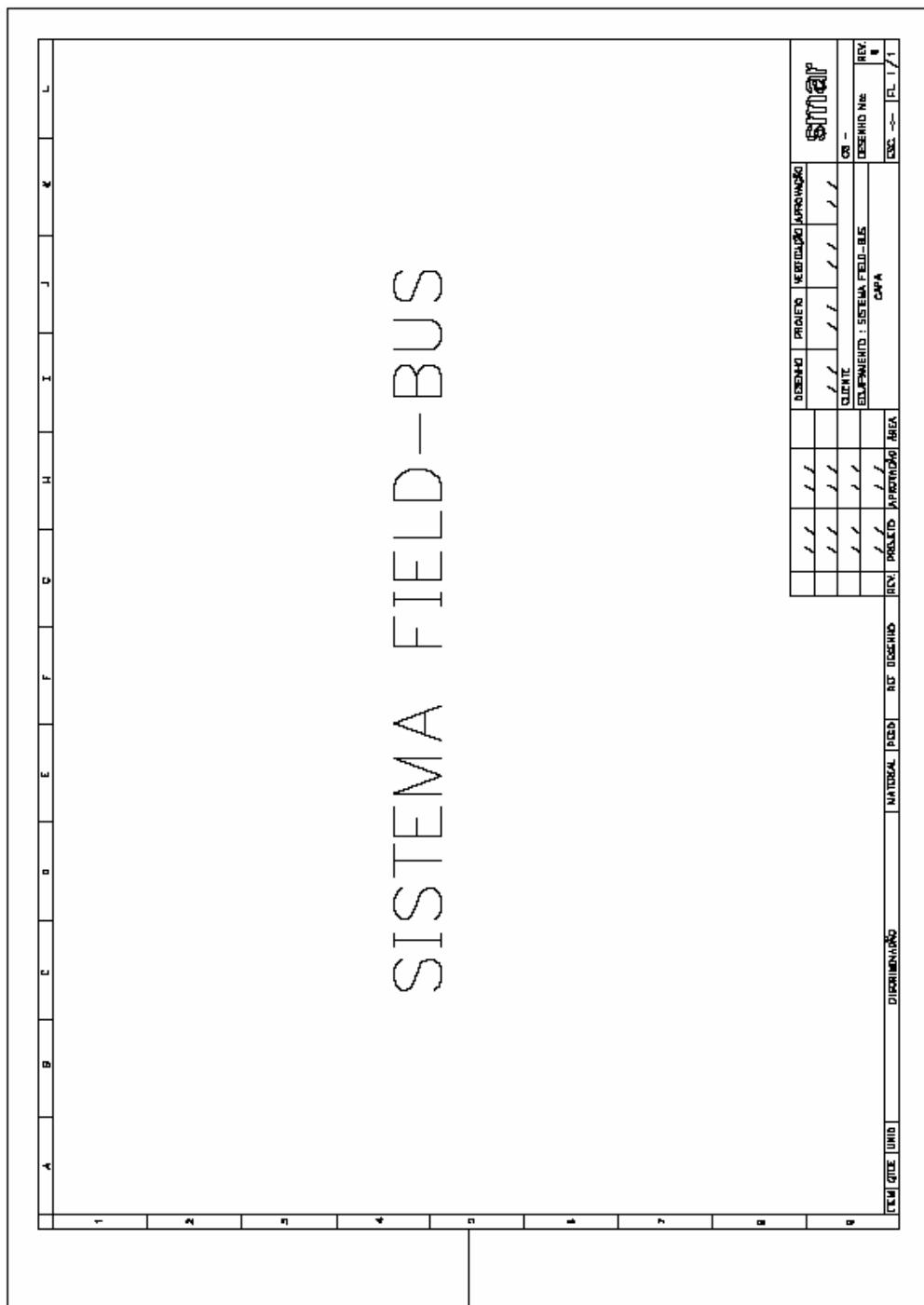


Fig.4.116.  
Projeto FieldBus – Parte 1

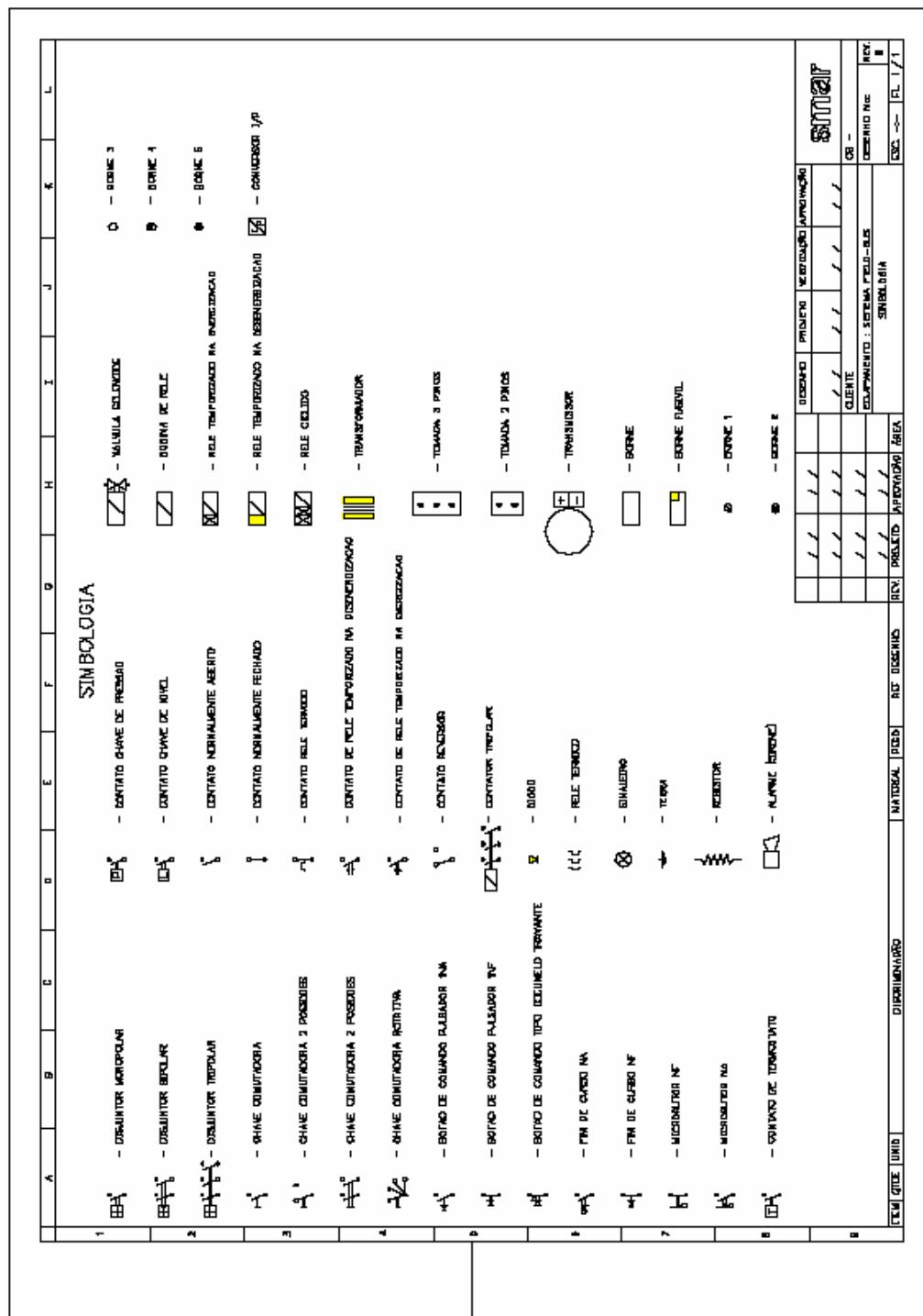


Fig.4.117.  
Projeto FieldBus – Parte 2

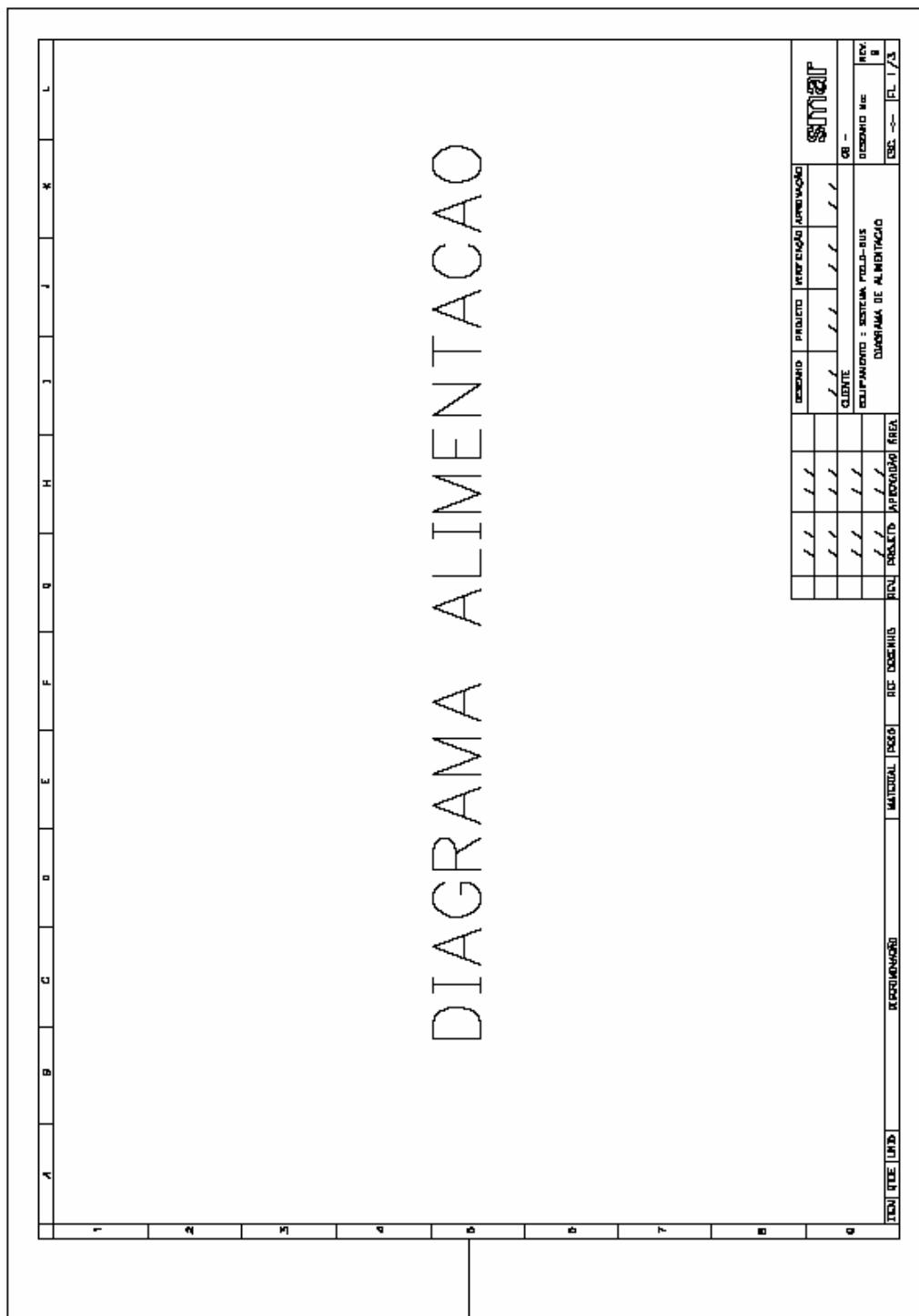


Fig.4.118.  
Projeto FieldBus – Parte 3

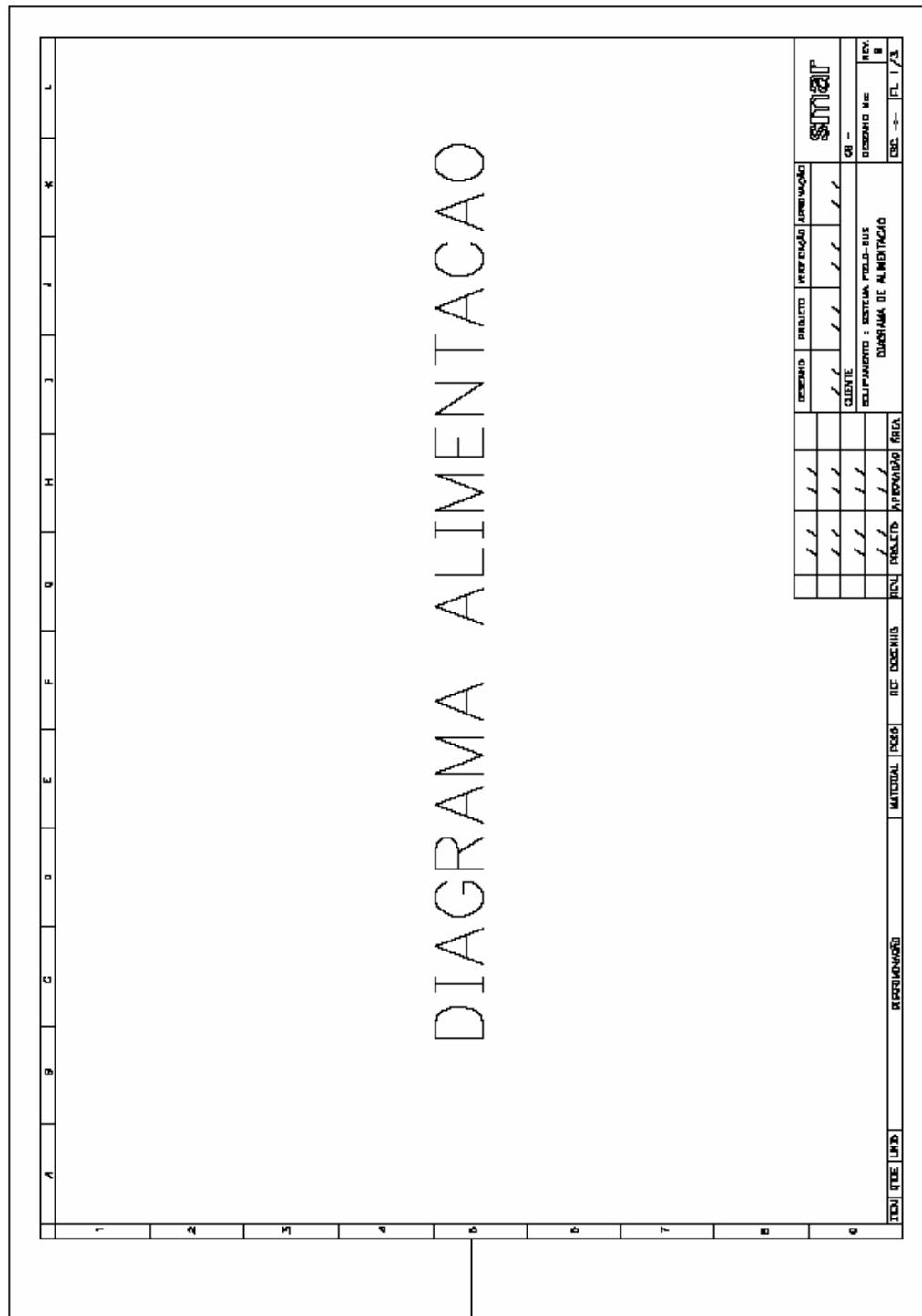
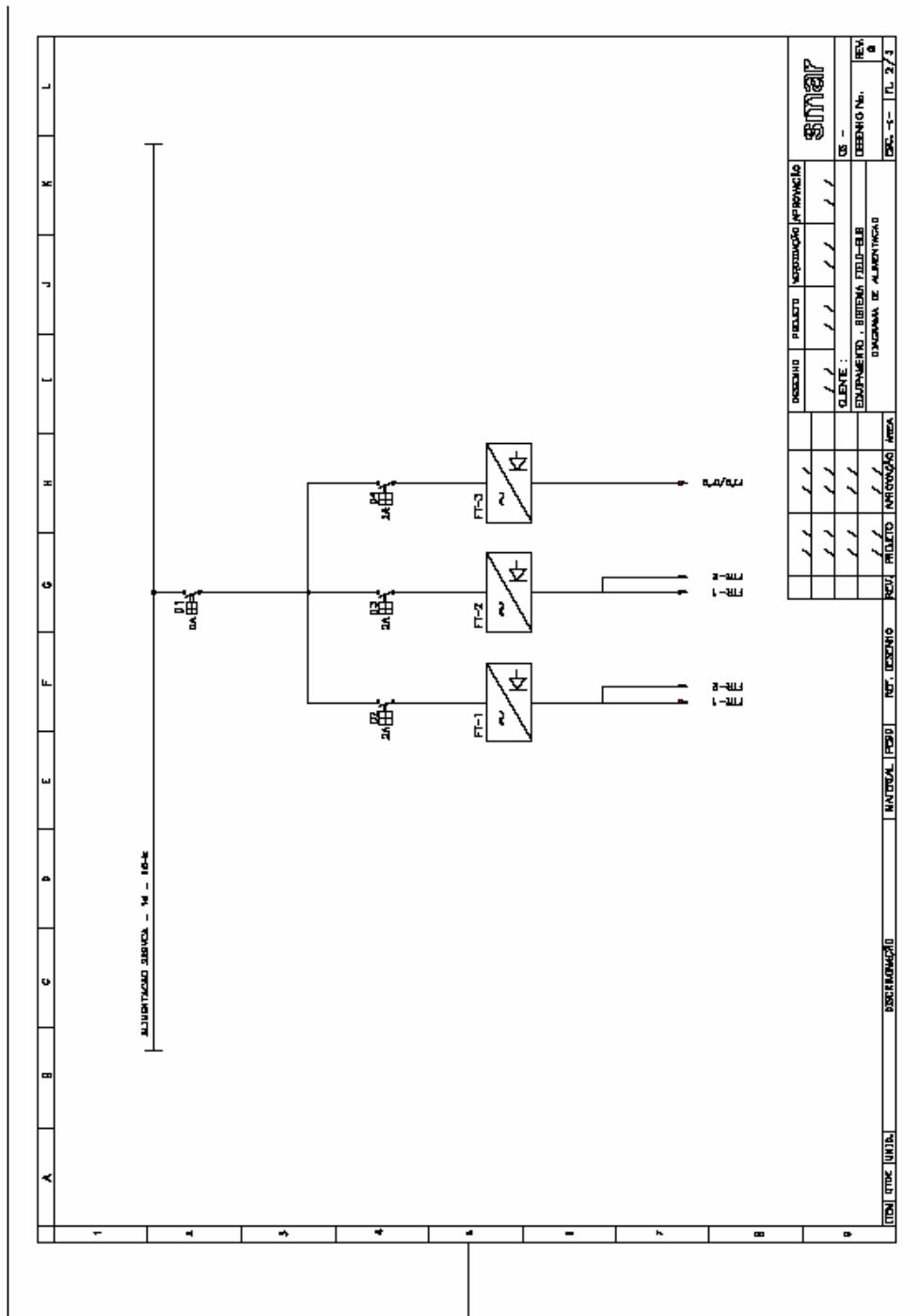
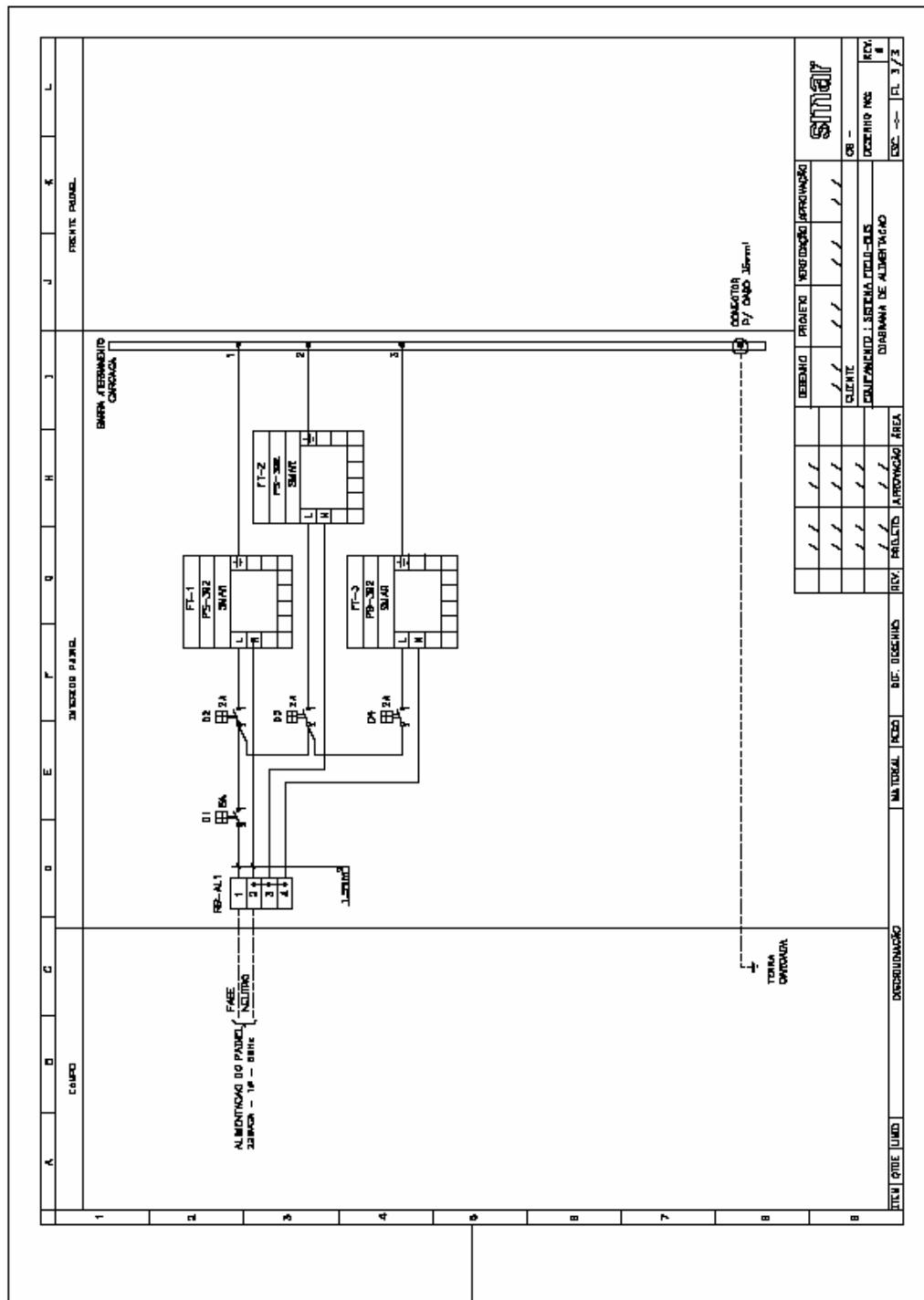
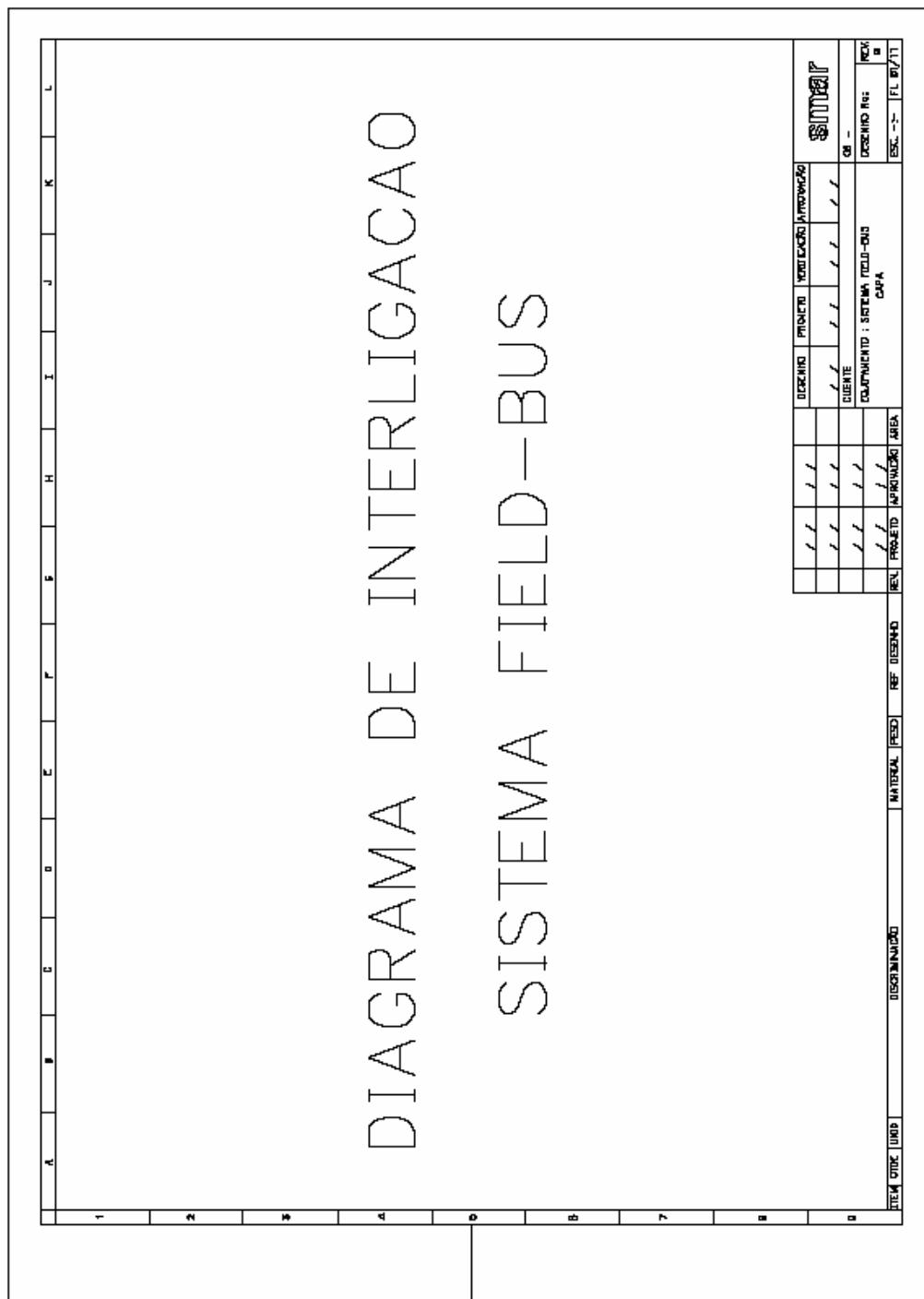


Fig.4.119.  
Projeto FieldBus – Parte 4



**Fig.4.120.**  
**Projeto FieldBus – Parte 5**





**Fig.4.122.**  
**Projeto FieldBus – Parte 7**

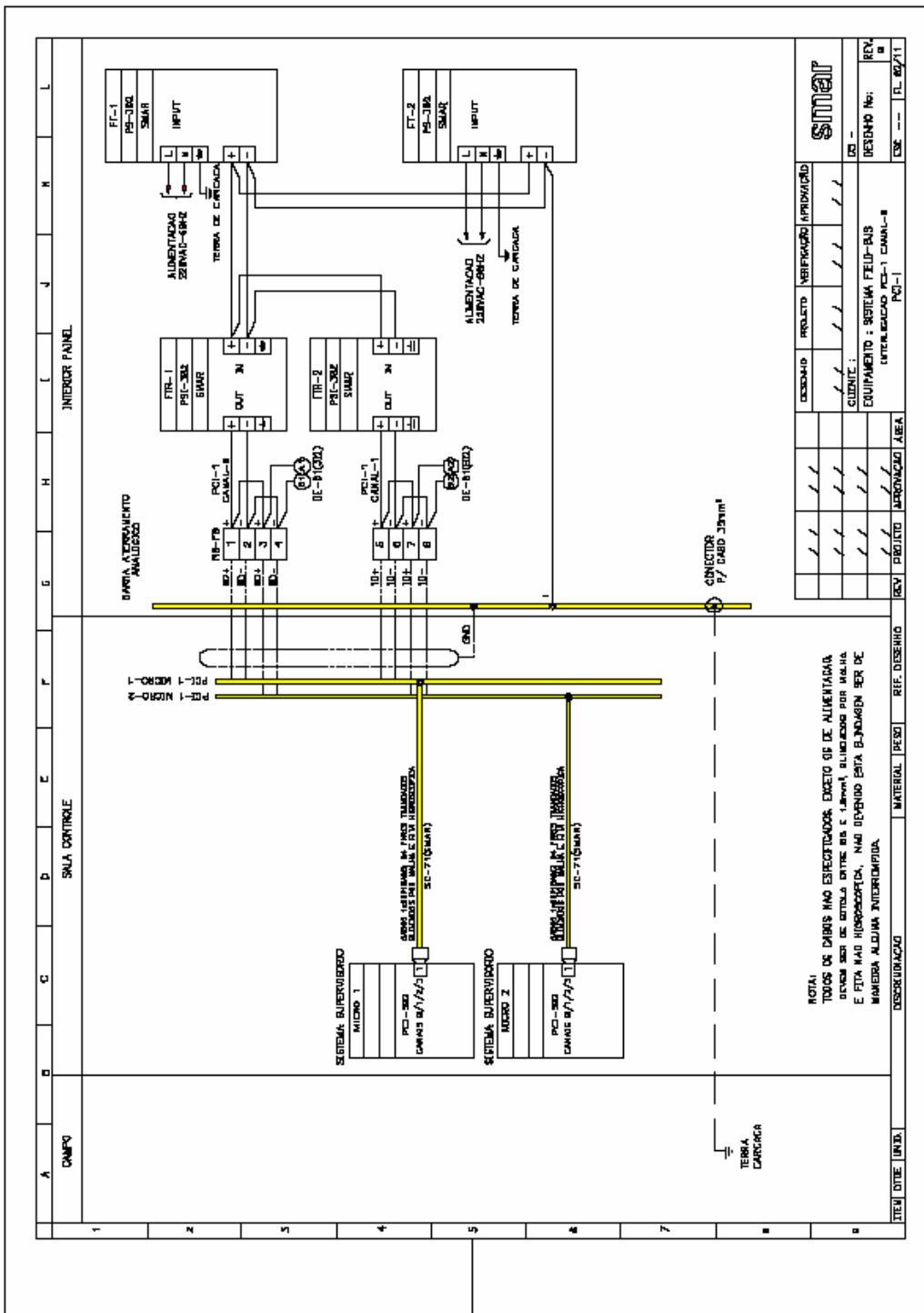


Fig.4.123.  
Projeto FieldBus – Parte 8

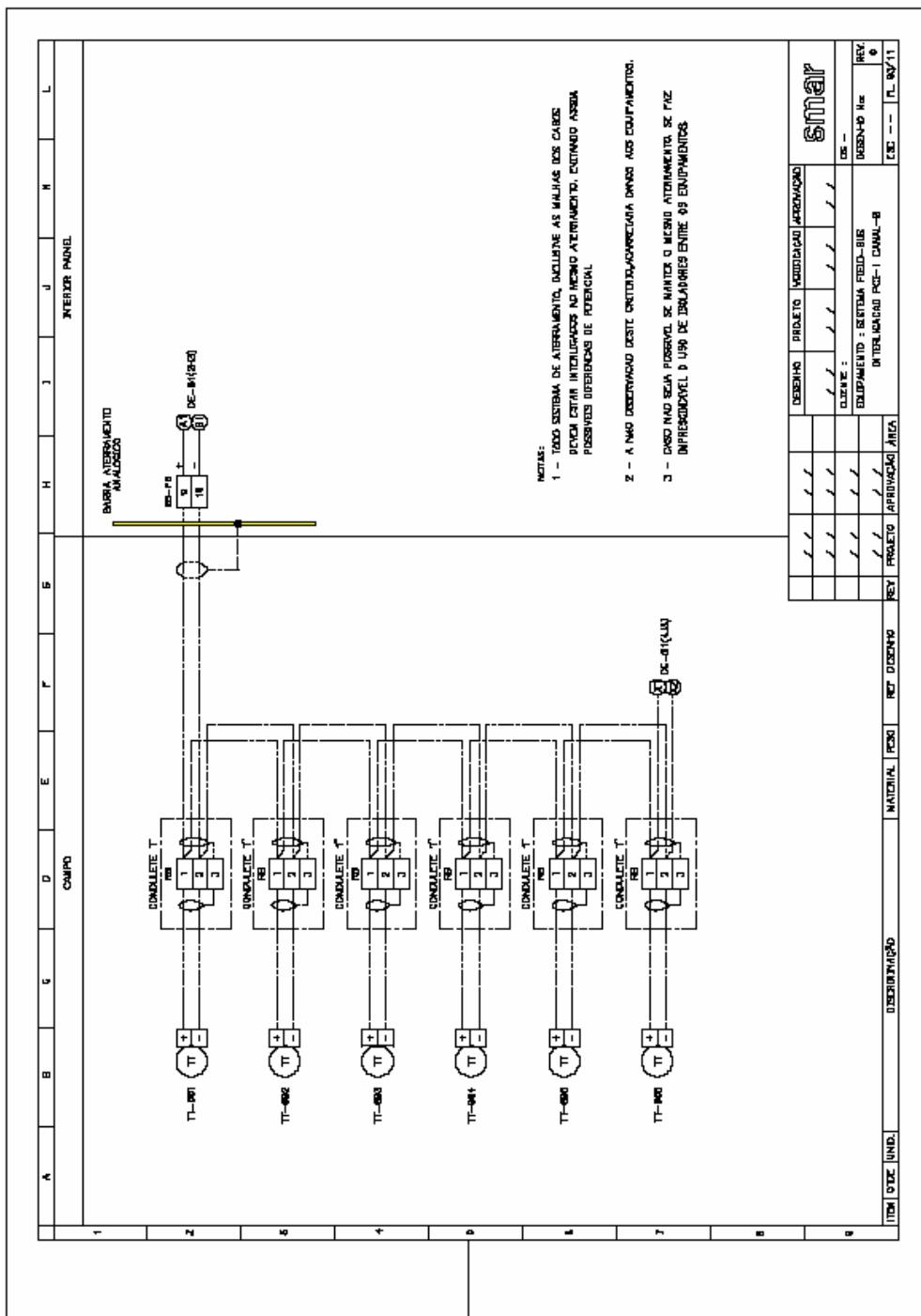
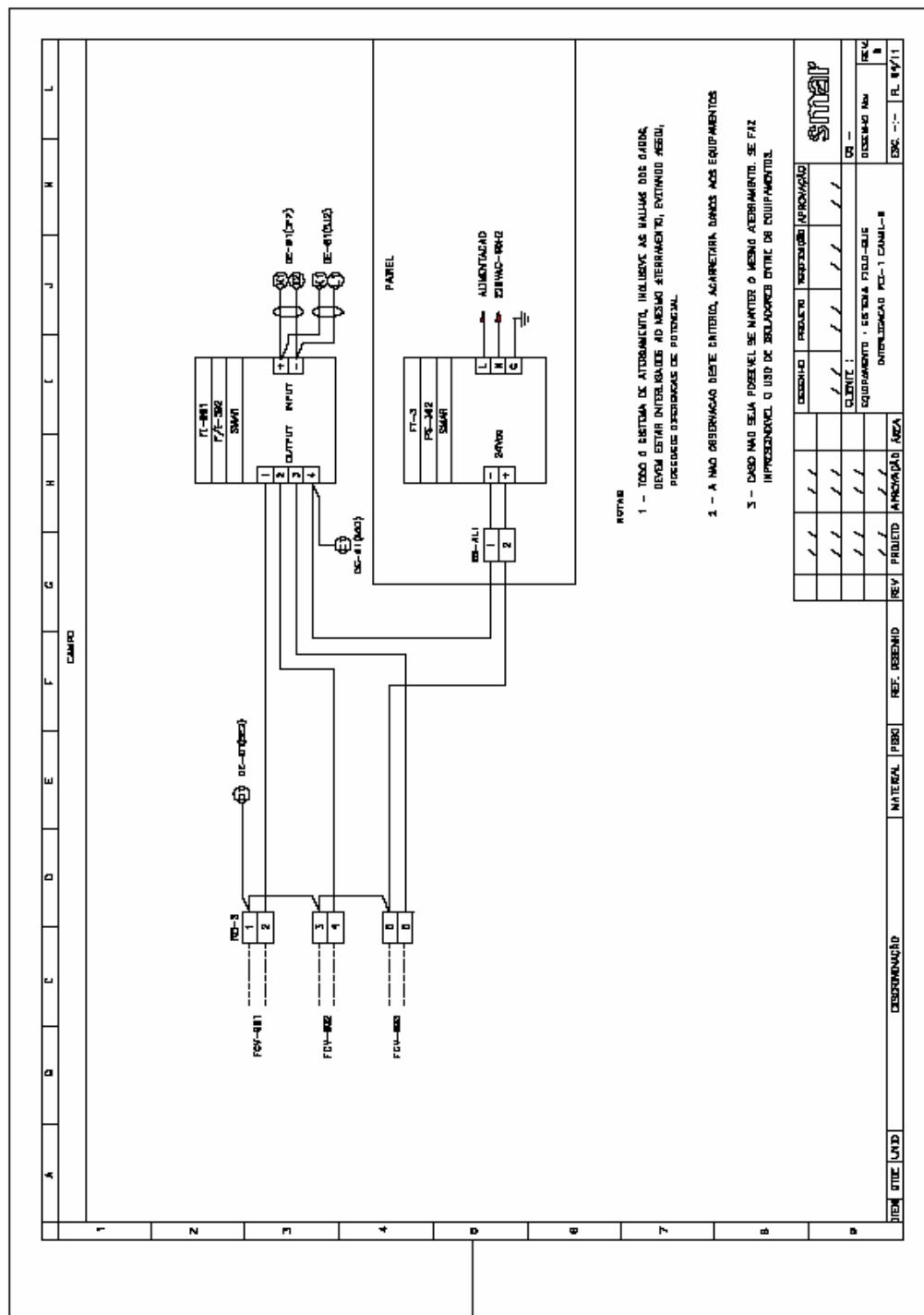
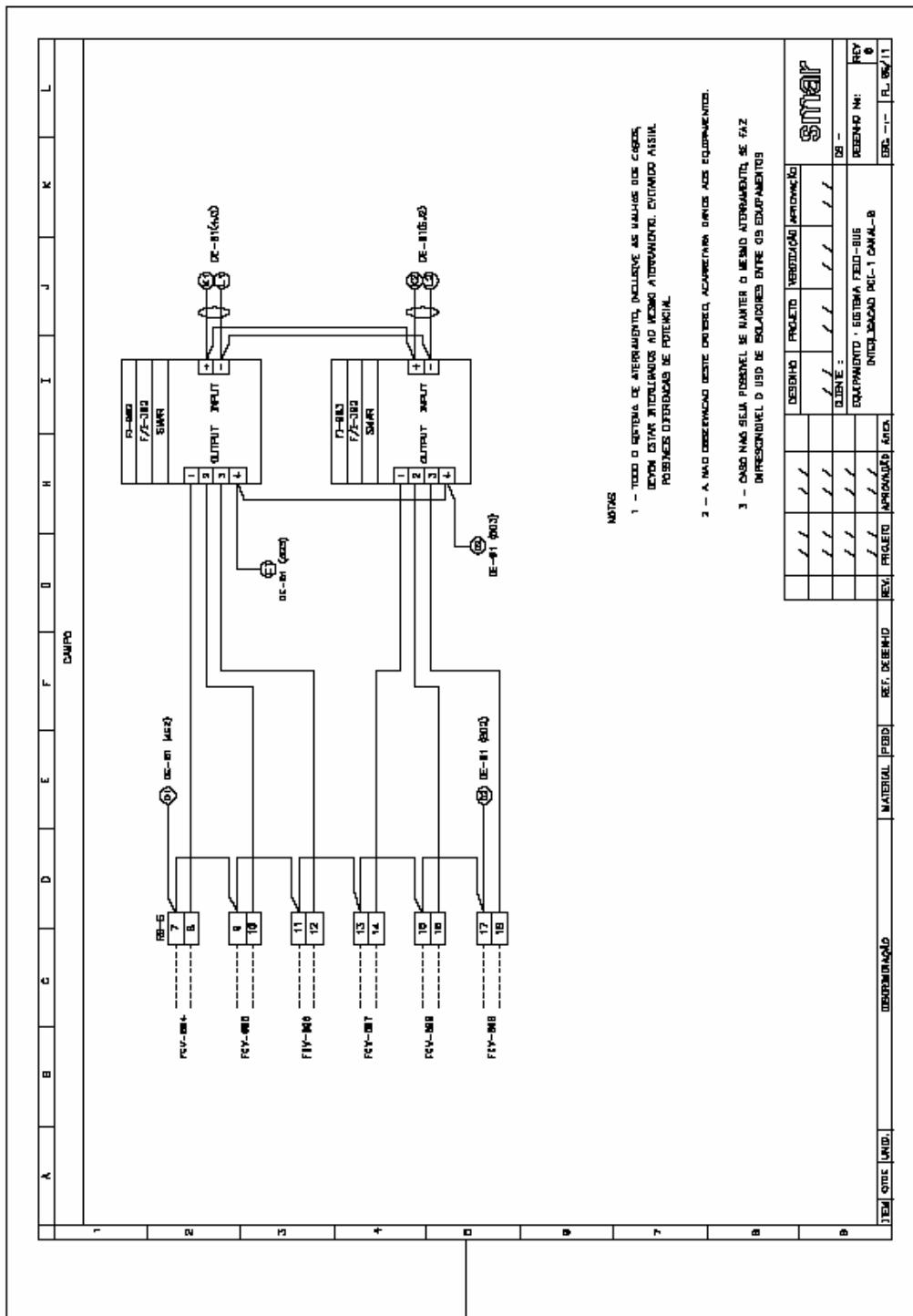


Fig.4.124.  
Projeto FieldBus – Parte 9



**Fig.4.125.**  
**Projeto FieldBus – Parte 10**



**Fig.4.126.**  
**Projeto FieldBus – Parte 11**

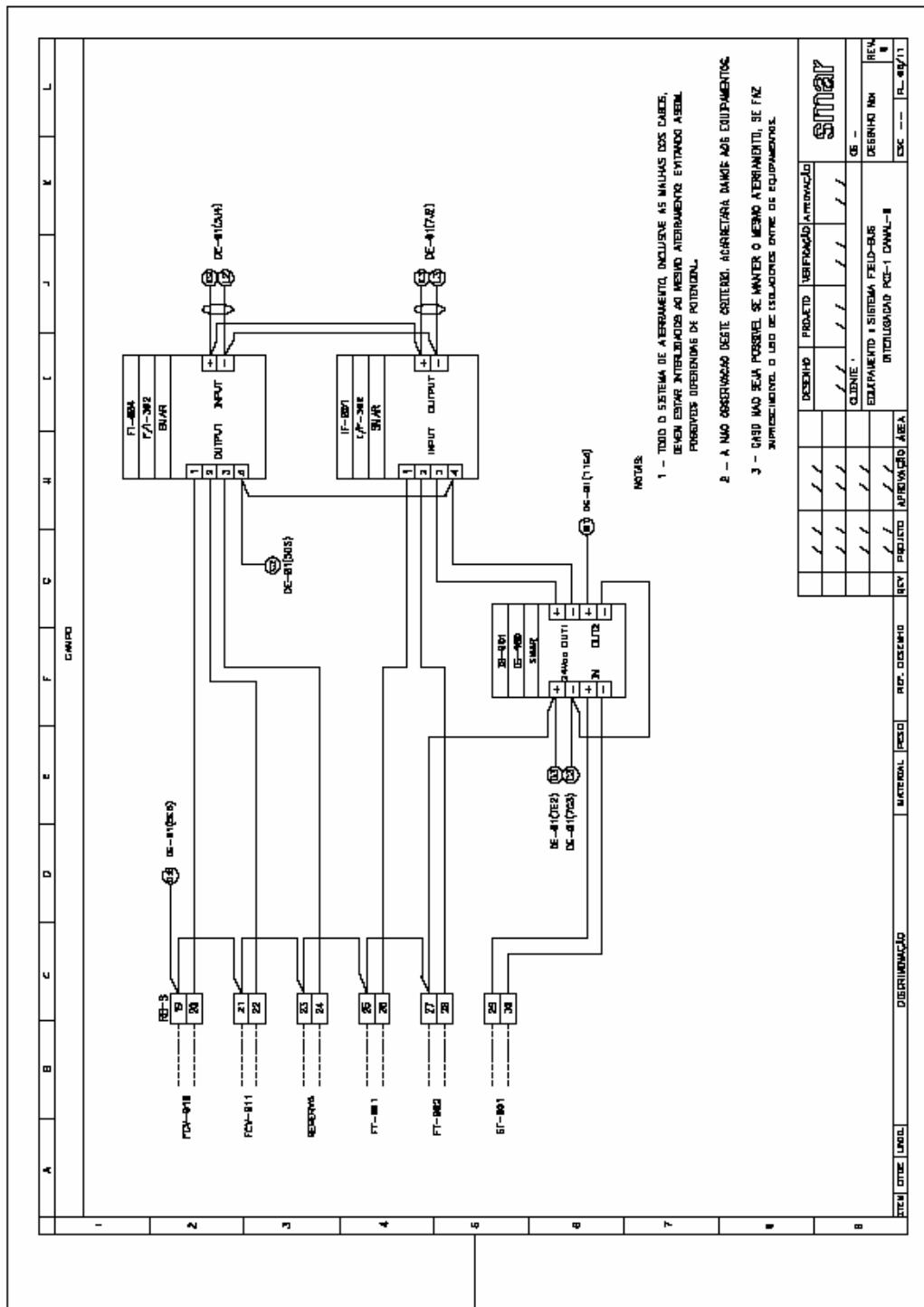
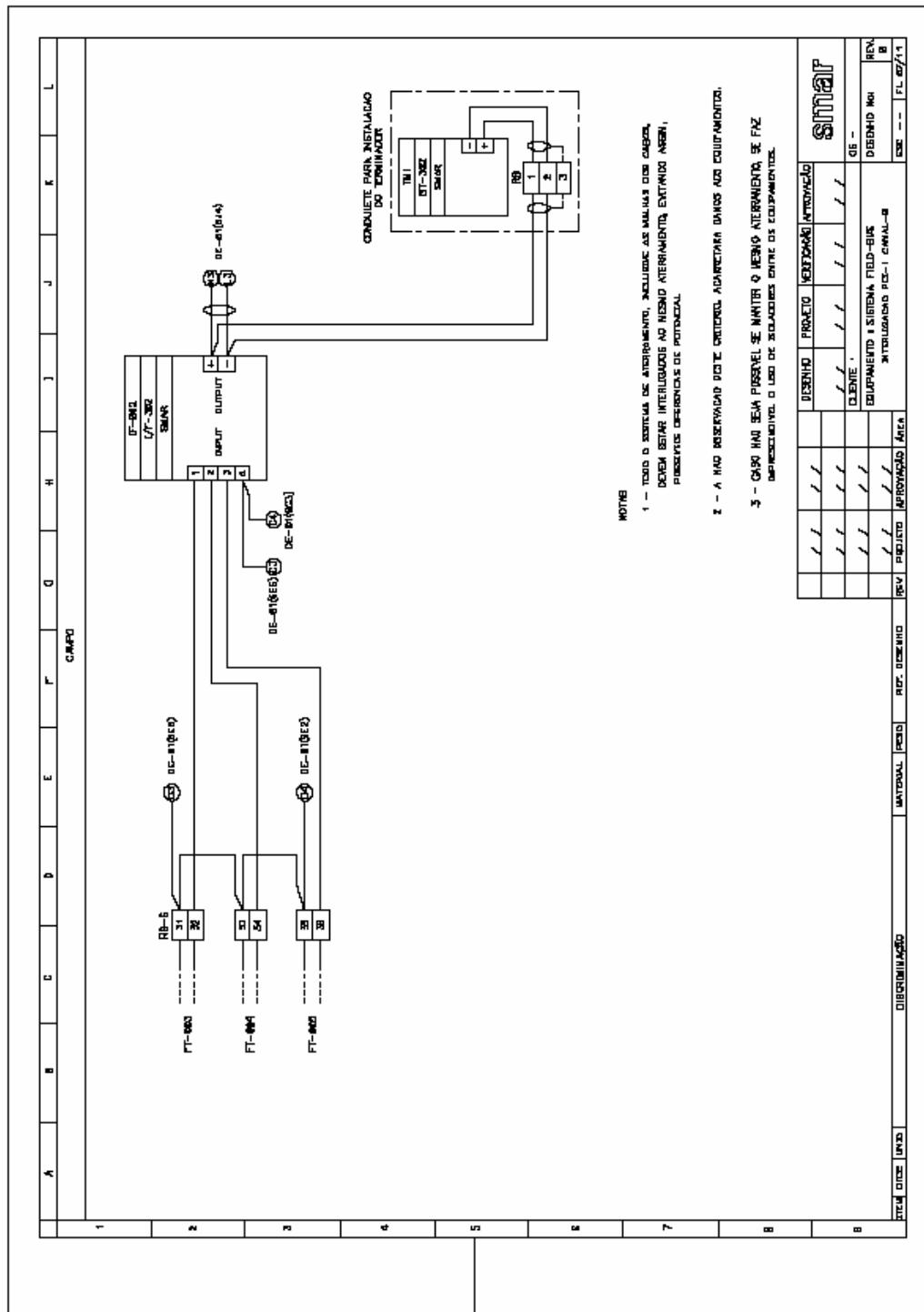


Fig.4.127.  
Projeto FieldBus – Parte 12



**Fig.4.128.**  
**Projeto FieldBus – Parte 13**

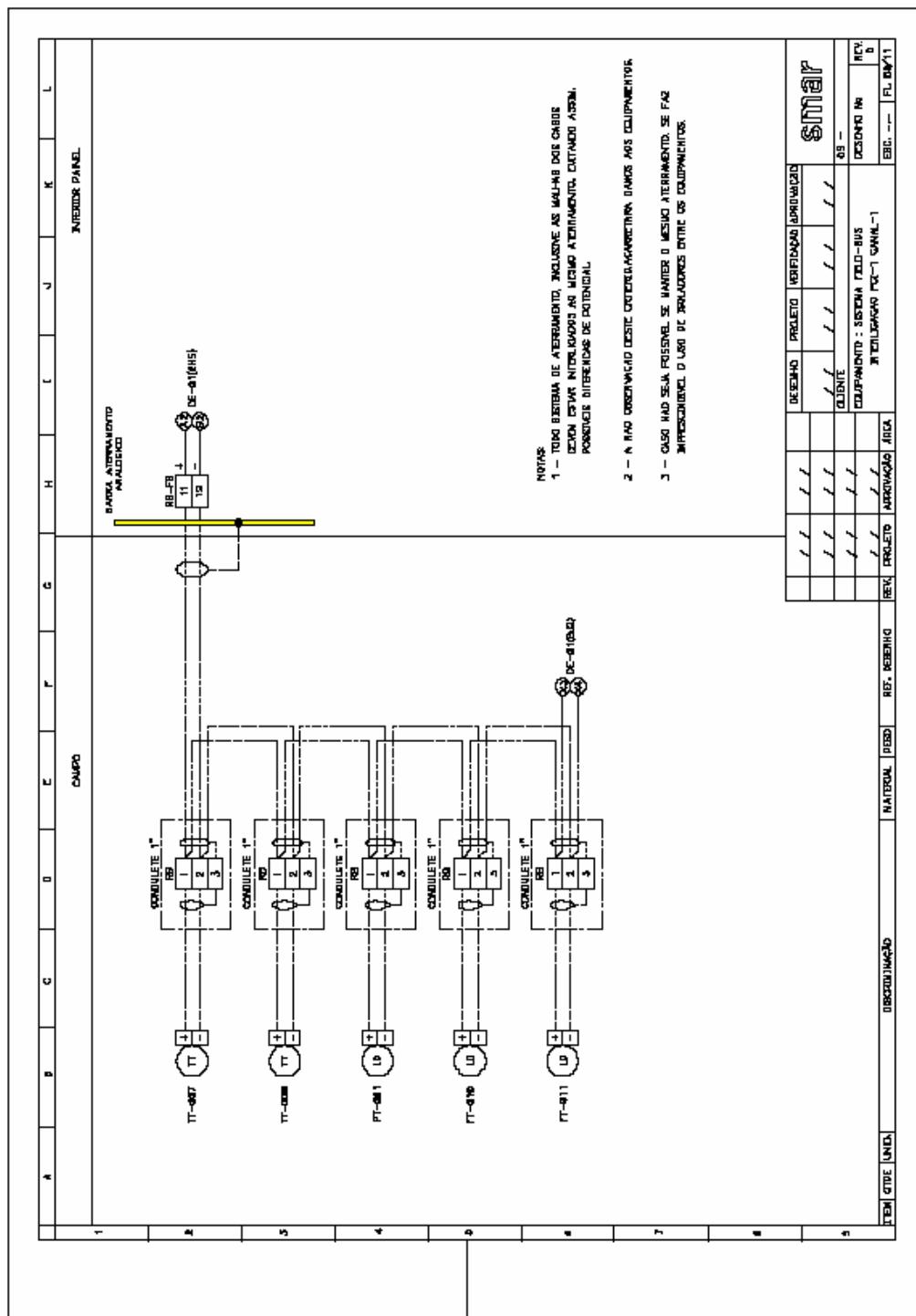
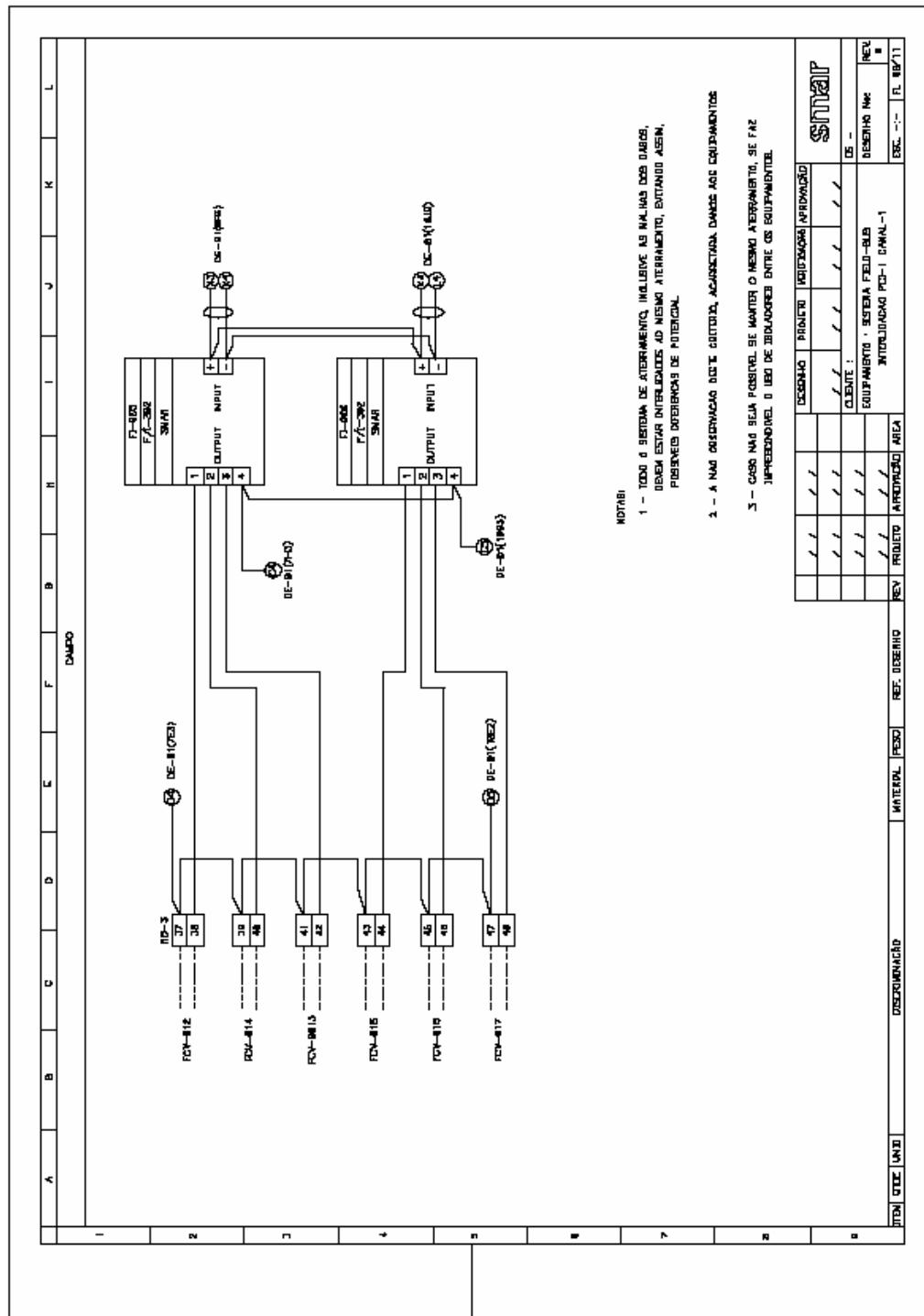
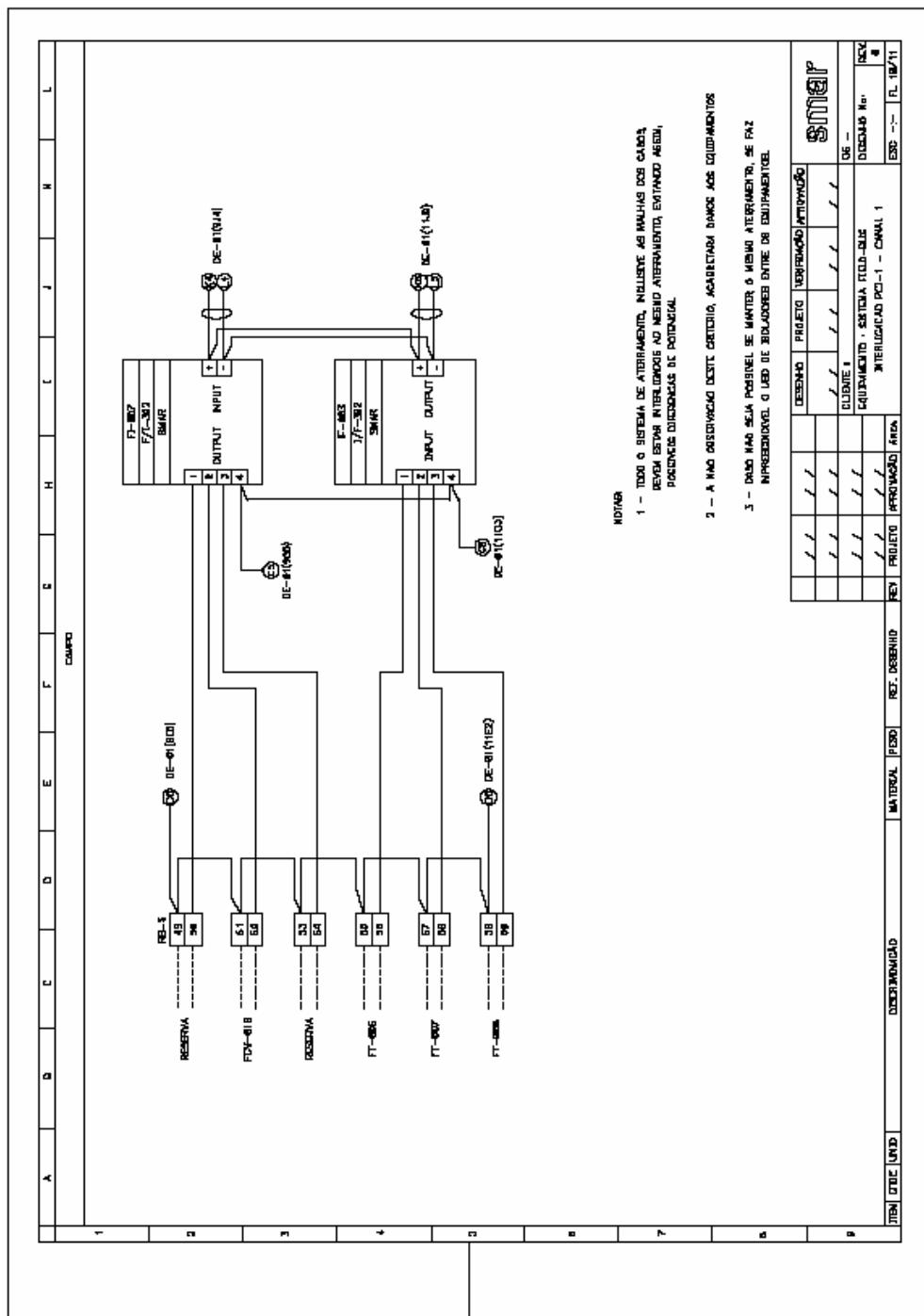


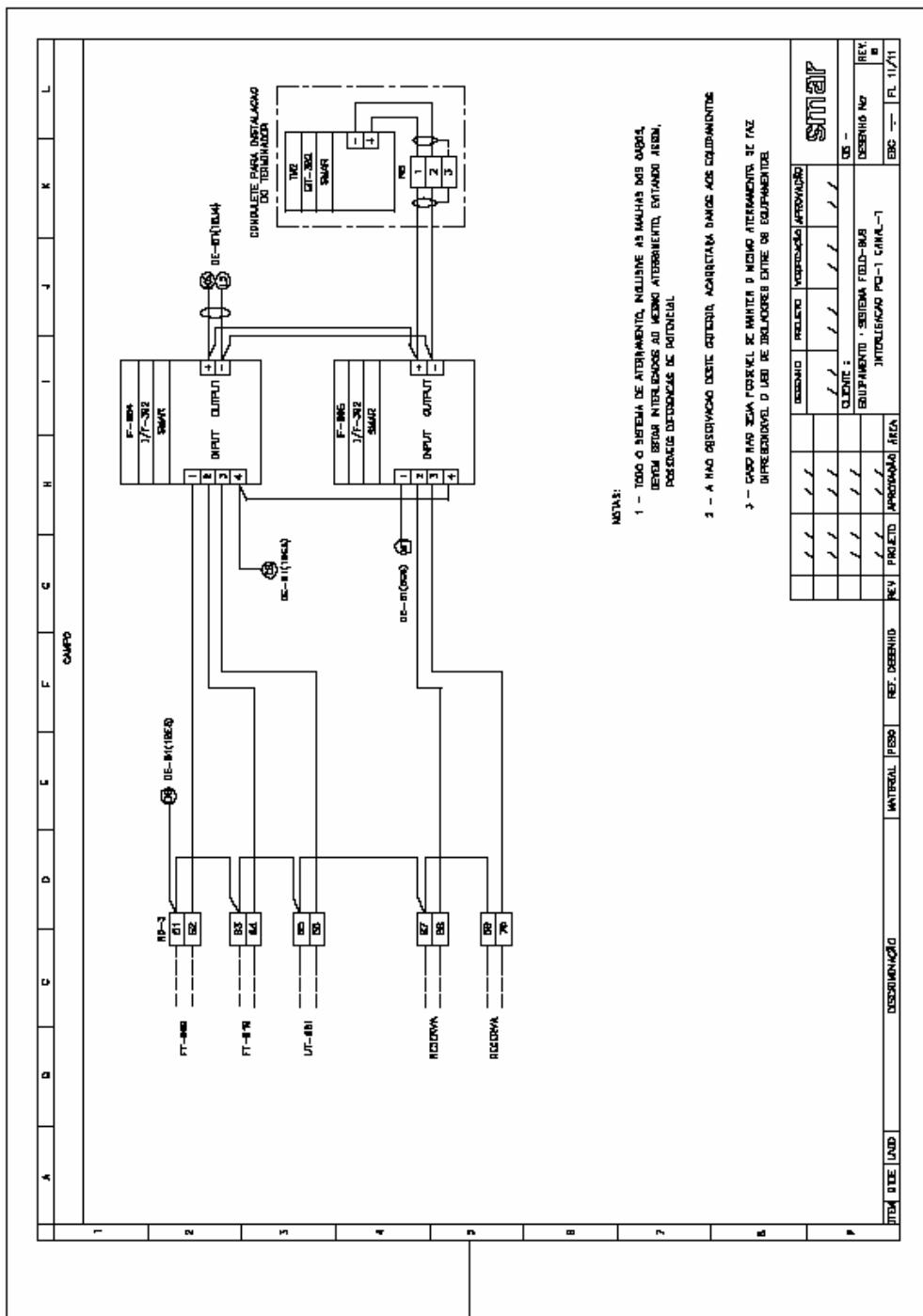
Fig.4.129.  
Projeto FieldBus – Parte 14



**Fig.4.130.**  
**Projeto FieldBus – Parte 15**



**Fig.4.131.**  
**Projeto FieldBus – Parte 16**



**Fig.4.132.**  
**Projeto FieldBus – Parte 17**

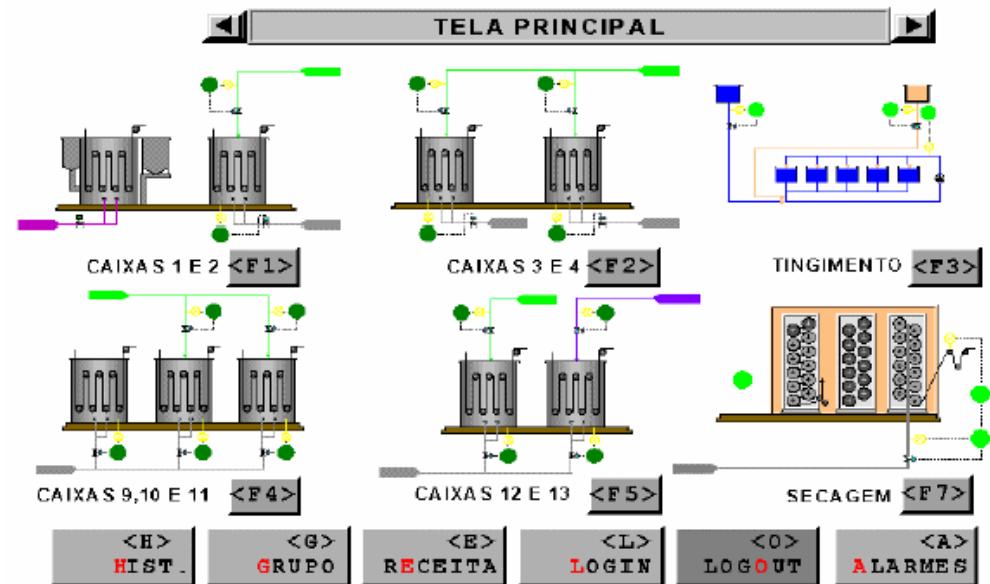


Fig.4.133.  
Tela de Supervisão 1

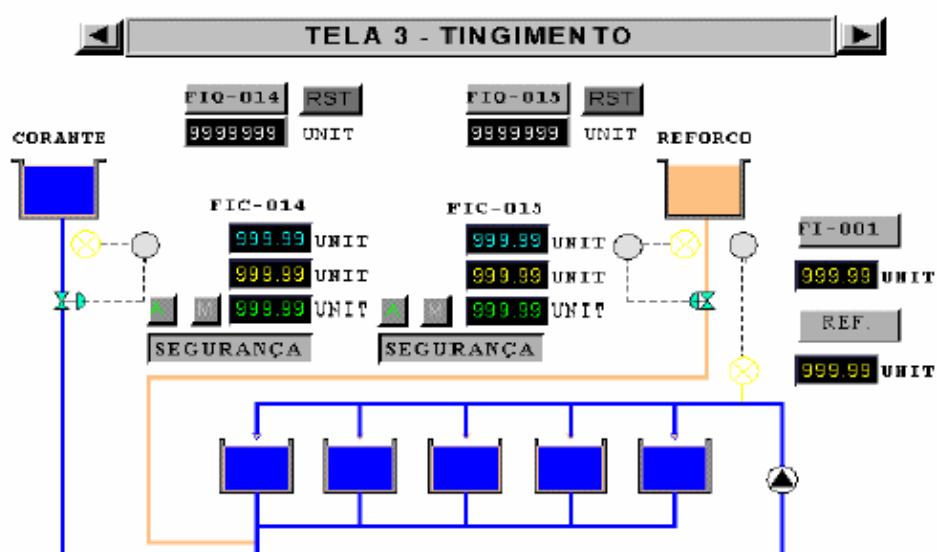


Fig.4.134.  
Tela de Supervisão 2

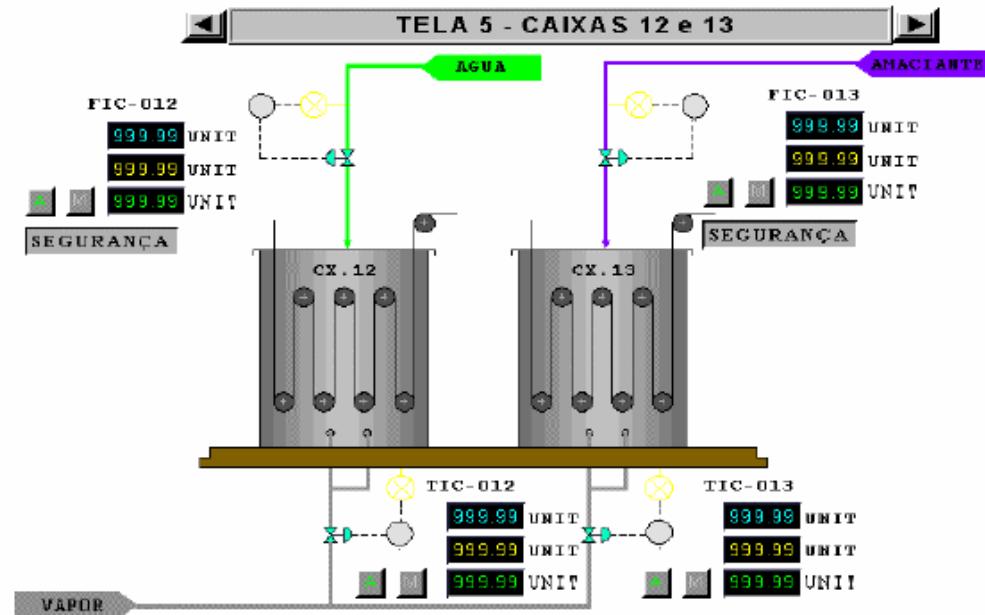


Fig.4.135.  
Tela de Supervisão 3

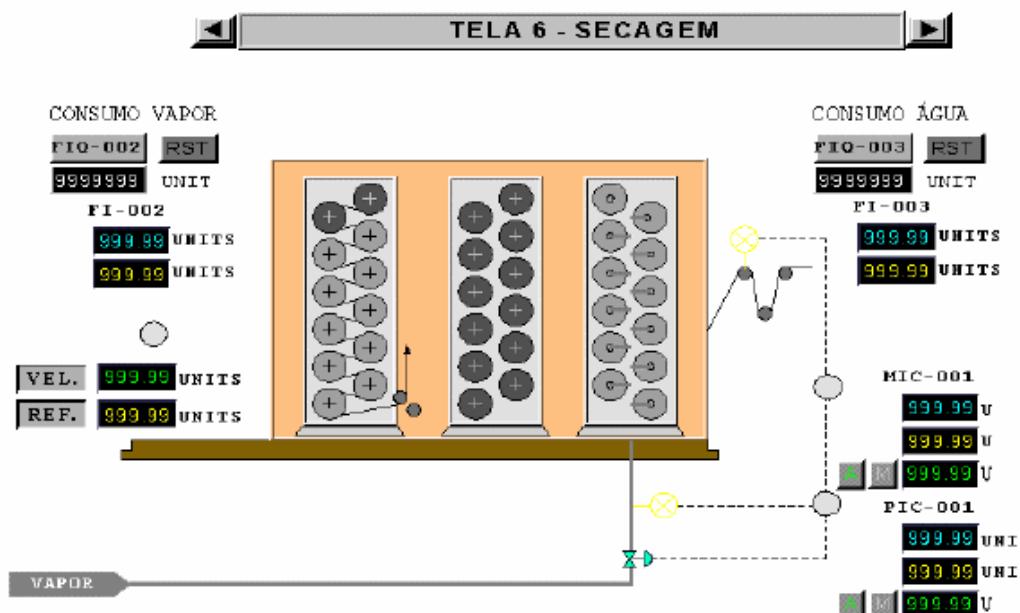


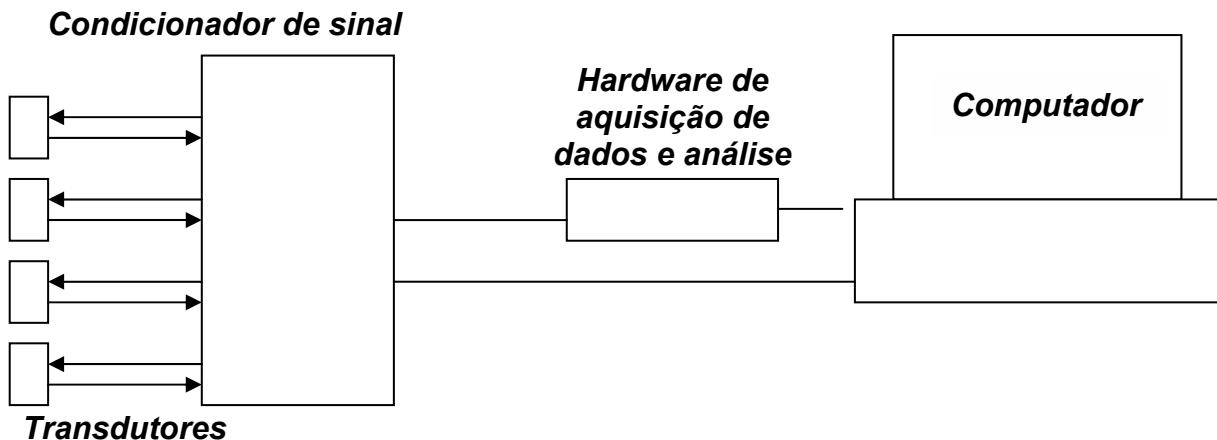
Fig.4.136.  
Tela de Supervisão 4

## 5 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS-SAD

Os sistemas de aquisição de dados têm uma longa história dentro da automação industrial. Pode-se destacar como relevante o sistema mecânico de medição de velocidade através de força

centrífuga de James Watt. Atualmente, na indústria, há uma convivência com sistemas digitais, onde os dados são transmitidos através de redes de computadores e os sistemas analógicos baseados em malhas de corrente nos padrões 4-20mA ou 0-20mA. De uma forma mais ampla pode-se definir Sistemas de Aquisição de Dados (SAD) como o conjunto de equipamentos e programas necessários para medir, transportar e converter, para o formato desejado, as informações provenientes de grandezas físicas. No ambiente industrial, essas grandezas físicas são valores de temperatura, pressão, tensão elétrica, corrente elétrica etc.. Quanto ao formato desejado, pode-se simplesmente mostrar a informação em um medidor analógico com ponteiros, ou armazená-la em uma palavra de memória de um computador para que a informação seja usada para finalidades diversas. Embora impropriamente utilizado, o termo "Sistema de Aquisição de Dados" não só inclui a entrada como também a saída de informações.

Atualmente, a maioria dos engenheiros e pesquisadores está usando computadores do tipo PC para as suas pesquisas de laboratório. O mesmo acontece nas indústrias em aplicações de controle e medição. Para se obter os resultados esperados de um Sistema de Aquisição de Dados (SAD) baseados em computador do tipo PC, devem-se escolher apropriadamente cada uma das partes do sistema, como ilustrado na fig.5.1.



**Fig.5.1.**  
**Um Sistema de Aquisição de dados típico.**

### 5.1 Componentes de um SAD

Como se pode ver na fig.5.1, o SAD é composto dos seguintes componentes:

- Computador
- Transdutores
- Condicionador de sinal

- Hardware do SAD
- Software

**a) Computador**

O computador é escolhido com base nas necessidades do software que irá trabalhar os dados adquiridos através do SAD. Há sistemas para as mais diversas aplicações, desde as mais simples, usando-se as mais baixas taxas de amostragem como as mais complexas, trabalhando em altas velocidades para processamento de dados em tempo real. Os outros componentes serão analisados a seguir.

**b) Transdutores**

Os transdutores são dispositivos que transformam fenômenos físicos em sinais elétricos. Por exemplo, termopares, termistores e sensores IC convertem temperatura em tensão elétrica ou resistência elétrica. Como outros exemplos pode-se citar os strain gages, transdutores de fluxo, e transdutores de pressão que convertem força, fluxo e pressão, respectivamente, em sinais elétricos.

Os termopares, por exemplo, usam a propriedade de que metais diferentes, quando juntos geram tensões elétricas diferentes, quando submetidos a diferentes temperaturas. Essas tensões variam em valores extremamente baixos, entre  $7\mu V$  a  $40\mu V$  para cada grau centígrado de temperatura. Para se ter uma medida precisa de temperatura, há a necessidade de se condicionar o sinal de forma a amplificá-lo com um alto ganho e pouco ruído ou distorção. As medidas de temperatura exigem a compensação de junta fria. Esta compensação é usada para corrigir as tensões que são formadas nas conexões do termopar em baixas temperaturas. Estas tensões são tomadas como referência pelo software e pelo hardware do sistema de condicionamento de sinal. Muitos acessórios de condicionamento de sinal usam sensores IC de temperatura para esta função.

Outros transdutores como detectores de temperatura por resistência (RTDs), termistores e strain gages, respondem às variações de temperatura e força através de uma variação da resistência elétrica nos seus terminais. Desta forma, necessita-se de sensores de resistência suficientemente precisos e que utilizem correntes e tensões bastante estáveis para detectar as pequenas variações de resistência. Todos esses sensores exigem, portanto, um condicionamento dos sinais recebidos para que sejam aceitos pelas placas de aquisição de dados.

**c) Condicionamento de sinais**

Devido às características especiais de cada um dos sensores usados em um ambiente industrial há a necessidade de um tratamento desses sinais. Desta forma, cada tipo de sensor exige um sistema especial de condicionamento. Alguns exemplos de sistemas de condicionamento estão apresentados na tabela 13.

**Tabela 5.1 – Alguns Transdutores, suas características e requisitos básicos de condicionamento de sinal**

SENSOR	CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	TIPO DE CONDICIONAMENTO NECESSÁRIO
Termopares	<ul style="list-style-type: none"><li>• Baixa tensão de saída</li><li>• Baixa sensitividade</li><li>• Saída não linear</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Compensação de junta fria</li><li>• Alta amplificação</li></ul>

RTDs(Detectores de temperatura por variação de resistência)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saída resistiva</li> <li>• Baixa resistência (valor típico de 100 ohms)</li> <li>• Baixa sensitividade</li> <li>• Saída não linear</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linearização</li> <li>• Excitação por tensão ou corrente</li> <li>• Resistor de referência</li> <li>• Linearização</li> </ul>
Sensor de Temperatura IC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saída em corrente ou tensão em níveis elevados</li> <li>• Saída linear</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonte de potência</li> <li>• Ganho moderado</li> </ul>
Strain Gauge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saída em resistiva</li> <li>• Baixa resistência</li> <li>• Sensitividade muito baixa</li> <li>• Saída não linear</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linearização</li> <li>• Excitação</li> </ul>

Em geral, deve-se aplicar as seguintes modificações nos sinais provenientes de transdutores:

- **Amplificação** – Trata-se do tipo de condicionamento mais comum. Para se obter a melhor precisão possível, o sinal deve ser amplificado até que a máxima faixa de tensão do sinal condicionado se iguale à máxima faixa do conversor analógico digital.
- **Isolação** – por questões de segurança, deve-se isolar eletricamente o transdutor do computador. O sistema que estiver sendo monitorado poderá apresentar transitórios de tensão elevada que poderia danificar o computador. Uma outra razão para a isolação é se garantir que o sinal que estiver sendo obtido não seja afetado por potenciais de terra ou tensões de modo comum<sup>4</sup>. Se a entrada da placa de aquisição e o sinal que estiver sendo medido estiverem referidos a terra, poderão ocorrer problemas se houver uma diferença de potencial entre os dois pontos de terra. A diferença poderá causar o que se conhece por circuito de malha de terra, que poderá causar representação imprecisa do sinal obtido e, até mesmo, danificar o sistema de medição. Há circuitos de isolação que permitem rejeitar níveis de tensão da ordem de 240v.
- **Filtragem** – os sinais indesejáveis são removidos do sinal que se quer medir através de filtros adequados. Os dispositivos de condicionamento de sinal possuem, em geral, filtros passa baixa de 4 Hz e 10 kHz para eliminar ruído antes que os mesmos sejam digitalizados pela placa de aquisição de dados. Os sinais do tipo corrente alternada, como aqueles usados para medição de vibrações são dotados de um tipo diferente de filtro, denominado *antialiasing*.
- **Excitação** – O sistema de condicionamento de sinal pode, em certos casos, gerar excitação para alguns transdutores. Por exemplo, strain gauges, termistores e RTDs exigem uma tensão ou corrente de excitação externa. Desta forma, os sistemas de condicionamento de sinal para esses transdutores, em geral fornecem a excitação necessária.
- **Linearização** – Muitos transdutores, tais como os termopares, têm uma resposta não linear. Assim sendo os fabricantes de placas de aquisição de dados incluem rotinas de linearização no software que acompanha o sistema.

<sup>4</sup> Tensões de modo comum são quaisquer tensões, que sejam medidas com relação à terra do amplificador da instrumentação. Por serem indesejáveis, deverão ser filtradas.

**d) Hardware do sistema de aquisição**

As seguintes considerações devem ser analisadas com relação ao hardware de um sistema de aquisição de dados:

- Entradas analógicas
- Taxa de amostragem
- Método de amostragem
- Multiplexação
- Resolução
- Faixa de atuação
- Não linearidade diferencial
- Precisão relativa
- Tempo de acomodação
- Ruídos
- Saídas analógicas
- Temporização de E/S
- Acesso direto à memória.

Esses itens são analisados a seguir.

**Entradas analógicas**

As especificações das entradas analógicas caracterizam tanto a capacidade como a precisão de um sistema de aquisição de dados. Estas características incluem o número de canais, a taxa de amostragem, resolução e a faixa de valores permitidos. Os canais analógicos podem ser de dois tipos:

- **Canais analógicos de terminal único** – Este tipo de entrada tem, sempre, como referência, um ponto de terra comum. Há, também, as entradas de terminal único que não são aterradas e são referidas a um valor de tensão que pode variar em relação à terra do sistema. Estas entradas são, em geral, usadas quando as de entrada são elevadas, isto é, acima de 1V e quando a distância da entrada para os transdutores, for pequena, em torno de 4 metros. Há, evidentemente, a necessidade de que todas as entradas possam repartir o mesmo ponto de terra.
- **Entradas analógicas diferenciais** – Se os sinais não puderem satisfazer os critérios das entradas únicas, deve-se então usar as entradas diferenciais, onde não há uma amarração com uma referência fixa. Uma entrada diferencial ideal responde somente à diferença de potencial entre os seus dois terminais. Qualquer outra tensão, que for medida com relação à terra do amplificador da instrumentação, será considerada como *tensão de modo comum*, e deverá, portanto, ser filtrada. O termo *faixa de tensão de modo comum* refere-se à habilidade de uma placa de aquisição de dados de rejeitar os sinais provenientes de tensões de modo comum. A grande vantagem das entradas diferenciais é que os sinais de ruído são reduzidos porque os ruídos de modo comum são recebidos por ambos os terminais e são, portanto, automaticamente cancelados, pois a tensão recebida pela placa é a diferença de tensão entre os dois terminais.

**Taxa de amostragem**

Este parâmetro é usado para especificar a rapidez com que conversão A/D é realizada. Uma conversão rápida adquire mais pontos em um dado intervalo de tempo, promovendo uma melhor representação do sinal original. A amostragem deve ser suficientemente rápida para se reproduzir o sinal com fidelidade.

# CST

## Arcelor Brasil

É evidente que se o sinal estiver variando mais rápido do que o tempo de conversão da placa o sinal amostrado poderá ser completamente diferente do sinal real, inclusive mostrando ter uma freqüência diferente da real.

De acordo com o teorema de Nyquist, deve-se amostrar com uma taxa, pelo menos duas vezes mais rápida que a maior freqüência harmônica do sinal amostrado.

### Método de amostragem

Quando se têm várias entradas em um SAD, usa-se um multiplexador conectando cada entrada a um conversor A/D. Desta forma, os valores de cada uma das entradas são convertidos para digital em uma taxa de amostragem constante. Este método, impropriamente denominado amostragem contínua, é muito mais barato que aquele onde se usam um amplificador e um conversor A/D para cada uma das entradas. Este método é denominado amostragem simultânea. Em ambos os casos, nos SADS modernos, os intervalos de amostragem são da ordem de micro-segundos.

### Multiplexação

Por uma questão de custo a multiplexação das entradas analógicas é muito utilizada nos SADs. Desta forma, com o uso do multiplexador, o tempo de amostragem aumenta quando de incluem mais entradas no SAD. Entretanto, para sistema onde o tempo de amostragem não é um requisito importante, como por exemplo, medições de temperatura, umidade etc, pode-se multiplexar milhares de entradas, utilizando-se somente um conversor A/D.

### Resolução

O número de bits que o conversor A/D usa para representar o valor analógico é denominado resolução. Quanto maior a resolução, maior será o número de divisões realizadas na faixa de tensão de entrada e, portanto, menores serão as variações de tensão detectáveis.

Caso se use um conversor de 16 bits, o número de divisões será de 65536, obtendo-se uma representação digital bastante precisa do valor amostrado.

### Faixa de atuação

Entende-se por faixa de atuação o intervalo compreendido entre os valores mínimo e máximos de tensão que um conversor A/D pode varrer. Em geral as placas de aquisição de dados oferecem faixas selecionáveis de tensão para o usuário escolher. Com esta flexibilidade pode-se combinar a faixa de variação do sinal com a faixa do conversor A/D, obtendo-se o máximo em termos de resolução. A faixa de atuação juntamente com a resolução e o ganho do amplificador de uma placa de aquisição de dados determina o menor valor de tensão detectável pela placa. Esta variação de tensão é representada por 1 B<S (bit menos significativo) no valor digital.

### Não linearidade diferencial (NLD)

Quando se aumenta o nível de tensão aplicado a uma placa de aquisição de dados, o código digital correspondente, proveniente do conversor A/D deveria aumentar de forma linear. Plotando-se a tensão versus o código de saída dever-se-ia obter uma linha reta. Os desvios desta linha reta são denominados não-linearidades.

O valor analógico mínimo que, depois de convertido, irá equivaler a 1, em binário, é conhecido como o bit menos significativo (B<S). O termo NLD corresponde à medida do pior desvio entre o valor analógico e o valor convertido para binário. Uma placa de aquisição de dados ideal tem um NLD de 0 B<S. Na prática, uma boa placa de aquisição de dados tem um NLD da ordem de  $\pm 0,5$

B<S. Torna-se fundamental ao se adquirir uma placa de aquisição de dados verificar esse valor, visto que um valor alto de NLD, poderá inviabilizar o projeto.

#### **Precisão relativa**

Trata-se de uma medida do pior desvio em relação à linha reta que corresponde à função de transferência de uma placa de aquisição de dados ideal. Esta medida é feita usando-se a unidade B<S. Pode-se determinar a precisão relativa de uma placa varrendo-se toda a sua faixa de atuação, isto é, aplicando-se tensão deste o menor valor até o maior e verificando-se o valor convertido em digital.

#### **Tempo de acomodação**

O processo de aquisição de dados se inicia quando o sinal analógico é selecionado pelo multiplexador. Em seguida, é amplificado para ser convertido para digital pelo conversor A/D. O amplificador tem que acompanhar o chaveamento de um canal para outro e estabilizar o sinal rapidamente. Caso contrário, o conversor A/D converterá um sinal analógico que está ainda em transição. Este tempo que é necessário para o amplificador se estabilizar é denominado tempo de acomodação. Longos tempos de acomodação são um grande problema em placas de aquisição de dados porque a imprecisão resultante irá variar com o ganho e com a taxa de amostragem. Como esses erros ocorrem nos estágios analógicos, não há como o software detectá-los para que possa emitir mensagens de erro. Os melhores sistemas atualmente existentes podem efetuar uma conversão A/D de 12 bits em  $2\mu\text{s}$ , quando se usa uma amplificação de ganho igual a 100.

#### **Ruídos**

Todos os valores que aparecem no sinal digitalizado e que não fazem parte do sinal analógico inicial são considerados ruídos. Considerando-se que um computador do tipo PC é, por si só, um ambiente repleto de sinais ruidosos, há uma grande exigência de um projeto adequado da placa de aquisição de dados. Isto se deve ao fato que, em geral, essas placas são inseridas no computador. Um projeto simples, onde se coloca o amplificador e o circuito de interface de barramento em uma placa de uma ou duas faces, resultará, inevitavelmente, um sistema bastante propenso a ruídos. A isolamento deve ser apropriadamente instalada não somente em torno das partes contendo componentes analógicos, mas também, entre as camadas da placa.

#### **Saídas Analógicas**

Há alguns parâmetros que podem ser usados para se verificar a qualidade das saídas analógicas. Principalmente no caso em que as placas de aquisição de dados são usadas em sistemas de alta freqüência, torna-se fundamental analisar esses parâmetros. Os principais pontos que se deve verificar são:

- **Tempo de acomodação** – Trata-se do tempo necessário para que a saída atinja o valor especificado dentro da precisão desejada. Este tempo deve ser medido para uma variação máxima na saída.
- **Taxa de mudança** – Trata-se da máxima variação que se consegue por unidade de tempo na saída da placa. Desta forma, um SAD com um pequeno tempo de acomodação e uma alta taxa de mudança poderá gerar sinais de alta freqüência. Um exemplo que exige alto desempenho desses parâmetros é a recuperação de sinais de áudio. Por outro lado, pode-se usar uma placa de aquisição de baixa performance desses parâmetros para o caso de controle de temperatura, visto que as variações, nesse caso, são lentas.

- **Resolução** – a resolução dos sinais de saída é semelhante à resolução dos sinais de entrada. Assim sendo, quando são usados palavras com vários bits para se representar o sinal analógico, pode-se ter variações pequenas do sinal de saída, obtendo-se sinais analógicos bastante suaves.

#### **Entradas e saídas digitais**

As interfaces de entrada e saída digitais são usadas para diversas finalidades como controle de processos, geração de padrões para testes e comunicação com outros equipamentos. Assim sendo os SADs oferecem entradas e saídas digitais através de padrões estabelecidos.

#### **E/S temporizada**

Estes tipos de entrada e saída são usadas para aplicações tais como temporizadores e contadores, tanto para gerar ondas quadradas e pulsos nas suas saídas analógicas como para receber sinais de alta velocidade para contadores. Neste caso, a freqüência máxima aceita é um parâmetro fundamental que deve ser analisado em cada aplicação.

#### **Acesso direto à memória.**

Em um SAD, muitas vezes torna-se necessário uma alta velocidade de E/S, com processamento simultâneo de dados. Desta forma, torna-se fundamental que o SAD tenha acesso direto à memória. O sistema de barramento ISA usa um circuito especial na placa mãe do computador para permitir tanto a entrada como a saída de dados direto da memória RAM. Outro tipo de barramento [1] denominado PCI, que permite taxas da ordem 132 MBYTES/s, difere do sistema ISA no sentido de que não usa o circuito de DMA da placa mãe do computador. As placas que utilizam esse sistema controlam o barramento PCI, durante a transferência e, em seguida, liberam o barramento para outros usos.

Pode-se, por exemplo, operar com uma placa PCI escrava ou com uma placa PCI mestre. No primeiro caso, o microprocessador é sobrecarregado com a monitoração e o controle da transferência de dados entre a placa e a memória RAM. Este método reduz sensivelmente o desempenho global do sistema. No segundo caso, isso não acontece permitindo-se uma transferência contínua de dados em taxas de até 100 MBYTES/s sem sobrecarregar o microprocessador.

### **5.2 Software dos sistemas de aquisição de dados**

Todo SAD deve incorporar o software apropriado para permitir que outros programas utilizem as informações recebidas. O software deve permitir também a saída de informações geradas por outros programas. Para que isso possa acontecer de forma aberta os fabricantes desses sistemas fornecem essas interfaces na forma de *driver software*<sup>5</sup>. Driver software é a camada de software que programa diretamente os registradores do hardware do sistema de aquisição de dados, comandando a operação desses registradores e a integração com as funções do computador, tais como, interrupções, acesso direto à memória etc. Na realidade o driver software tem a finalidade de esconder do usuário o nível baixo de programação, incluindo detalhes complicados de hardware. Dentre as funções importantes que esse tipo de software deve executar, pode-se citar:

- Aquisição de dados em taxas prefixadas.

---

<sup>5</sup> O termo **driver software ou driver de equipamento** tem sido usado para se referir aos programas que fazem a interface entre os equipamentos periféricos e os computadores. Por não haver uma tradução amplamente aceita será usado o termo original na língua inglesa.

- Aquisição de dados em segundo plano enquanto se executa outro processamento em primeiro plano.
- Uso de entrada e saída programada, sistema de interrupções e acesso direto à memória para se efetuar a transferência de dados.
- Entrada e saída para o disco
- Execução de diversas funções simultaneamente
- Integração de mais de uma placa de aquisição através de um único software

Todas essas funções são desejáveis ao software de aquisição de dados. Alguns sistemas não contemplam todos os itens acima, entretanto, dependendo da aplicação, são aceitáveis.

Na seção seguinte, são apresentados os pontos importantes que devem ser analisados na escolha de um SAD.

### **5.3 Escolha dos sistemas de aquisição de dados**

Os sistemas modernos de aquisição de dados, assim como os sistemas de controle digital, em geral, podem ser classificados em dois grupos, embora os objetivos e os métodos sejam os mesmos:

- Sistema baseado em PC
- Sistema baseado em CLP

Nos primeiros, os computadores são dotados de placas de aquisição de dados e de software apropriado para converter as grandezas provenientes dos sensores para valores digitais que possam ser armazenados nas memórias dos computadores, ou converter esses valores para grandezas físicas capazes de sensibilizar os atuadores de uma planta. No segundo caso, os CLPs são dotados de módulos de entrada de dados e de software apropriado para converter as grandezas provenientes dos sensores para valores digitais que possam ser armazenados nas memórias dos CLPs ou, também, converter esses valores para grandezas físicas capazes de sensibilizar os atuadores de uma planta. Como se pode ver, os equipamentos são diferentes, porém com o mesmo objetivo. Neste texto, os dois casos serão analisados conjuntamente.

A escolha de um Sistema de Aquisição de Dados (SAD), pode ser dividida em cinco etapas analisadas a seguir.

#### **Etapa 1 - Identificação do tipo dos sinais de entrada e de saída**

Quando se selecionam os componentes para um SAD, deve-se, inicialmente, identificar o tipo de sensores e sinais de entrada e saída (E/S) que serão usados. Basicamente, pode-se ter os seguintes tipos de sinais:

**A. Entrada Analógica** - Neste grupo, estão contidos os sinais provenientes dos sensores das grandezas com variação contínua nas plantas industriais, tais como:

- Temperatura
- Pressão
- Torque
- Umidade
- Tensão elétrica
- Corrente elétrica etc.

**B. Saída Analógica** - Nos sistemas de aquisição de dados, em geral, as saídas podem ser de três tipos:

- **Tensão elétrica**, seguindo padrões internacionais de tensão tais como –10 a +10V, 0 a 5V etc.
- **Corrente elétrica**, seguindo os padrões de 4-20mA, ou 0-20mA.
- **Geração de formas de onda**, onde o usuário define a forma de onda desejada para ser enviada ao sistema.

**C. Entrada e Saída digitais** – Neste grupo, englobam-se todos os tipos de entradas com variação discreta no tempo, incluindo as entradas e saídas compatíveis com painéis de comando e CLP's. Pode-se agrupá-las em:

- **Entradas e saídas compatíveis com TTL<sup>6</sup>**, permitindo a conexão de dispositivos que seguem esse padrão.
- **Entradas e saídas em tensão de comando**, permitindo a conexão de ligações diretas com painéis de comando ou módulos de E/S de CLPs, nas tensões CA ou CC padronizadas, tais como: 24 Vdc, 110 Vdc, 110 Vca, 220 Vca.
- **Comunicação paralela/serial**, onde estão disponíveis os conectores compatíveis com os padrões RS232, RS422, RS485, etc.

**D. Entrada e saída temporizada** – Neste grupo englobam-se os sinais provenientes de dispositivos tais como encoders, contadores e geradores de pulso em geral, tendo-se as seguintes opções:

- Entrada e saída de freqüência
- Entradas referentes a contagem de eventos e de tempo
- Medidas de largura de pulso
- Geração de trem de pulsos

### **Etapa 2 – Escolha do método de condicionamento do sinal**

Muitos tipos de sensores e sinais precisam ser condicionados antes de serem conectados a um dispositivo de aquisição de dados. Assim sendo, deve-se aplicar dispositivos capazes de executar

---

<sup>6</sup> TTL (Transistor Logic): Trata-se de um padrão para circuitos lógicos introduzido pela Texas Instruments em 1964. Suas principais características são: - Tensão de alimentação = 5V; -Tensão de saída correspondente ao valor lógico zero = 0,2V; -Tensão de saída correspondente ao valor lógico um = 3,0V; Imunidade a ruídos = 1,0V.

# CST

## Arcelor Brasil

as seguintes tarefas nos sinais:

- Amplificação - é usada nos casos em que o sinal recebido não está nos padrões de tensão compatíveis;
- Isolação - em geral consiste no uso de dispositivos capazes de promover a isolação elétrica do sinal recebido para impedir a danificação do equipamento nos casos de alta tensão. Para isso podem ser usados acopladores ópticos.
- Filtragem - consiste em se retirar do sinal os ruídos indesejáveis antes de serem recebidos e introduzidos no computador.
- Multiplexação – consiste em se trabalhar com vários sinais em uma mesma entrada.

### **Etapa 3-Seleção do dispositivo de entrada e saída apropriado ao sistema de aquisição de dados**

A seleção do dispositivo de entrada e saída deve se basear em critérios tais como:

- Precisão
- Taxa de amostragem
- Número de canais
- Flexibilidade
- Confiabilidade
- Possibilidade de expansão
- Robustez
- Tipo de computador.

Com a definição desses critérios pode-se determinar qual dispositivo que melhor se adapta a aplicação desejada. Uma definição incorreta poderá levar a escolha de um dispositivo extremamente mais caro que as necessidades da planta em questão. Por outro lado, pode-se também, através de uma escolha incorreta, adquirir um dispositivo que não atenda às exigências do processo em questão. Há no mercado dispositivos para as mais variadas aplicações com grandes variações de preços. Portanto, cabe ao responsável pela escolha, primeiramente decidir pela classe de aplicação, que pode ser:

- **Classe de Instrumentação** – Estes são considerados os dispositivos mais caros pois são os mais versáteis, com desempenho compatível com os instrumentos mais precisos, com rápida acomodação, grande precisão, altas taxas de amostragem, possibilidade de sincronização em mais de um SAD, uso de contadores e temporizadores avançados, tanto as entradas como as saídas dotadas de isolação etc.
- **Classe de baixo custo** – Nesta classe, incluem-se os dispositivos com poucos canais de entrada e baixo desempenho, proporcionando uma solução de baixo custo para a maioria de aplicações industriais. Há, também no mercado uma infinidade de opções de fabricantes desta classe de produtos.
- **Classe dos dispositivos portáteis** – nesta classe englobam-se principalmente as placas de aquisição para computadores PC.

### **Etapa 4-Escolha dos cabos**

Para se conectar a placa de aquisição de dados ao computador, pode-se usar cabos coaxiais ou

fitas de condutores múltiplos. Os primeiros têm melhor precisão, isolamento a ruídos e conexão mais robusta. A vantagem das fitas é o seu baixo custo.

#### **Etapa 5-Seleção do software**

Com relação ao software necessário a um sistema de aquisição de dados deve-se decidir baseado nos seguintes itens:

- **Drivers para a conexão com diferentes fabricantes** – Este é um item decisivo com relação à escolha de um sistema de aquisição de dados, visto que, havendo necessidade de conexão com os outros fabricantes, o sistema a ser adquirido deverá possuir drivers que suportem a conexão. Como, em geral, esses drivers são adquiridos à parte, deve-se cuidar para não se adquirir software desnecessário.
- **Ambientes de desenvolvimento e linguagens de programação** – Os fabricantes de SAD têm oferecido, ultimamente, sistemas excelentes de aquisição de dados, com interfaces gráficas que permitem ao usuário operar facilmente o seu sistema. Entretanto, para certas aplicações, torna-se necessário o desenvolvimento de rotinas específicas, como por exemplo, no caso de geração de formas de onda para aplicações em equipamentos de testes. Para isso é importante que haja facilidade de conexão com linguagens tais como C, C++, Visual Basic, Delphi etc.
- **Sistemas Operacionais** – O software de um sistema de aquisição de dados deve ser capaz de operar sob o sistema operacional usado no computador onde for instalado. Portanto, este também é um fator decisivo na escolha do SAD. Há no mercado SADs que operam sob todas as versões do Windows, incluindo-se o sistema Windows-NT, além de OS/2 e Mac OS.

#### **5.4 Sistemas Supervisórios**

Neste texto, a denominação **Sistemas Supervisórios** se refere ao conjunto de equipamentos e ao software empregados na supervisão, operação e controle de plantas industriais, concessionárias de energia elétrica, sistemas de distribuição de água, edifícios etc.

Através desses sistemas, torna-se possível a execução das ações integradas de supervisão, operação e controle, a partir de um computador integrado ao sistema através de uma rede de computadores.

Há hoje, no mercado, um grande número de sistemas capazes de operar nas mais diversas plataformas de hardware. Nesses sistemas, a ação de supervisão é realizada pela visualização gráfica dos diversos componentes da planta na tela do computador. Os resultados das medições realizadas pelos instrumentos instalados em diversos pontos da planta são mostrados na tela do computador de várias formas:

- Valores numéricos
- Representações de variação de nível
- Gráfico x-t
- Visualização de medidores analógicos.

A ação de supervisão é também enriquecida pelo sistema de alarmes que tem a função de chamar a atenção dos operadores para os problemas que ocorrem na planta. Esta ação pode ser incrementada com um software de diagnóstico de falhas e recomendações de manutenção e reparo.

A tarefa de operação se torna extremamente facilitada com o uso dos atuais sistemas supervisórios, pois oferecem ao operador tanto a visão geral do processo industrial como os detalhes específicos dos instrumentos e dispositivos instalados. Todo o sistema pode ser completamente operado com o mouse e o teclado de um microcomputador. O comando dos dispositivos, chaves, válvulas e atuadores também é realizado com o mouse e o teclado,

economizando-se o tempo gasto no acionamento de chaves e botoeiras dos painéis de comando. Quanto à tarefa de controle, deve-se destacar as duas tendências existentes hoje na indústria:

- Controle através de controladores lógicos programáveis (CLP)
- Controle por microcomputadores.

No primeiro caso, a tarefa de controle fica restrita aos CLPs deixando para o sistema supervisório, somente as tarefas de supervisão e comando. Os defensores desta tendência alegam que os CLPs são mais confiáveis que os computadores. Isto se justifica visto que é comum se encontrar CLPs funcionando há mais de uma década, em ambientes industriais agressivos sem, contudo, haver falhas.

O controle através de computadores traz a vantagem de se poder utilizar toda a potencialidade de hardware e software dos modernos computadores, aliada às inúmeras possibilidades de técnicas de controle disponíveis nos sistemas de software de controle.

A utilização das duas tendências, em uma mesma instalação, é possível e será analisada ao longo deste trabalho. Nesse caso, deixa-se para os CLPs as tarefas de controle realimentado de plantas críticas e reservam-se as tarefas de controle dos níveis mais elevados para os computadores equipados com sistemas supervisórios. Nesses níveis, os tempos de resposta podem ser mais longos. Incluem-se, nesses casos, as ações de controle inteligente implementadas por sistemas especialistas utilizando-se técnicas avançadas como controle adaptativo, redes neurais artificiais, lógica fuzzy além de inúmeras técnicas de controle de sistemas não lineares.

Os vários produtores de sistemas supervisórios têm colocado no mercado versões cada vez mais sofisticadas e que permitem a integração de equipamentos de diversos fabricantes. Apesar de não haver uma padronização geral para os sistemas supervisórios, pode-se encontrar diversas características comuns que são analisadas nas seções seguintes.

### **5.5 Plataforma de Hardware**

Os primeiros sistemas supervisórios foram desenvolvidos na década de 60 para auxiliar na operação dos sistemas elétricos das concessionárias de energia. Eram usados computadores da época do tipo mainframe. Como esses computadores não possuíam as facilidades gráficas dos computadores atuais, eram utilizados painéis mímicos com lâmpadas sinalizadoras. Em seguida, ainda na década de 60, com o surgimento dos minicomputadores, diversos fabricantes passaram a produzir o que se conhecia como computadores de processo e que foram bastante utilizados na indústria. Esses sistemas foram os precursores dos SDCDs – Sistemas Digitais de Controle Distribuídos. Os primeiros SDCDs eram compostos, em geral, por computadores do tipo Workstation, utilizando-se amplamente a capacidade gráfica desses equipamentos. Os SDCDs são ainda amplamente utilizados na indústria. Diversas opções foram colocadas no mercado nos anos 80. Dentre as desvantagens desses equipamentos em relação aos sistemas supervisórios atuais, citam-se o custo e o fato de serem bastante fechados, isto é, dependentes do fabricante. Os sistemas supervisórios atuais são sistemas abertos, que aceitam hardware e software de diversos fabricantes e de diferentes plataformas, integrados em rede. Atualmente, são amplamente empregados microcomputadores do tipo PC, com processadores Pentium. As primeiras Workstations custavam em torno de US\$50.000,00, enquanto que os computadores do tipo PC, atualmente utilizados nos sistemas supervisórios, custam em torno de US\$2000,00. Sendo assim, o fator custo foi decisivo na escolha desses equipamentos para aplicações industriais. Nas seções seguintes são apresentados os detalhes de software e de estrutura dos sistemas supervisórios modernos.

## 5.6 Estrutura dos Sistemas Supervisórios

O termo Sistema Supervisório costuma ser empregado com duas conotações. Pode ser utilizados para se referir a toda a estrutura de supervisão, controle, sistema de aquisição de dados e rede de computadores, incluindo todo o software e todo o hardware. Entretanto, tanto os usuários na indústria, como os produtores de software usam também o termo Sistema Supervisório para se referir ao software. Para evitar essa dupla interpretação, neste texto utiliza-se a denominação **Software Supervisório** ou **Programa Supervisório** para se referir especificamente aos programas computacionais utilizados na supervisão, comando e operação de plantas em geral. Não se incluem, nessa denominação, outros programas tais como os Sistemas Operacionais e o software de controle de rede de computadores.

Os fabricantes de software supervisório oferecem versões que operam em computadores do tipo PC, Workstations e outras plataformas, utilizando sistemas operacionais tais como Windows-NT, OS/2 e Unix. Estes sistemas operacionais são do tipo multitarefa, permitindo que o software supervisório seja utilizado através do sistema gráfico de janelas e, portanto, eliminando-se os sistemas antigos de painéis mímicos. Todas as facilidades de controle e supervisão estão embutidas no software, restando para o engenheiro de sistema as definições de projeto e a montagem das janelas através de sistemas gráficos de desenho em computador. Em geral, não se exige do engenheiro de sistema habilidades de programação para a definição de um sistema supervisório.

Durante a operação, o software supervisório comunica-se continuamente com os equipamentos de controle no campo, tais como CLPs, instrumentos de medida, sistemas de aquisição de dados e outros dispositivos no campo. O software supervisório responde adequadamente, durante a monitoração dos equipamentos, armazenando os dados programados e respondendo à lógica imposta pelo sistema, ou por solicitação do operador.

As seguintes características e ferramentas são desejáveis em um software supervisório:

- **Visualização**

A visualização dos processos, através dos programas supervisórios é feita através de imagens gráficas com animação. Estas imagens podem ser construídas de forma hierárquica, de tal forma que o operador possa aplicar zoom em qualquer parte de uma imagem e obter informações mais detalhadas.

As variações de valores que ocorrem no campo são acompanhadas por essas telas gráficas, de diversas formas, tais como:

- Gráfico x-t
- Textos
- Representação dos ponteiros de medidores analógicos
- Representação visual de níveis em tanques.

As figuras são dotadas de uma característica especial de tal forma que qualquer figura pode ser definida como um **trigger**. Quando os triggers forem selecionados, automaticamente serão executadas diversas operações de entrada a partir dos Gates<sup>7</sup>.

A criação das figuras é realizada de acordo com o método adotado pelo fabricante do software supervisório. Os sistemas hoje existentes no mercado seguem os padrões de pacotes gráficos conhecidos, permitindo ao engenheiro de sistema criar representações dos equipamentos que possam realmente auxiliar os operadores das plantas industriais.

---

<sup>7</sup> Os Gates ou tags são variáveis através da qual se executam as entradas e saídas de valores através dos sistemas de aquisição de dados.

- **Alarmes**

O software supervisório executa, a todo instante, testes para se verificar as condições de alarme que são definidas pelo engenheiro de sistema. Há classificadores sofisticados que classificam e ordenam os alarmes em diversas categorias. As informações específicas de cada alarme podem ser imediatamente armazenadas para uso posterior, oferecendo aos operadores dicas de solução para os problemas anunciados.

- **Gráficos**

Os gráficos do tipo X-T servem para apresentar o histórico das variáveis do processo. Os valores são armazenados nos discos do sistema e podem ser consultados a qualquer instante. Trata-se de uma forma bastante eficaz de analisar desempenho e obter solução para problemas de controle. Podem também ser usados para estimação da equação dinâmica das plantas com vistas a melhoria dos esquemas de controle.

- **Relatórios**

Pode-se gerar relatórios on-line ou através de software específico utilizando os dados catalogados a cada varredura do sistema. Pode-se programar para que relatórios específicos sejam gerados automaticamente e de forma cíclica. Há também a possibilidade de geração de relatórios de eventos como o caso de análise de faltas.

- **Linguagem de controle**

Alguns fabricantes de software supervisório oferecem linguagens específicas que podem ser usadas pelos engenheiros de sistema para atuar diretamente na planta. São linguagens de alto nível que não exigem amplos conhecimentos de programação de computadores.

- **Ajuda on-line**

A qualquer momento o operador pode recorrer à ajuda on-line para tirar dúvidas de utilização do software supervisório. Há sistemas modernos que utilizam as técnicas de hipertexto.

- **Distribuição de recursos**

A estratégia atual de implantação de sistemas supervisórios é baseada no método de distribuição de dados através de sistemas de múltiplas estações. Desta forma, têm-se sistemas flexíveis e tolerantes a falhas. Sistemas de controle distribuídos e com múltiplos usuários podem ser prontamente projetados, incluindo backup inerente e com suporte para se manter a integridade das informações.

- **Conectividade**

Através de uma estrutura aberta os programas supervisórios são capazes de integrar os sistemas de instrumentação e de controle, tanto de forma horizontal, isto é, no plano do chão de fábrica como de forma vertical integrando-se com os sistemas de informação gerencial. São usados os sistemas de rede padronizados que permitem também a conexão com outro tipo de software gerencial, tais como sistemas comerciais de banco de dados.

- **Compatibilidade**

É fundamental que o software supervisório seja compatível com os equipamentos de campo tais como CLPs e sistemas de aquisição de dados. Esta compatibilidade é viabilizada através dos drivers<sup>8</sup> de equipamentos.

O principal objetivo deste texto é apresentar ao leitor uma visão geral dos sistemas supervisórios. Entretanto, torna-se necessário fornecer informações mais específicas para que o leitor possa adquirir conhecimentos suficientes para saber escolher e se tornar auto-suficiente para implementar o sistema que venha a ser adquirido por sua empresa. Esta visão específica ficaria extremamente vazia se fosse baseada em um sistema genérico como apresentado até este ponto. Sendo assim, foi escolhido o sistema Aimax, para servir de exemplo nas informações específicas. Há, portanto, neste texto, um caráter informativo e não comparativo. A escolha do sistema se prendeu somente a habilidade do autor com o mesmo. Pretende-se em futuras edições introduzir as informações relativas a outros fabricantes.

### **5.7 Características Gerais de um Software Supervisório**

Os sistemas supervisórios são apropriados para atuar como interfaces para monitoramento e controle de sistemas industriais. Esses sistemas são capazes de se comunicar com os controladores, sistemas de aquisição de dados ou quaisquer dispositivos que possua um driver apropriado capaz de trocar informações com o sistema supervisório.

Em geral, os sistemas supervisórios são compostos de três módulos básicos:

- Módulo de configuração
- Rotinas de execução
- Manutenção

No módulo de execução encontram-se as rotinas capazes de efetuar a operação do sistema, enquanto que os módulos de manutenção são usados em atividades tais como a introdução de novos drivers de dispositivos e demais atividades relacionadas a solução de problemas e otimização da operação.

Como os sistemas supervisórios têm quase sempre uma estrutura modular, pode-se adquiri-los a partir de uma configuração básica. Em seguida, pode-se adquirir outros módulos que podem ser incorporados separadamente. Por exemplo, no sistema AIMAX, os seguintes módulos podem ser anexados:

- Suporte ao sistema de monitores múltiplos
- Manuseador de tarefas
- Gerenciamento do funcionamento em batch
- Módulo de controle de qualidade estatístico on-line
- Revisão automática
- Interface de programação em C e Visual Basic
- Transferência Data Cliente DDE
- Interface para aplicações em tempo real SQL/ODBC

---

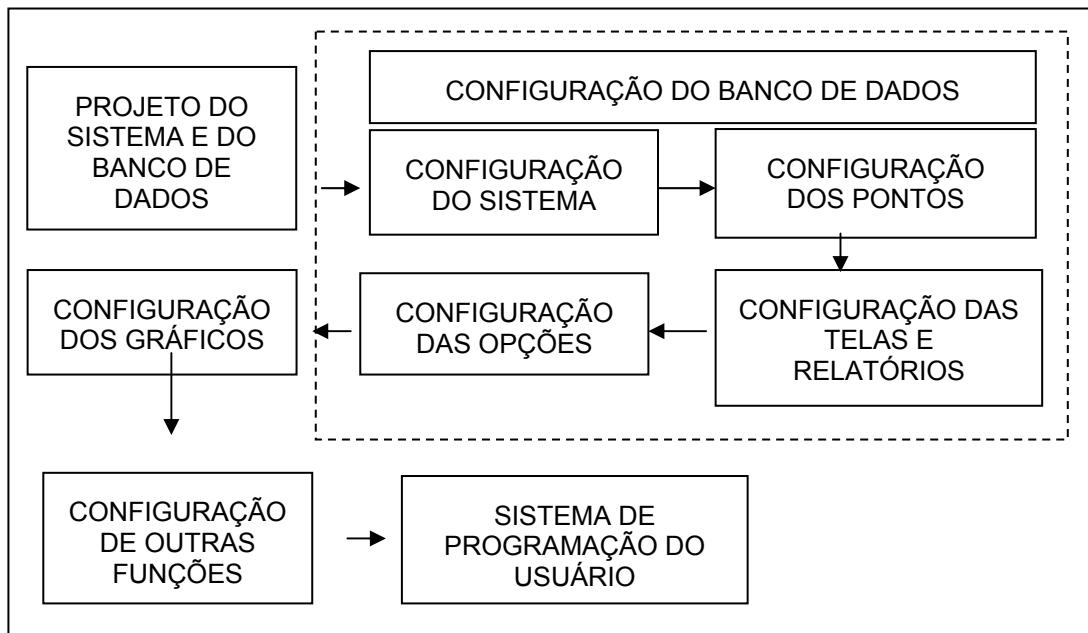
<sup>8</sup> Os drivers de equipamentos são programas que permitem que o sistema supervisório se comunique com os equipamentos de campo de forma transparente. Esta metodologia é a mesma utilizada pelos sistemas operacionais dos computadores, de tal forma que novos equipamentos desenvolvidos possam ser acionados por sistemas operacionais antigos.

Os sistemas supervisórios se caracterizam por apresentarem interfaces gráficas bastante amigáveis para que os operadores possam manuseá-las facilmente. Assim sendo muitos sistemas supervisórios apresentam diversos tipos de telas: tais como:

- **Tela gráfica** – apresenta uma representação pictórica do processo, incluindo animações que representam as variáveis do processo.
- **Telas de resumo** – onde se apresentam informações resumidas de diversos blocos tais como controladores PIDs, pontos analógicos, pontos digitais, etc.
- **Telas de detalhe** – apresentam informações com detalhes de cada elemento do processo incluindo parâmetros de ajuste e alarmes.
- **Gráficos no tempo** – são apresentados gráficos on-line das variáveis escolhidas. Podem também ser apresentados gráficos históricos com os valores catalogados no banco de dados.
- **Relatório de alarmes** – mostram as informações relativas aos alarmes ocorridos para análise.

## 5.8 Configuração dos Sistemas Supervisórios

Cada sistema supervisório possui o seu esquema próprio de configuração, entretanto algumas características comuns podem ser salientadas. Em geral, é recomendável que os dispositivos que deverão se conectados com o sistema sejam configurados primeiramente. Esta estratégia facilitará o processo de configuração. Entretanto, uma vez terminada a configuração, novos dispositivos poderão ser anexados ao sistema. Como exemplo, considere o diagrama de configuração (Fig.5.2).



**Fig.5.2.**  
**Seqüência de configuração de um sistema supervisório**

A configuração completa de um sistema supervisório envolve as etapas ilustradas na fig.5.2. Algumas etapas são opcionais, como, por exemplo, o último bloco da fig.5.2, que se refere às rotinas de software desenvolvidas pelo próprio usuário e que são incorporadas ao sistema. As etapas para a configuração completa do sistema são descritas a seguir.

#### **ETAPA 1 - Projeto do sistema e do banco de dados.**

O primeiro passo na configuração consiste no planejamento e no projeto do sistema de controle que deverá ser monitorado pelo sistema supervisório. Isto envolve basicamente a determinação de:

- Quais dados deverão ser coletados pelo sistema
- Quais dados deverão ser armazenados e/ou analisados
- Quais tipos de telas e relatórios serão necessários.
- Quais tipos de funções de controle deverão ser efetuadas pelo sistema supervisório.

Uma vez concluída esta etapa de planejamento ou análise do projeto, pode-se iniciar a etapa seguinte que consiste basicamente no projeto do banco de dados do sistema.

#### **ETAPA 2 - Configuração do banco de dados**

Esta etapa inclui as especificações detalhadas de todos os módulos do sistema supervisório iniciando-se pelo sistema computacional. Assim sendo, pode-se dividir esta tarefa nas seguintes fases:

- **Configuração do sistema** – inclui a definição das informações referentes às especificações dos computadores e da rede de computadores empregados para o controle e supervisão da planta. Dentre essas informações pode-se citar:
  - Parâmetros do sistema supervisório, incluindo os módulos opcionais a serem usados,
  - Parâmetros do sistema de comunicação,

# CST

## Arcelor Brasil

- Tipos de dispositivos de entrada e saída usados no sistema de controle e dos seus respectivos endereços,
  - Esquema de segurança, incluindo as senhas,
  - Diretórios e caminhos a serem usados para se armazenar os diversos arquivos de dados.
- **Configuração dos pontos** – esta etapa consiste na definição dos tags ou gates que deverão compor o sistema de supervisão e controle. Isto inclui os pontos de entrada e saída a serem acessados através do sistema de comunicação, assim como os pontos cujos valores são calculados ou são definidos como constantes. Estas definições podem ser divididas em:
    - **Definição dos parâmetros** – há parâmetros pré-definidos pelo sistema que poderão ser revistos e, também, novos parâmetros poderão ser definidos.
    - **Definição dos tipos de blocos** – alguns sistemas supervisórios permitem que sejam criados blocos de pontos para facilitar a sua identificação, assim como a sua visualização nas telas de processo. Esses blocos podem ser aqueles predefinidos pelo sistema supervisório ou então criados pelo usuário.
    - **Configuração de pontos únicos do processo** – nesta fase, são usados os parâmetros criados para se definir os pontos do processo, tais como valores de pressão, temperatura, etc.
    - **Configuração de pontos múltiplos do processo** – nesta fase, são usados os parâmetros criados para se estabelecer blocos de pontos do processo. Esses pontos múltiplos são baseados nos tipos de blocos definidos, especificando os tags do tipo bloco, incluindo os endereços dos dispositivos com os seus respectivos valores numéricos. Esses valores poderão ser lidos do processo ou calculados pelas funções criadas pelo usuário.
    - **Configuração dos pontos calculados** – os pontos calculados são obtidos com base em fórmulas definidas pelo usuário, que tanto podem ser lógicas como matemáticas. Essas fórmulas têm por base os valores de pontos únicos ou múltiplos ou, ainda, outros valores calculados.
    - **Configuração dos pontos acumulados** – esses pontos são o resultado de funções de totalização aplicadas em um único tag. Tais funções são realizadas pelo software de forma independente dos dispositivos de controle.
    - **Configuração dos pontos constantes** – trata-se de pontos definidos pelo usuário, podendo ser do tipo analógico, digital ou do tipo texto. Em geral esses pontos são fixados em um valor default, podendo ser alterados durante o processo.
    - **Definição dos pontos referentes aos gráficos x-t** – trata-se da definição dos pontos cujos valores compõem os gráficos on-line ou históricos.
    - **Configuração dos grupos de alarme** – as telas com grupos de alarme servem para resumir os eventos de alarme para um conjunto de tags. Esses eventos incluem informações tais como prioridade do alarme, dia e hora da ocorrência, tipo de alarme e valor do processo, tanto digital como analógico, no momento da ocorrência.
    - **Configuração dos relatórios** – os sistemas supervisórios modernos possuem geradores de relatório de formato fixo que facilitam a tarefa de configuração.
    - **Configuração das macros** – as macros permitem que, ao se acionar uma única chave, uma série de eventos sejam realizados em seqüência.
    - **Configuração do controle estatístico do processo** – através deste módulo pode-se usar toda a potencialidade do sistema supervisório para se efetuar controle estatístico, com base nos valores catalogados. Com os resultados dos cálculos pode-se criar relatórios e emitir alarmes.
    - **Configuração dos algoritmos de controle e operação** – os algoritmos, ou receitas podem

tanto ser definidos através de uma linguagem de alto nível aceita pelo sistema ou através de ferramentas especiais oferecidas pelos sistemas supervisórios. A configuração dessas ferramentas consiste em se criar arquivos com parâmetros das fórmulas e seus valores prefixados. Com esses arquivos, são geradas as telas com as respectivas receitas ou recomendações.

- **Configuração das opções** – após a definição dos pontos, pode-se criar os gráficos do tipo x-t, tanto do tipo on-line como os gráficos históricos, além dos relatórios pré-formatados, tais como relatórios de alarme.
- **Configuração das telas e relatórios** – esta fase inclui a criação das telas gráficas apresentando a visão pictórica do processo nas suas diversas fases. Esta tarefa que envolve um trabalho criativo do projetista pode ser bastante facilitada com o auxílio das ferramentas de desenho oferecidas pelos produtores dos sistemas supervisórios. Dentre essas facilidades, incluem-se inúmeros blocos Pré -definidos e sistemas de criação de animações, emulação de chaves, válvulas, medidores analógicos etc.

#### **ETAPA 3 - Configuração de outras funções**

Estas funções variam com cada tipo de sistema supervisório, podendo incluir as funções do tipo macro, programas do tipo batch, relatórios etc.

#### **ETAPA 4 – Desenvolvimento de rotinas de software do usuário**

Esta etapa somente deverá ser desenvolvida nos casos especiais que exijam a criação de procedimentos não previstos pelo sistema supervisório. Isto inclui métodos de controle não convencionais ou a estimação de valores não medidos. Alguns sistemas supervisórios oferecem uma linguagem própria desenvolvida somente para esta finalidade. Como exemplo pode-se citar o sistema supervisório Wizcon. Há também a opção de se desenvolver tais programas em linguagem C ou Visual Basic, como é o caso do sistema AIMAX.

## **6 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM)**

Este equipamento é de fundamental importância em uma automação, pois é através da IHM que o operador pode interagir com a máquina ou processo. Veremos, neste artigo, algumas particularidades no uso da IHM, tais como os métodos de comunicação, e os requisitos para sua especificação.

Em uma máquina ou processo muitas vezes se faz necessário que o operador intervenha no processo ou na seqüência de operação da máquina, ou então que o operador simplesmente visualize informações e tome atitudes no processo.

Para esse fim são utilizados vários equipamentos, entre os quais podemos citar:

- Quadro sinótico;
- Software de supervisão, também chamado Software Supervisório;
- IHM (Interface Homem Máquina).

Pelo propósito a que serve, todos os equipamentos acima citados são Interfaces Homem

# CST

## Arcelor Brasil

Máquina, pois em todos existe uma interação entre o operador (homem) e a máquina, porém essa denominação ficou mais conhecida aos equipamentos que abordaremos neste artigo. Em poucas palavras, uma IHM é um hardware industrial composto normalmente por uma tela de cristal líquido e um conjunto de teclas para navegação ou inserção de dados que se utiliza um software proprietário para a sua programação.

Há várias utilizações para uma IHM, vejamos exemplo na fig.6.1, onde observamos dois operadores empregando IHMs para interagir com uma linha de fabricação de motores. Em que eles poderiam utilizar uma IHM? Em várias situações, tais como:

- visualização de alarmes gerados por alguma condição anormal do sistema;
- visualização de dados dos motores da linha;
- visualização de dados de processo da máquina;
- alteração de parâmetros do processo (torque de aperto de parafusos, quantidade de lubrificação, número de cilindros,...);



**Fig.6.1.**  
**Exemplo de utilização de uma IHM.**

- movimentação em modo manual de componentes da máquina;
- alteração de caminhos nas rotas dos motores na linha;
- entre muitas outras funções.

Observem agora as fig.6.2 e fig.6.3. São máquinas operatrizes, havendo vários tipos que podem ser automatizados, e esse processo é feito com um equipamento eletrônico chamado de CNC (Comando Numérico Computadorizado). Com o CNC podem-se automatizar tornos, fresadoras, retíficas, centros de usinagem, mandrilhadoras. Na verdade qualquer máquina onde houver a necessidade da interpolação de eixos.

Em máquinas automatizadas como CNC é imprescindível o uso de IHMs (nesse caso, são IHM dedicadas à CNC), pois existe a real necessidade que o operador interaja com a máquina nas seguintes situações:

- referenciamento dos eixos;
- ajuste das ferramentas;
- carga do programa de uma peça a ser usinada;
- acompanhamento da execução do programa enquanto a máquina está usinando a peça;



**Fig.6.2**  
**Máquina operatriz com CNC.**

- parametrização dos acionamentos dos servomotores;
- ajuste da velocidade de avanço das ferramentas sobre a peça;
- visualização de alarmes;
- tela de manutenção onde pessoas preparadas podem intervir no funcionamento da máquina;
- realização de movimentos manuais;
- entre outros...

### **6.1 Tipos de IHM**

Há diversos fornecedores de IHM em nosso mercado, sendo que a maioria é constituída por fabricantes estrangeiros, oriundos de países como Alemanha, Estados Unidos e França.

Podemos citar os seguintes:

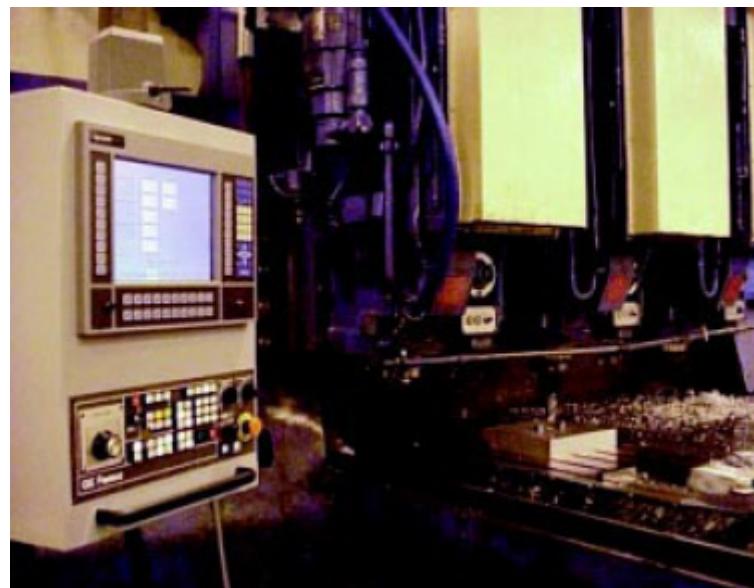
- Phoenix Contact ([www.phoenixcontact.com.br](http://www.phoenixcontact.com.br));
- Siemens ([www.siemens.com](http://www.siemens.com));
- Süttron ([www.suetron.de](http://www.suetron.de));
- Rockwell Automation ([www.ab.com](http://www.ab.com));
- Schneider Electric ([www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com));
- Pilz ([www.pilz.com](http://www.pilz.com));
- Altus ([www.altus.com.br](http://www.altus.com.br));
- Exor ([www.exor.com](http://www.exor.com));
- ESA;
- Lauer;
- Mitsubishi;
- Hitachi;

# CST

## Arcelor Brasil

- Atos;
- ...

Todos esses fornecedores possuem uma ou várias famílias de IHM, sendo que cada uma delas tem suas características e particularidades. Porém, entre os fornecedores, exceto alguns casos especiais, todas possuem similaridades, isto é um modelo de uma IHM da Siemens tem seu “concorrente” da Sùtron.



**Fig.6.3.**  
**Segundo exemplo de máquina com CNC.**



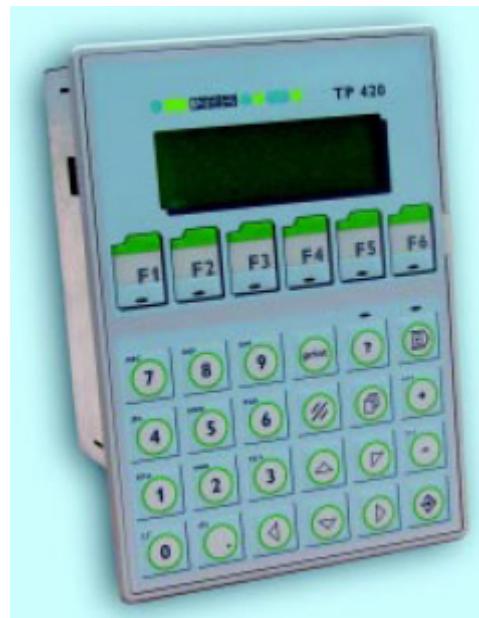
**Fig.6.4.**  
**IHM, modelo OP7, da Siemens.**

Atente para a fig.6.4, esta IHM é um OP7 da Siemens, este tipo de IHM é bem comum, pois é uma IHM pequena e possui os seguintes recursos:

- Display de cristal líquido monocromático de 4 linhas por 20 colunas (texto) e o tamanho do caracter é de 8 mm;
- Back-Light - Luz de fundo que permite a visualização da tela em ambientes com pouca luminosidade;
- teclado de membrana;
- 8 teclas de funções – que permitem a navegação entre telas, escrever em variáveis no controlador, e funções especiais específicas de cada IHM;
- teclas para inserção de dados no processo;
- frontal em IP67 – que indica o índice de proteção que o frontal da IHM possui.

Há um modelo equivalente dessa IHM oriundo de outros fabricantes. Vamos, então, fazer uma comparação com a IHM TP420 da Phoenix Contact na fig.6.5.

- Display de cristal líquido monocromático de 4 linhas por 20 colunas (texto);
- Back-Light - Luz de fundo que permite a visualização da tela em ambientes com pouca luminosidade;
- teclado de membrana;



**Fig.6.5.**  
**IHM, modelo TP420, da Phoenix Contact.**

- 6 teclas de funções com 6 LEDs para indicação;

# CST

## Arcelor Brasil

• frontal em IP67 – que indica o índice de proteção que o frontal da IHM possui. Como vocês puderam observar, essas IHMs são compatíveis em suas especificações técnicas, mas diferem em dois pontos: comunicação com o controlador e o preço do equipamento.

Agora veremos uma IHM mais sofisticada em recursos e em tamanho. Na fig.6.6 encontra-se a IHM BT 35C da Sütron, que possui as seguintes características:

- Display gráfico de cristal líquido colorido com resolução de 640 X 480 pixels;
- Back-Light;
- teclado de membrana com 41 teclas de funções e 21 teclas com LEDs acionadas por software;
- frontal em IP67;
- funções de tabelas, mensagens, gráficos, bargraphs, receitas e impressões.
- E sua grande vantagem consiste em se comunicar com os principais CLPs e rede Fieldbus do mercado, apenas trocando uma pequena placa de comunicação dentro da IHM.

### 6.2 Meios de Comunicação da IHM

Geralmente, existem três meios de comunicação entre a IHM e o controlador do sistema (na maioria dos casos um CLP);

#### Comunicação direta com o controlador

Esse tipo de comunicação é o mais utilizado, tendo em vista que o nosso maior mercado ainda é o de CLP, empregando a filosofia de centralização de sistema.

Essa comunicação depende exclusivamente do protocolo de comunicação e do protocolo elétrico usado pelo CLP. Se o protocolo elétrico do CLP for RS-232, a IHM precisará ter uma porta de comunicação em RS-232. Os protocolos elétricos mais comuns são:

RS-232, RS-485 e TTY, porém também temos que levar em consideração o protocolo de comunicação. Assim, tomemos o seguinte exemplo: O CLP da Rockwell SLC 500 tem em sua porta de comunicação o protocolo elétrico RS-232 e o protocolo de comunicação DF1. Por isso a IHM tem que ter uma porta RS-232 e possuir em sua “biblioteca” de protocolos de comunicação o protocolo DF1.

Normalmente, as IHMs têm uma biblioteca de protocolos de comunicação disponível no seu software de programação, e ao fazer o programa da IHM é necessário escolher o protocolo adequado para o CLP através do qual queremos comunicar, mas para isso é imprescindível ter o protocolo disponível, é claro! E, caso não exista o protocolo disponível, o que fazer? Quase nada, pois imaginem a seguinte situação: Uma empresa americana (Rockwell) desenvolveu um protocolo chamado DF1, sendo que para qualquer outro fabricante de equipamentos que quiser realizar uma troca de dados com o CLP em questão, este terá que desenvolver um “Driver” de comunicação entre o protocolo DF1 e o protocolo de comunicação da própria IHM. Dependendo do volume de vendas envolvido nessa aplicação, ou outros fatores comerciais, justifica-se o tempo e o gasto para o desenvolvimento do Driver; caso contrário não se justifica. Isso tudo com um detalhe, o fabricante do CLP tem que disponibilizar a documentação do protocolo, é o que

# CST

## Arcelor Brasil

chamamos de “Protocolo Aberto”.

Veja na fig.6.7 uma comunicação direta entre uma IHM e um CLP.



**Fig.6.6.**  
**IHM, modelo BT35C, da Sùtron.**

### Comunicação em rede de chão de fábrica – Fieldbus

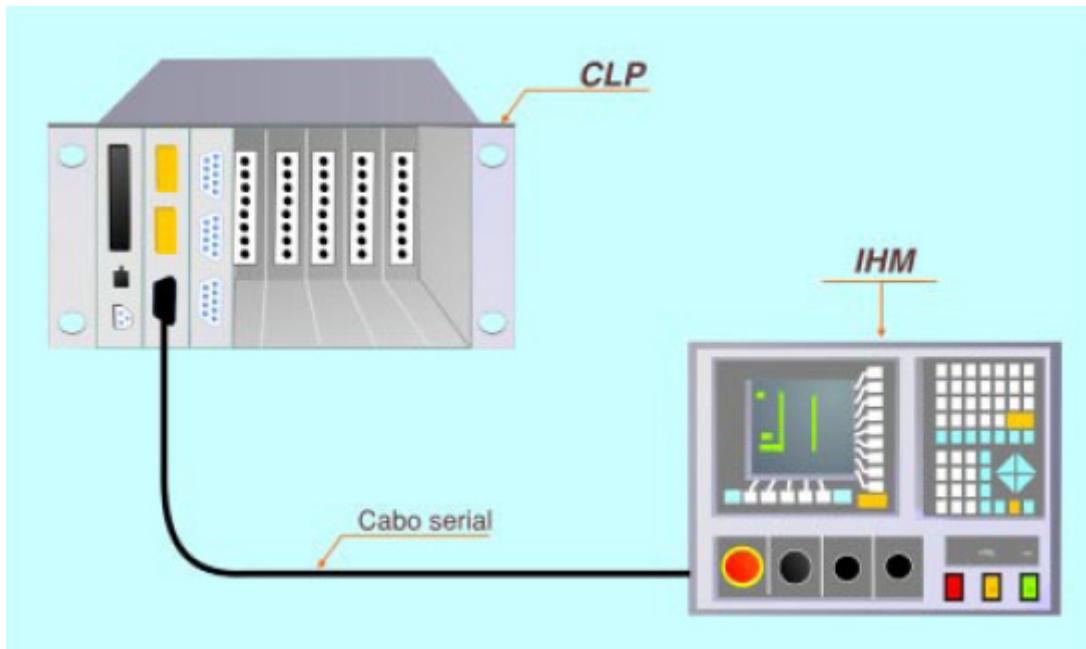
Cada vez mais o Fieldbus está se expandindo no nosso mercado, com isso os equipamentos utilizados em uma automação também tendem a se comunicar em uma rede de chão de fábrica.

As principais redes do mercado para manufatura são:

- Interbus;
- Profibus-DP;
- Devicenet.

Mas para uma IHM se comunicar com a maioria dessas redes Fieldbus, faz-se necessário um hardware adicional para prover o meio elétrico para tal comunicação. Com isso, temos duas possibilidades, ou a IHM já vem com esse hardware incorporado na sua própria placa eletrônica (on-board), ou instala-se uma placa adicional em um slot da IHM. A escolha entre uma opção e a outra depende muito do fabricante da IHM e da rede que estiver usando, por exemplo, as IHMs da empresa Siemens já vêm com a placa Profibus-DP incorporada, por um motivo simples, a Siemens é a empresa que mais divulga e mais fabrica equipamentos para rede Profibus. Da mesma forma, a Phoenix Contact, suas IHMs já vêm com a placa para a rede Interbus incorporada, também pelo mesmo motivo, sendo ela a empresa que mais divulga a tecnologia Interbus no mercado.

Entretanto, empresas como a Sùtron, Exor, Esa, Lauer não têm seus nomes vinculados a nenhum tipo de rede Fieldbus, por isso fabricam as IHMs, e os clientes escolhem em qual rede as mesmas serão instaladas com a utilização de placas adicionais para cada rede.



**Fig.6.7.**  
**Comunicação entre uma IHM e um CLP.**

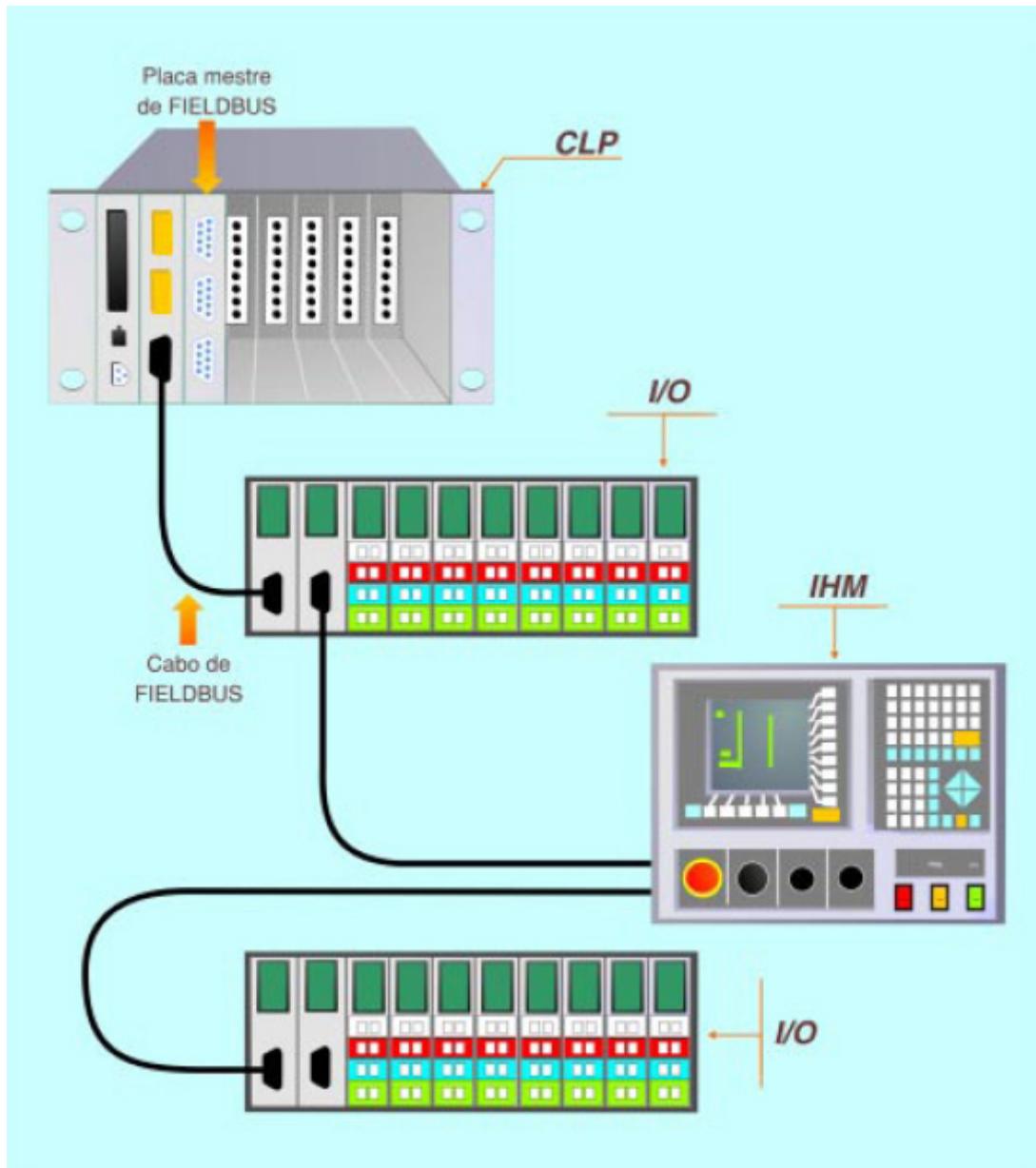
Vemos na fig.6.8 a utilização de uma IHM em rede Fieldbus, tendo como elemento controlador uma placa-mestre conectada a um bastidor de um CLP.

#### **Comunicação em um nível superior de uma rede Fieldbus**

Existe a possibilidade também da comunicação de uma IHM no nível chamado “Cell Level” em um sistema de automação.

Para esse tipo de comunicação utilizam-se redes com características de grande capacidade de troca de dados, entre elas podemos citar:

- Control-Net;
- Profibus-DP;
- Ethernet.



**Fig.6.8.**  
**IHM em uma rede Fieldbus.**

Nesse modo de aplicação a IHM entra como um dos mestres da rede Fieldbus, podendo com isso efetuar uma maior troca de dados em um tempo satisfatório para esse nível de rede, além de conseguir programá-las diretamente pela rede.

Para efetuar a comunicação, valem as mesmas regras acima citadas, isto é, precisa-se de hardware adicional para a comunicação com a rede Fieldbus.

Na **fig.6.9** vemos um CLP, um PC e uma IHM na mesma rede Fieldbus.

### IHM com I/Os ou redes Fieldbus incorporadas

Para uma pequena aplicação: uma máquina, por exemplo, existem IHMs que possuem também a função de um CLP – um CLP incorporado na IHM. Com esse recurso tem-se várias vantagens, tais como:

- redução de espaço no painel;
- diminuição do número de fios e cabos na instalação;
- comunicação entre o CLP e a IHM bem mais rápidos do que o modelo tradicional;
- redução de custos.

Há dois modelos de IHM com CLP incorporado: somente “IHM e CLP” e “IHM, CLP e Fieldbus”. Quando usamos CLP e IHM temos um sistema centralizado onde os I/Os estão no corpo do equipamento.

E ao utilizarmos o IHM, CLP e Fieldbus podemos ter, além dos I/Os incorporados, I/Os remotos, obtendo com isso um sistema totalmente distribuído. Na fig.6.10 observamos uma ilustração de como seria uma IHM, CLP e Fieldbus.

### 6.3 Especificando uma IHM

A especificação de uma IHM é 60% preço e 40% necessidade.

Em uma aplicação onde exista a necessidade de uma IHM, nós teremos que pensar em qual deverá ser o grau de recursos que estaremos fornecendo ao operador.

Algumas perguntas são básicas:

- **Visualização somente de texto ou será necessário o uso de gráficos?**

IHMs que apresentam somente textos costumam ser bem mais baratas que as gráficas; portanto, se realmente a gráfica é necessária.

- **Se for gráfica qual a resolução do display?**

A resolução é um fator importante a ser considerado quando pensamos no gráfico que iremos reproduzir e até mesmo para os desenhos que faremos.

- **A IHM deve ser grande ou pequena?**

Quem irá determinar o tamanho é o display, se este for grande (normalmente telas gráficas) ou se for pequeno (normalmente textos). Mostramos na fig.6.11 uma IHM bem pequena, da Siemens (OP3).

- **O display deve ser colorido ou pode ser monocromático?**

Eu diria que essa questão vai um pouco da beleza da aplicação, apesar de que existem casos onde uma tela colorida faz falta, por exemplo, onde temos gráficos com mais de uma variável e desejamos distingui-las utilizando cores diferentes. Não preciso nem dizer que uma IHM colorida é bem mais cara que uma IHM monocromática.

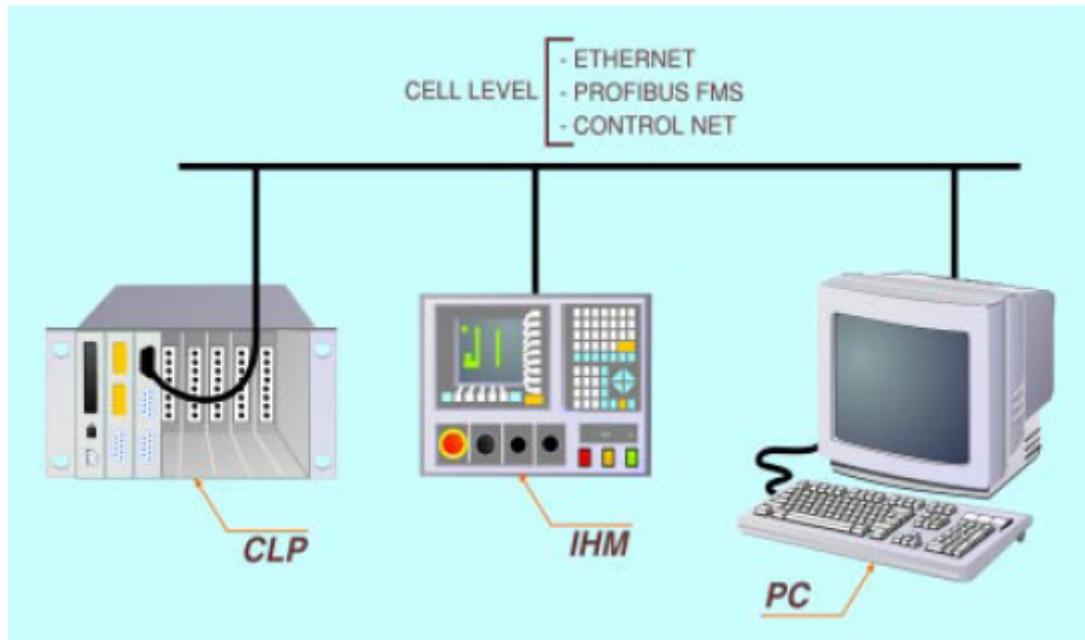
- **Touch-Screen?**

Touch-Screen é um recurso que algumas IHMs possuem e que consistem no fato do operador interagir com a IHM tocando diretamente na tela, dispensando o teclado convencional de uma IHM (fig.6.12). Essa função é a mesma que as utilizadas em caixas

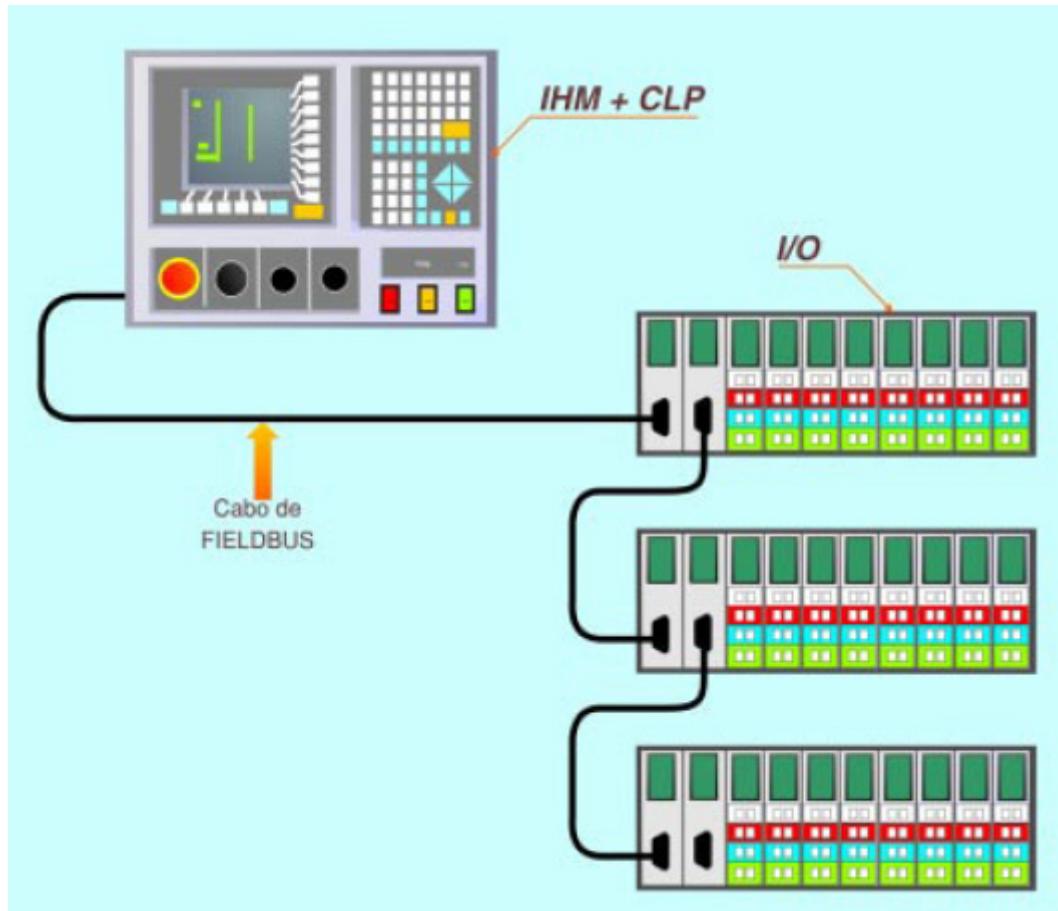
# CST

## Arcelor Brasil

eletrônicos. Uma IHM com Touch-Screen costuma ser mais cara que uma IHM com teclado de membrana.



**Fig.6.9.**  
CLP, PC e IHM na mesma rede Fieldbus.



**Fig.6.10.**  
**IHM + CLP e rede Fieldbus.**

- **Quantas teclas de funções serão necessárias?**

Como foi dito anteriormente, as teclas de funções são destinadas para a navegação, alterar valores de variáveis e algumas funções específicas de cada IHM, e normalmente o número de teclas de funções é definido de acordo com o tamanho do display.



**Fig.6.11.**  
**IHM pequena, da Siemens.**

- **Como a IHM irá se comunicar com o CLP?**

Este é um ponto importante, pois nem todas as IHM trocam dados com todos os CLPs e com as redes Fieldbus. É fundamental observar também o protocolo elétrico do CLP, se é RS-232, RS-485 ou TTY.

- Comunicação direta? Qual o protocolo do CLP?

- Fieldbus? Qual?

- CLP incorporado? É ideal onde temos máquinas e necessitamos baratear a aplicação, além de contribuir também com uma redução do espaço no painel.

- **É necessário o uso do teclado alfanumérico para a inserção de textos?**

Muitas vezes em uma aplicação o operador precisa entrar com dados para o processo, e em uma IHM isso só é possível se houver um teclado para a inserção dos dados (se a IHM não for Touch-Screen). Caso não seja imprescindível a inserção dos dados pelo operador, a IHM não precisará ter um teclado. Existem vários modelos de IHM sem o teclado e normalmente eles têm o custo menor do que as outras.

- **Poderá ser conectada uma impressora na IHM?**

Em algumas aplicações, há impressoras ligadas na IHM, e existem dois motivos para isto:

- relatório de alarmes;
- relatórios do processo.

As impressoras a serem ligadas na IHM devem ter uma porta de comunicação seriais RS-232 para esse fim, além de admitir uma programação em código ASCII dos seus parâmetros.

- **A IHM exigirá quais recursos de software?**

Algumas funções básicas todas as IHM têm, porém algumas mais específicas nem todas possuem como, por exemplo, geração de receitas.



**Fig.6.12.**  
**Touch-screen.**

- Gerenciamento de Alarmes;
- Realização de Bargraphs;
- Criação de Receitas.

#### **6.4 Quando não utilizar uma IHM**

Apesar da IHM ser um componente fundamental em uma aplicação, ela se revela limitada em alguns recursos quando comparado com software supervisório, por exemplo, os recursos matemáticos de uma IHM são muito restritos e, em alguns casos, somente é possível a normalização de variáveis (equação do primeiro grau). Em um software supervisório a comunicação com o mundo exterior torna-se muito mais simples pelo fato de ser em plataforma Windows, entretanto, como tudo tem seu custo, um software supervisório é um programa caro, precisando-se de uma base operacional que é o Windows (já existe para Linux também) e um computador, de preferência padrão industrial. Esse conjunto acaba saindo muito caro. Por esse motivo, a IHM ainda é a preferência na maioria das aplicações.

Um outro fator que impede o uso de IHM é quando precisamos nos comunicar com algum banco de dados ou com sistemas ERP. Nesse ponto, o software supervisório é imprescindível.

#### **6.5 Conclusão**

Vimos, neste artigo, a importância do uso da IHM na área de Automação Industrial, mas o mais importante é ter em mente que, ao se escolher uma IHM, tenhamos certeza que ela se encaixa na aplicação prevendo o futuro, por exemplo. Hoje, o operador não precisa entrar com dados do processo, porém num futuro próximo ele poderá inserir dados de processo. E, ao especificar, procure a que oferecer melhor custo/ benefício dentro das perguntas acima mencionadas.

## 7 SISTEMA PIMS

### 7.1 Apresentação

O termo PIMS (*Plant Information Management System*) começa a ecoar nos meios de TI (Tecnologia da Informação) e também nos meios industriais, onde é feita a sua aplicação. Trata-se de uma tecnologia emergente que começa a ser difundida entre os vários tipos de indústrias, embora não seja novidade para alguns segmentos industriais, como o petroquímico, onde sua utilização traz ganhos da ordem de milhões de dólares por ano. Devido aos seus benefícios, esta nova forma de controlar as informações provenientes do processo, será cada vez mais utilizada nos novos projetos que envolvam sistemas de supervisão e controle, sendo uma complementação para ambos.

A MESA (*Manufacturing Execution System Association*), instituição criada para regulamentar as definições das novas tecnologias de *middleware* (principalmente de MES), tenta sintetizar as diversas funções dos futuros sistemas industriais. Como exemplo, temos hoje definidos muitos conceitos, entre os mais conhecidos: MES (*Manufacturing Executin System*), EPS (*Enterprise Production System*) e PIMS (*Plant Information Management System*). Aqui vamos nos concentrar no conceito de PIMS, mas é recomendado o estudo dos outros dois termos, que de certa forma complementam ou estendem o conceito de PIMS.

Basicamente, PIMS é um *software* que contém um repositório, onde são concentradas todas as informações relevantes das células de produção, diretamente ligadas aos sistemas de supervisão e controle. O PIMS coleta informações dos sistemas de supervisão, CLPs, SDCDs e sistemas legados e os armazena em uma base de dados *real time*. Tal base tem características não encontradas nos bancos de dados convencionais, como: grande capacidade de compactação (tipicamente de 10:1) e alta velocidade de resposta a consulta em sua base histórica. Devido a isto, é capaz de armazenar um grande volume de dados com recursos mínimos, se comparado às soluções convencionais.

O PIMS é uma solução pronta para quem quer implementar rapidamente um sistema de *middleware*, satisfazendo cerca de 90% das necessidades de uma indústria de processos. Quando aparece uma nova necessidade não contemplada nos pacotes tradicionais, o PIMS deixa aberta a porta para o desenvolvimento de funções específicas, utilizando, por exemplo, os tradicionais bancos de dados relacionais.

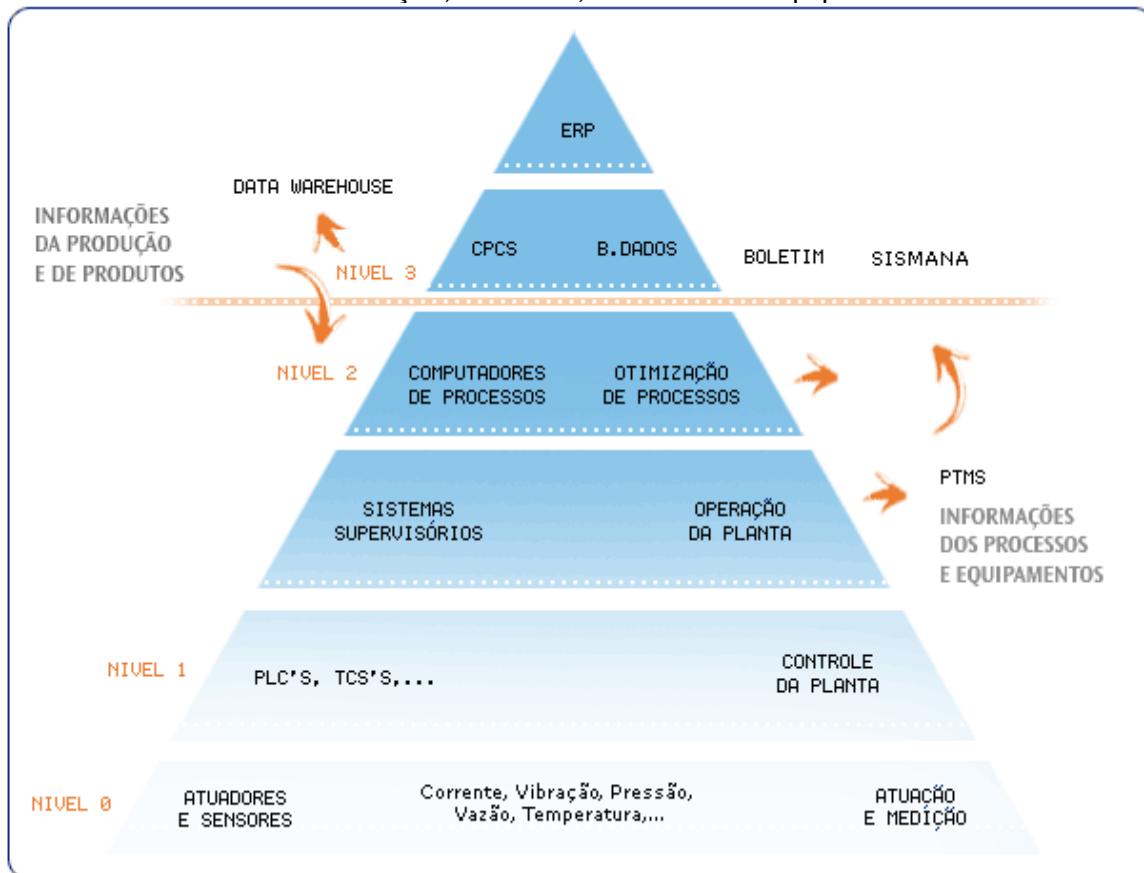
### 7.2 Comunicação com Sistemas Externos

Uma das tarefas mais difíceis na implementação de sistemas de *middleware* é a conexão com os sistemas que compõem as células de produção. Estes sistemas, mesmo dentro de uma fábrica bem planejada e moderna, são extremamente heterogêneos.

Os sistemas PIMS dispõem de ferramentas especialmente desenvolvidas com a finalidade de conexão com os sistemas industriais (supervisão, CLPs, SDCDs, sistemas legados, etc) tornando essa tarefa mais fácil. Essas ferramentas já dispõem de uma grande variedade de *drivers* de comunicação (tipicamente 150), cobrindo a maioria dos sistemas existentes e englobando as mais novas tecnologias de troca de informação, tais como o OPC. Caso não se tenha o *driver* específico para a conexão entre o software de PIMS e o sistema industrial em questão, existem ferramentas disponibilizadas pelos fabricantes, que facilitam a confecção de um novo *driver*.

### 7.3 Modelo de Gerenciamento de Dados CST

Gerenciamento de dados de Produção, Produtos, Processos e Equipamentos.



**Fig.7.1.**  
**Modelo de Gerência de Dados CST**

- **NIVEIS 0 E 1 – OPERACIONAL**

Sensores e Atuadores: Conjunto de equipamentos responsáveis pela medição e controle das variáveis do processo produtivo, atuando diretamente sobre as grandezas controladas. Supervisórios e PLCs: Conjunto de equipamentos capazes de realizar a lógica de controle da planta à qual está ligado e também permitir a atuação dos operadores sobre essa lógica.

- **NÍVEL 2 – TÁTICO**

PROCOM: Sistemas normalmente representados por computadores de processo que executam algoritmos de otimização do processo e modelos matemáticos para aumento de eficiência da operação.

PIMS: representado por um sistema de coleta, armazenamento e disponibilização das informações de processo que facilita a análise de falhas e pesquisa de melhorias dos processos. Integra-se a sistemas de nível 3 como o SISMANA (Sistema de Manutenção).

- **NÍVEL 3 – ESTRATÉGICO**

# CST

## Arcelor Brasil

ERP e CPCS: É todo o conjunto de equipamentos e softwares responsáveis pelo gerenciamento das informações corporativas da empresa, passando pela administração de pessoal, finanças, contabilidade, planejamento de produção, vendas, etc... DATAWAREHOUSE: Consiste em um Banco de Dados corporativo integrando as diversas áreas da companhia, que permite pesquisas avançadas além de análise e identificação de padrões.

## 8 BIBLIOGRAFIA

### LIVROS

- Oliveira, Júlio César P. - Controlador Programável - Makron Books - 1993;
- Bonacorso, Nels G. e Noll, Valdir . - Automação Eletropneumática - Érica - 1997;
- Porras , A. e Montanero, A.P. - Autómatas Programables - Mc Graw Hill ; 1992
- Mandado, J. Marcos - Controladores Lógicos y Autómatas Programables Marcombo;1991
- Otter, Job Den – Programmable Logic Controller – Prentice Hall,1988
- Natale, Ferdinando – Automação Industrial – Érica, 1995
- KISSEL, T. ‘Understanding and Using Programmable Controllers”, Prentice-Hall International Editions, 1986, ISBN 0-13-936667-9.
- [1]. Katsuhiko Ogata (1990), “Modern control engineering”  
Editora Prentice-Hall Inc., 2<sup>a</sup> Edição
- [2]. Curtis Johnson (1990), “Controle de processos – Tecnologia da Instrumentação”  
Edição da Fundação Calouste Gulbenkian
- [3]. Luciano Sighieri e Akiyoshi Nishinari (1973), “Controle automático de processos industriais – Instrumentação”, Editora Edgard Blucher, Lda.
- [4]. Michael Babb (1990), “Pneumatic instruments gave birth to automatic control”  
Revista Control Engineering, Nº de Outubro
- [5]. Francis G. Shinskey (1978), “Energy conservation through control”  
Academic Press, USA

### MANUAIS

- Programmable Controller - Manual do usuário - Allen Bradley - 1984;
- Programação Ladder Série H -Actsip - H - Hitachi - 1996;
- Manual de Operação do CPW-A080 - Weg - 1989;
- Hardware Manual - FXo / FXon - Mitsubishi Electric - 1997;
- Manual do Melsec FX - Mitsubishi Electric - 1997;
- Manual do Melsec A1S - Mitsubishi Electric - 1997;
- Manual do programador Altus AL3800 - Altus - 1994.
- Manual do programa Lookout - Evaluation Guide - National Instruments
- Manual de Hardware e Software do PLC MODICON – QUANTUM
- Manual do Concept 2.1 XL – Groupe Schneider
- Manual de Hardware e Software do PLC OMRON – SYSMAC
- Manual de Hardware e Software do PLC GE-FANNUC
- Manual de Hardware e Software do PLC SIEMENS – S7

### ARTIGOS:

- Anotações de aulas dos cursos de PLC, Automação e Controle – SENAI-ES
- Apostilas de Automação básica do SENAI –ES;
- Construa um CLP com o Basic Stamp - Revista Saber Eletrônica - nº 288 / 1997;
- O Controlador Lógico Programável – Pedro Luis Antonelli
- Controladores Lógicos Programáveis - Revista Saber Eletrônica - nºs 303/304/305 ;
- Micro-DX - Controlador Programável - Revista Saber Eletrônica nºs 258/259 ;
- Sistema Micro - PLC - Revista Elektor Eletrônica - Portugal - Maio - 1996;
- Programação PLC - Revista Elektor Electrónica - Portugal - Maio/Junho - 1996;



**INTERNET:**

<http://www.plcopen.org/>

<http://www.cst.com.br/>