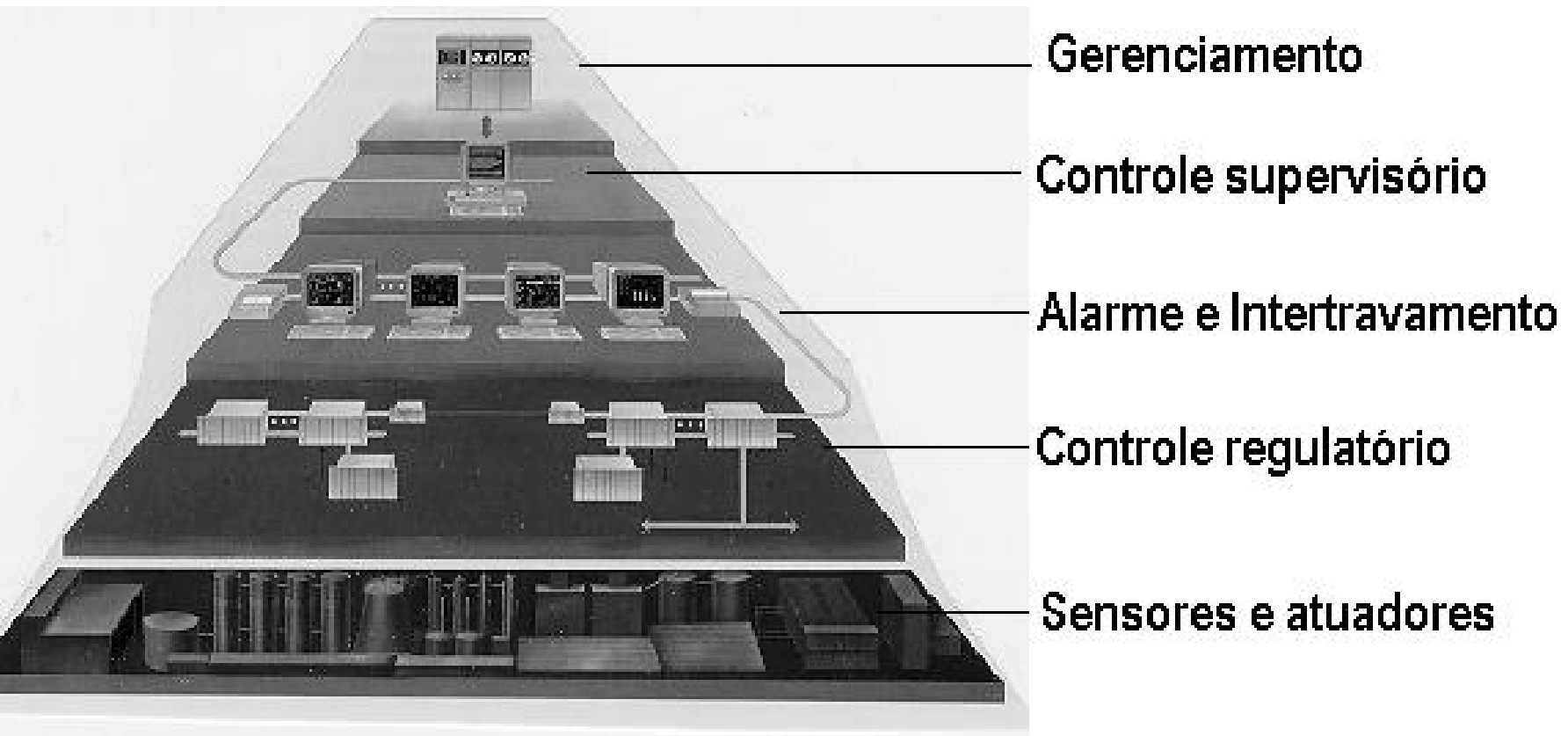
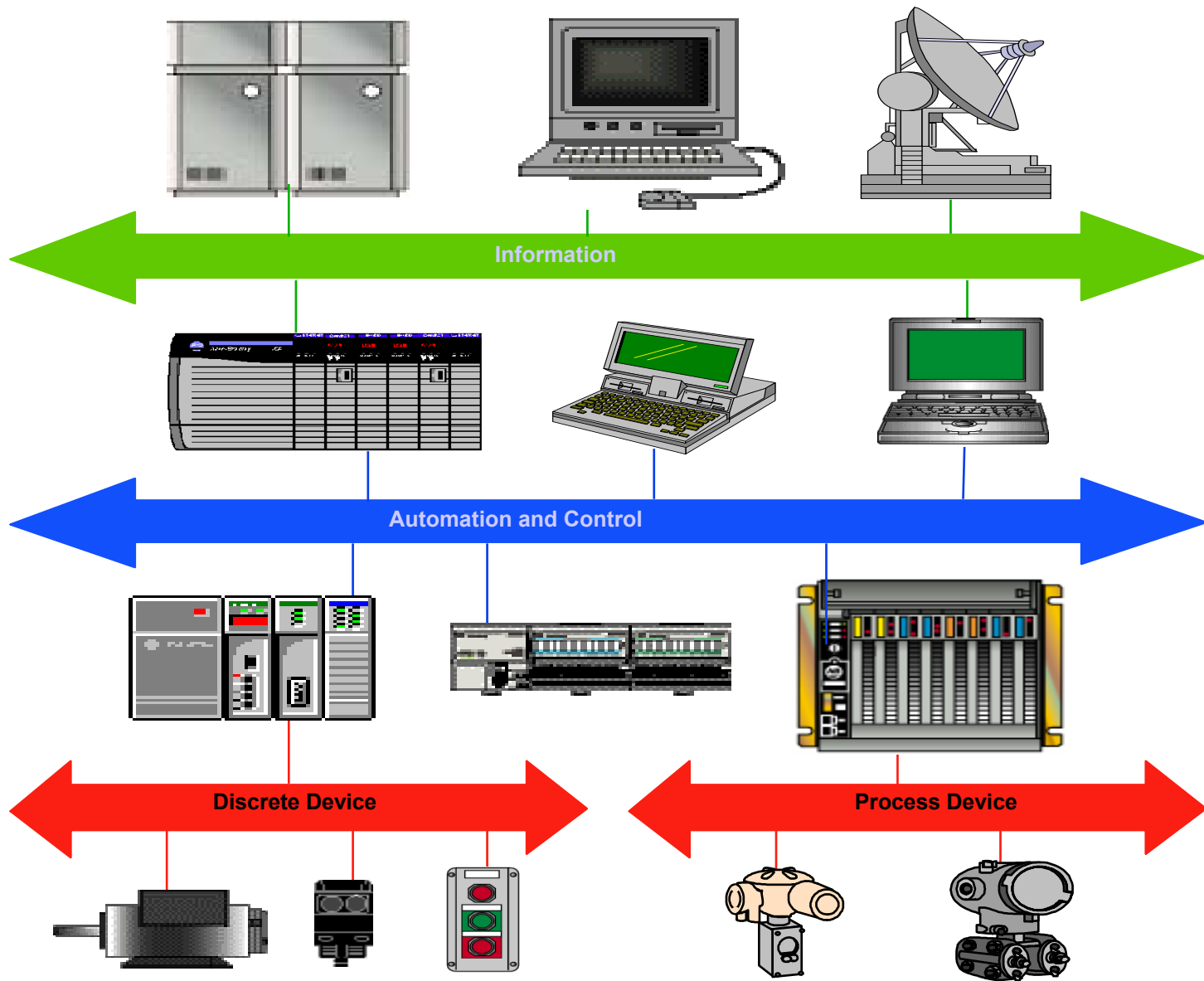


Redes de Comunicação para Aplicações Industriais

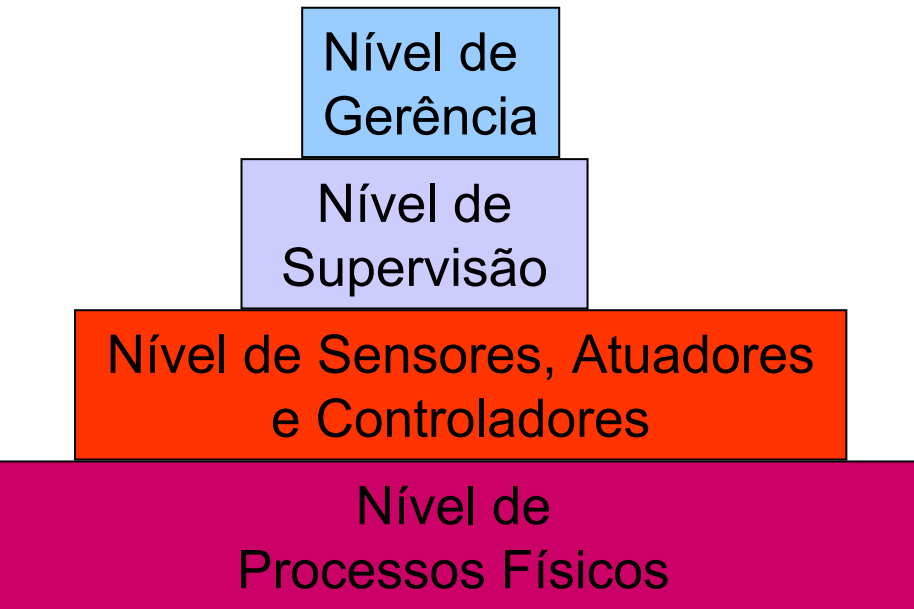
Luiz Affonso Guedes
affonso@dca.ufrn.br

Localização do Problema da Automação





Comunicação no Nível de Controle



- Estudar as características de sistemas de comunicação no nível de sensores, atuadores e controle

Problemas da Tecnologia Atual da Automação

- Sala de Controle Central
 - **Quilômetros de cabos**
 - Milhares de conexões = pontos de falha
 - **Centenas de indicadores**
 - **Difícil compreensão**
 - **Alta probabilidade de erro de operação**
 - **No máximo, controle automático**
 - **Coleta manual de dados para relatório**
 - **Dificuldade de rastreabilidade**

Fatores de Mudança

- Ambiente de maior Competitividade
 - Redução de custos
 - Implementação
 - Manutenção
 - Manutenção da qualidade dos produtos
- Revolução da Informática
 - Integração de circuitos em larga escala
 - Utilização de computadores na indústria
 - Surgimento dos microcomputadores
 - Redes de comunicação digital

Fatores de Mudança

- Controladores Programáveis
 - Substituição dos painéis de relés
 - Alterações no automatismo sem alterar fiação
 - Alta velocidade de processamento
 - “Hardware” cada vez mais confiável
 - Ampla oferta de recursos de programação
- Computadores de Supervisão
 - Substituição dos painéis de controle
 - Significativa economia de cabos
 - Organização das informações apresentadas ao operador

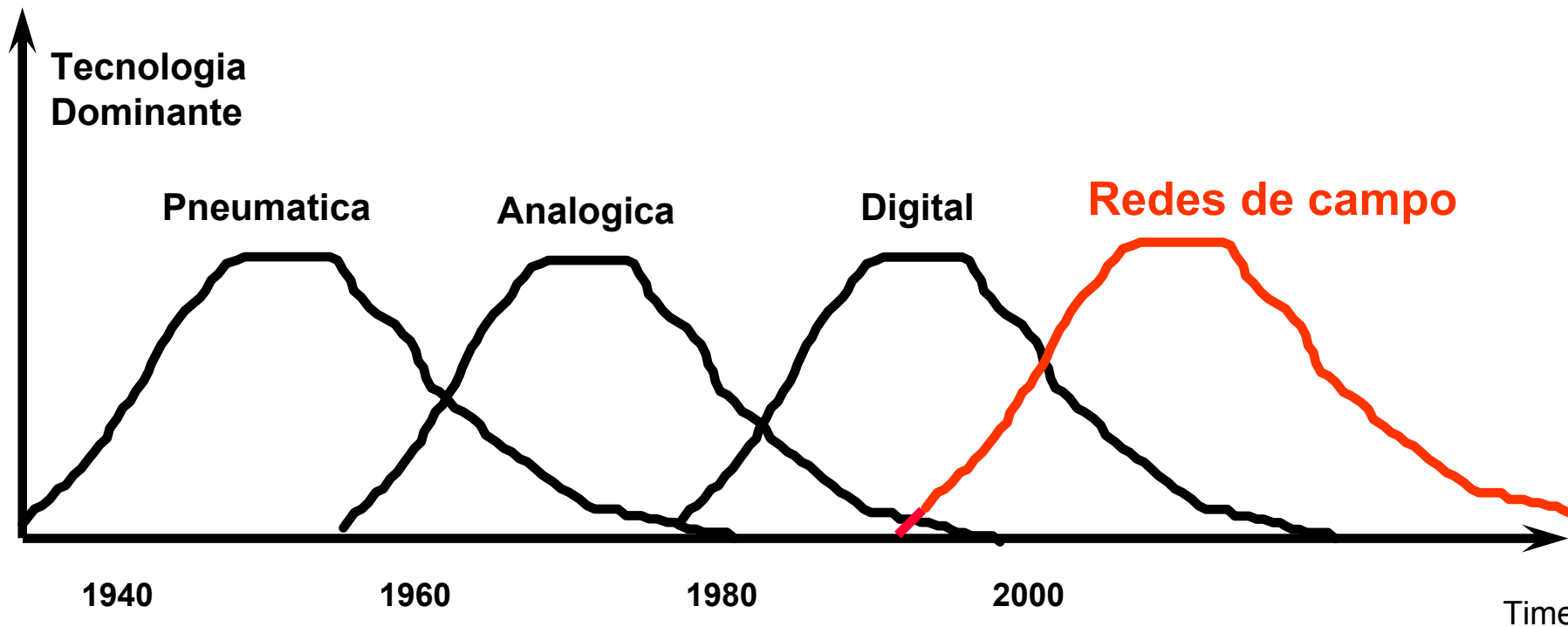
Fatores de Mudança

- Computadores de Supervisão
 - Substituição dos painéis de controle
 - **Significativa economia de cabos**
 - Computadores ligados aos CLP's
 - **Forte dependência da rede de comunicação digital**
 - Organização das informações apresentadas ao operador
 - Amplo acréscimo de recursos ao sistema de automação

Situação Atual

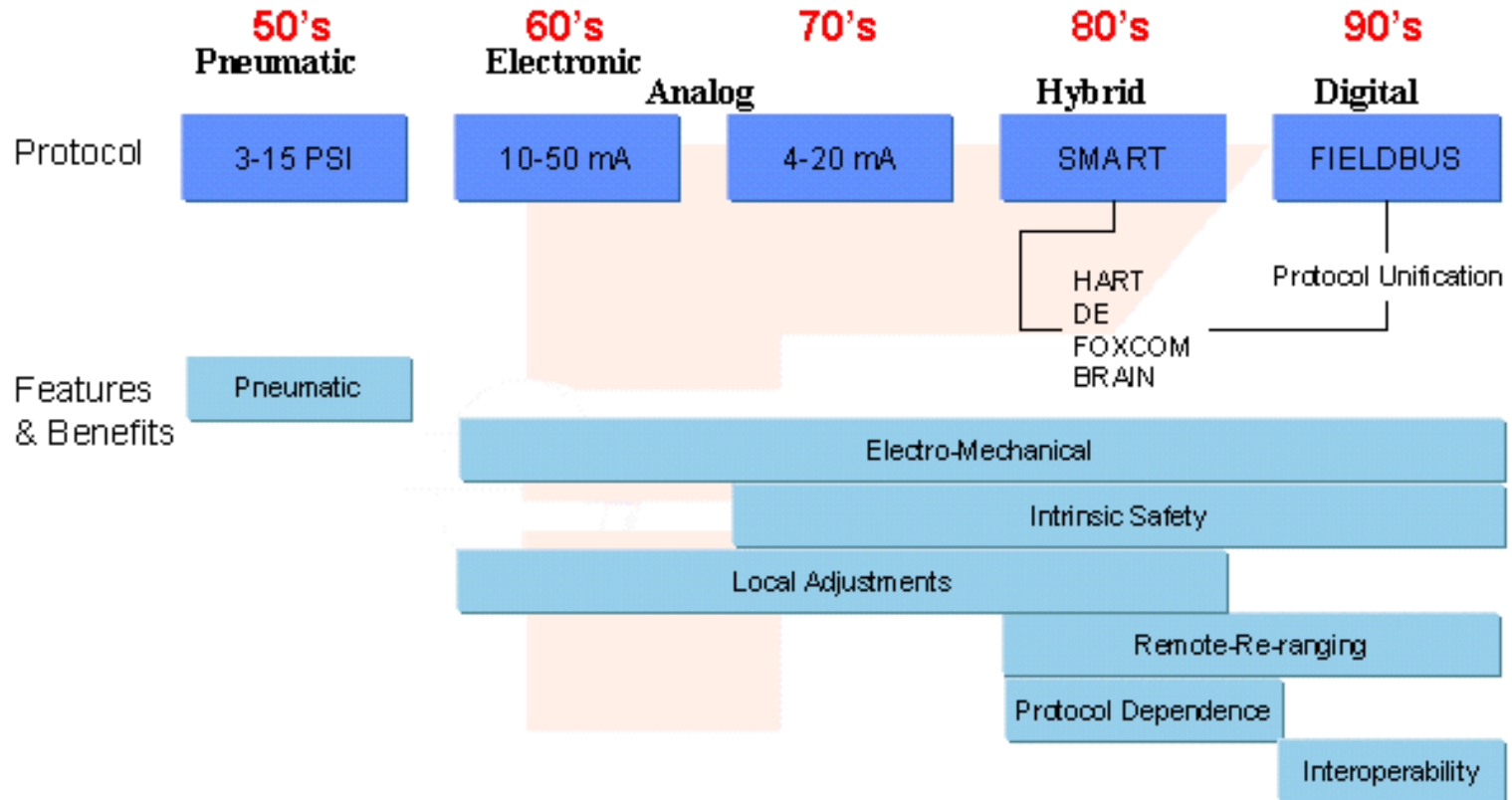
- Controlador programável / Instrumentação
 - Tendência à distribuição das E/S
 - **Economia muito significativa de fiação**
 - Principais fatores de mudança
 - Instrumentos inteligentes
 - Várias opções de redes p/ comunicação a nível de “chão de fábrica”
 - Padronização
 - Nenhuma rede atende a todas as aplicações
 - Surgimento de novas tecnologias
 - Mais recursos do que simples substituição de cabos
 - Viabilização de novos tipos de solução

Evolução do conceito de sistemas de comunicação em automação industrial

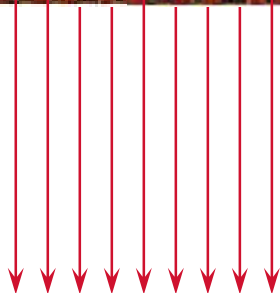
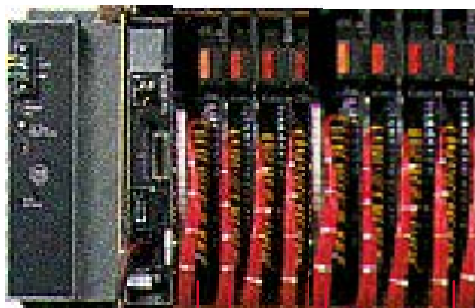




Technological Paradigms

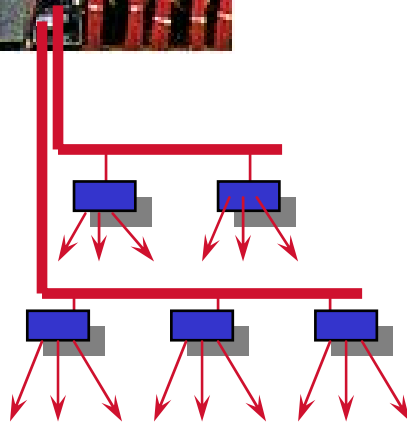
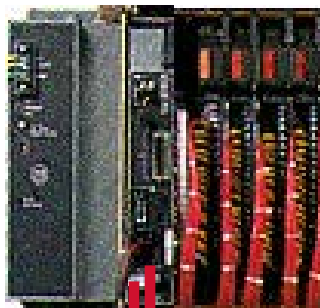


Distribuição E/S



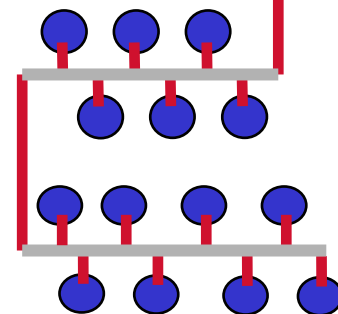
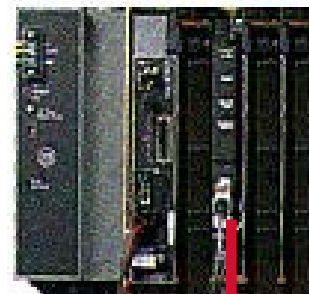
Tradicional

Cada dispositivo e ligado individualmente ao CLP
Alto custo de instalação



Atual

Distribuição de E/S ao longo da fabrica.
Menor custo de instalação

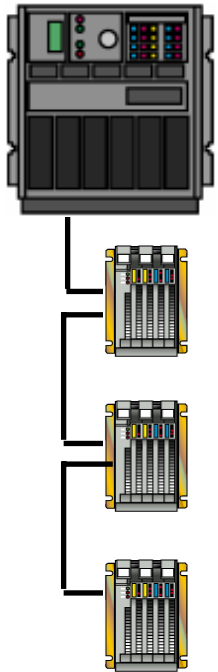


Tendência

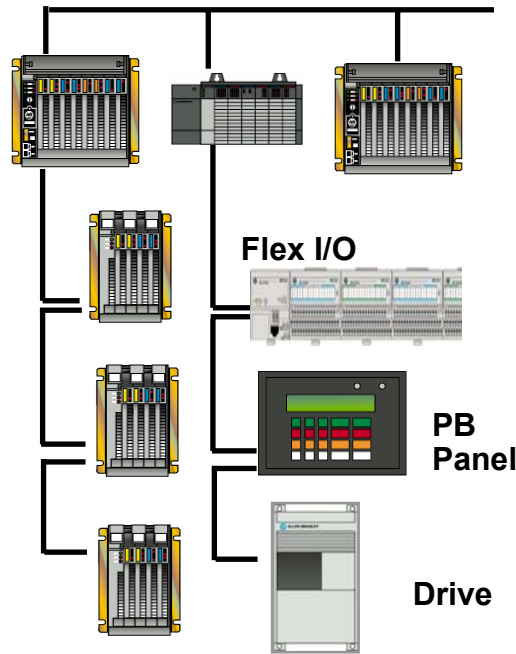
Sensores inteligentes
Ganho funcional
Baixo custo de instalação

Paradigma do Controle Distribuído

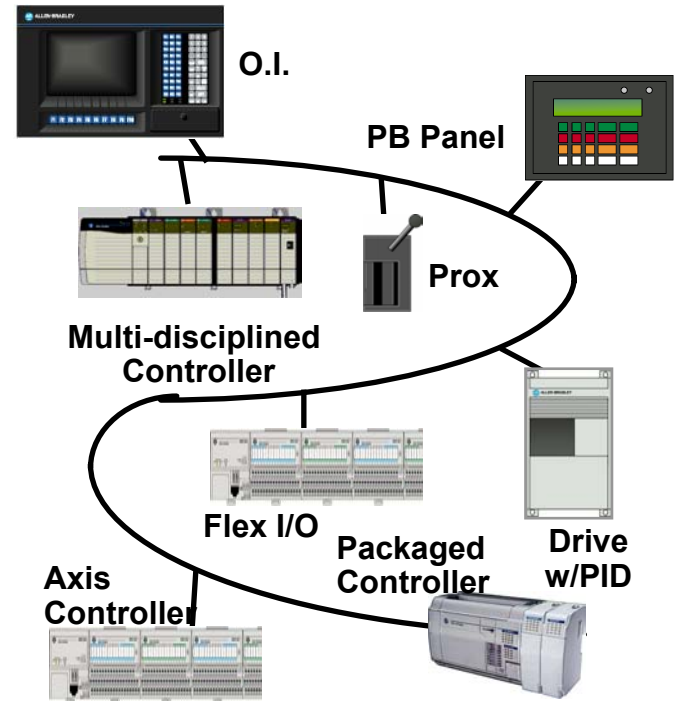
1980's



1990's



2000



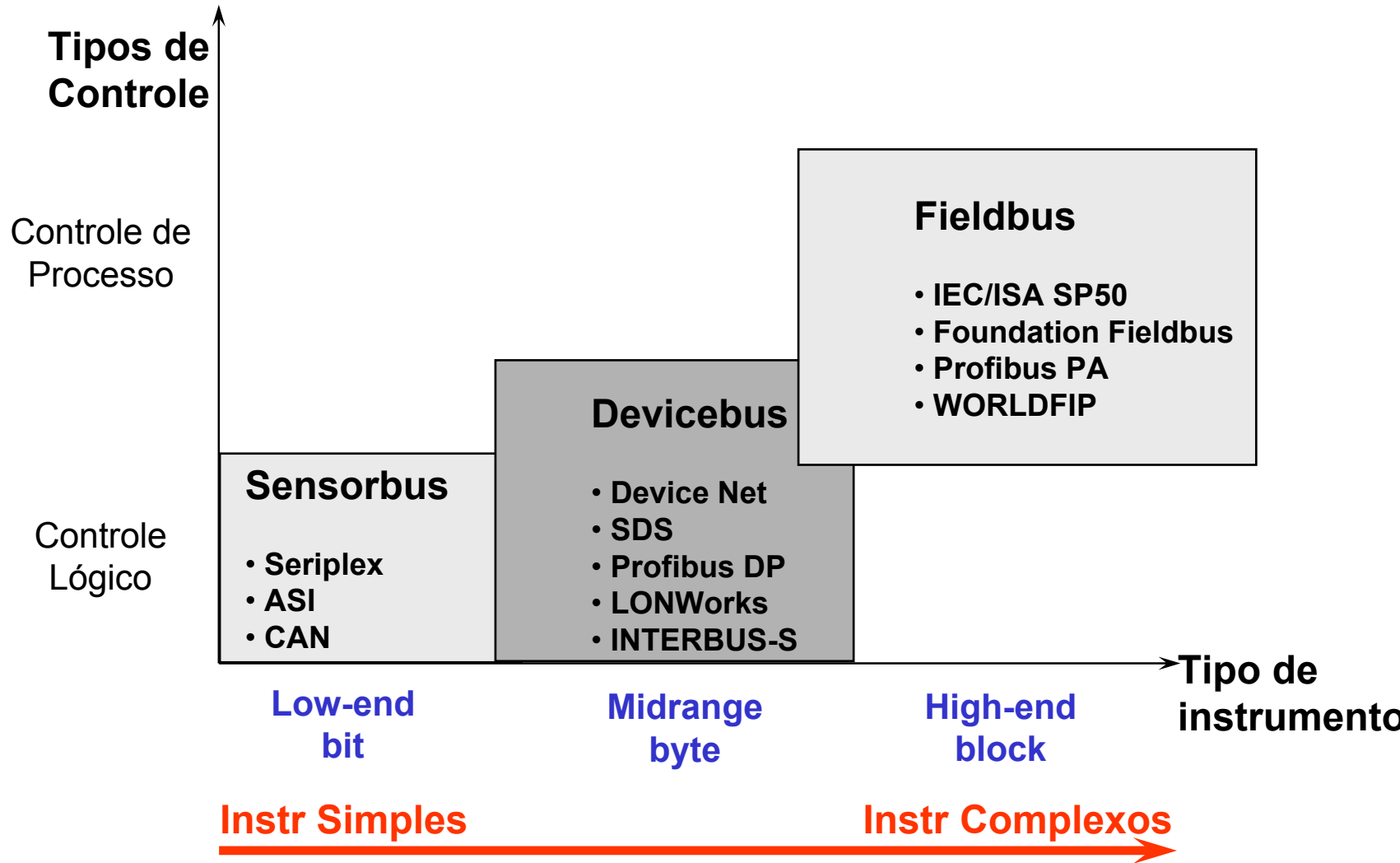
Redes de Comunicação

- Interligação de Computadores
- Integração de computadores aos CLP's
- Integração dos CLP's a dispositivos inteligentes
 - **Controladores de solda**
 - **Robôs**
 - **Terminais de válvulas**
 - **Balanças**
 - **Sistemas de identificação**
 - **Sensores**
 - **Centros de Comando de motores**

Caracterização de uma Rede

- **Taxa de transmissão**
 - velocidade dos “bits” no fio
- **Eficiência do protocolo**
 - bytes de dados x total de bytes na rede
 - Forma de arbitragem do acesso ao meio
- **Modelo da rede**
 - conceituação do fluxo de informação
 - número de mensagens necessárias
 - frequência de troca das mensagens

Classificação de Redes Digitais de Controle



Redes Tipo Sensorbus

Dados em formato de bits.

Conexão

- poucos equipamentos.
- Equipamentos simples
- Ligação direta.
- Características:
 - Comunicação rápida em níveis discretos.
 - Sensores de baixo custo.
 - Pequenas distancias.
- Objetivo Principal:
 - Minimizar custo.
- Exemplos:
 - Seriplex, ASI e Interbus Loop.

Redes Tipo Devicebus

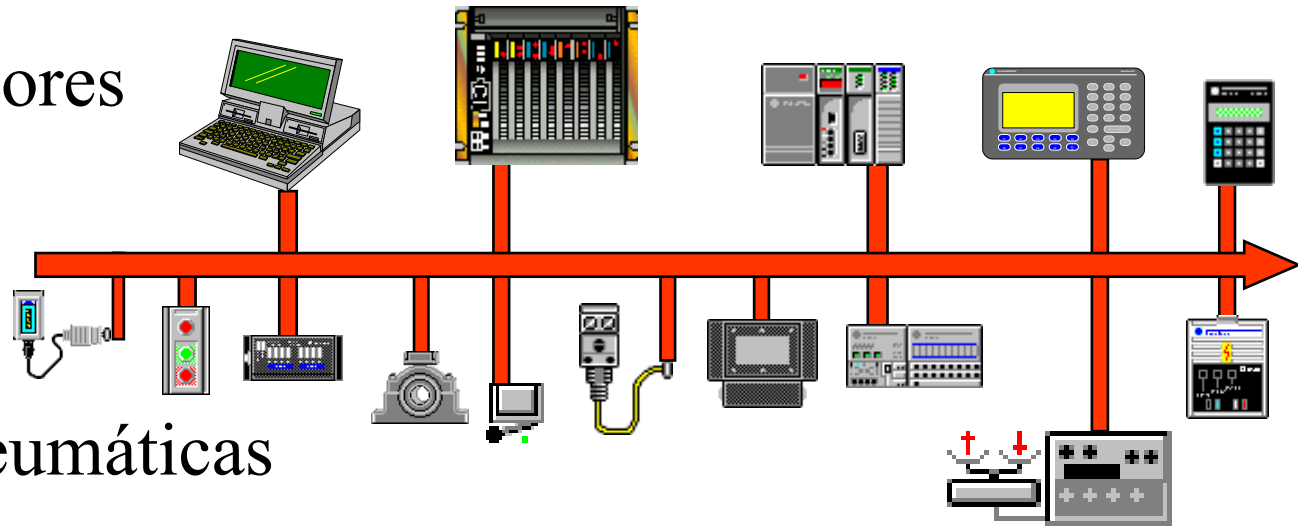
- Dados em formato de bytes
- Podem cobrir distâncias de até 500 m.
- Equipamentos
 - Predominantemente de variáveis discretas.
- Algumas redes permitem a transferência de blocos de dados com prioridade menor aos dados em formato de bytes.
- Possuem os mesmos requisitos temporais das rede Sensorbus, porém podem manipular mais equipamentos e dados.
- Exmplos: Device-Net e Profibus DP.

Redes Tipo Fieldbus

- Redes mais inteligentes:
 - Podem conectar mais equipamentos a distâncias mais longas.
- Os equipamentos conectados a rede possuem inteligência para executar funções específicas:
 - Sensor, atuador, controle.
- As taxas de transferência de dados podem ser menores que as anteriores, porém estas são capazes de comunicar vários tipos de dados:
 - discretos, analógicos, parâmetros, programas e informações de usuário.
- Exemplos:
 - Fieldbus Foundation e Profibus PA.

Estrutura de uma Fieldbus

- Sensores, atuadores e fim-de-curso
- Interfaces de Operação Homem-Máquina
- Botões
- Inversores de Frequencia
- Micro Inversores
- Robos
- Software
- Válvulas Pneumáticas
- Bridges/Gateways etc.



Modelos de Comunicação em Redes

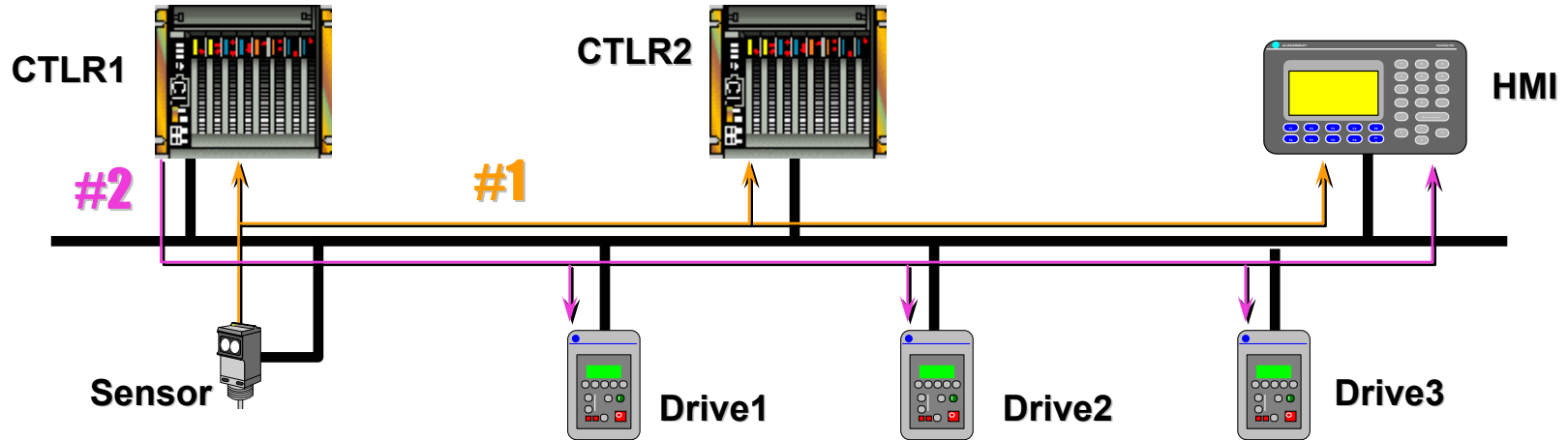


Origem/Destino (ponto a ponto)



Produtor/Consumidor
(comunicação multicast)

Produtor/Consumidor



- **Mensagem #1**
 - referência de posição do sensor transmitida em multicast aos CTRL1, 2 e IHM
- **Mensagem #2**
 - comando de velocidade do CTRL1 transmitido simultaneamente aos 3 drives e IHM

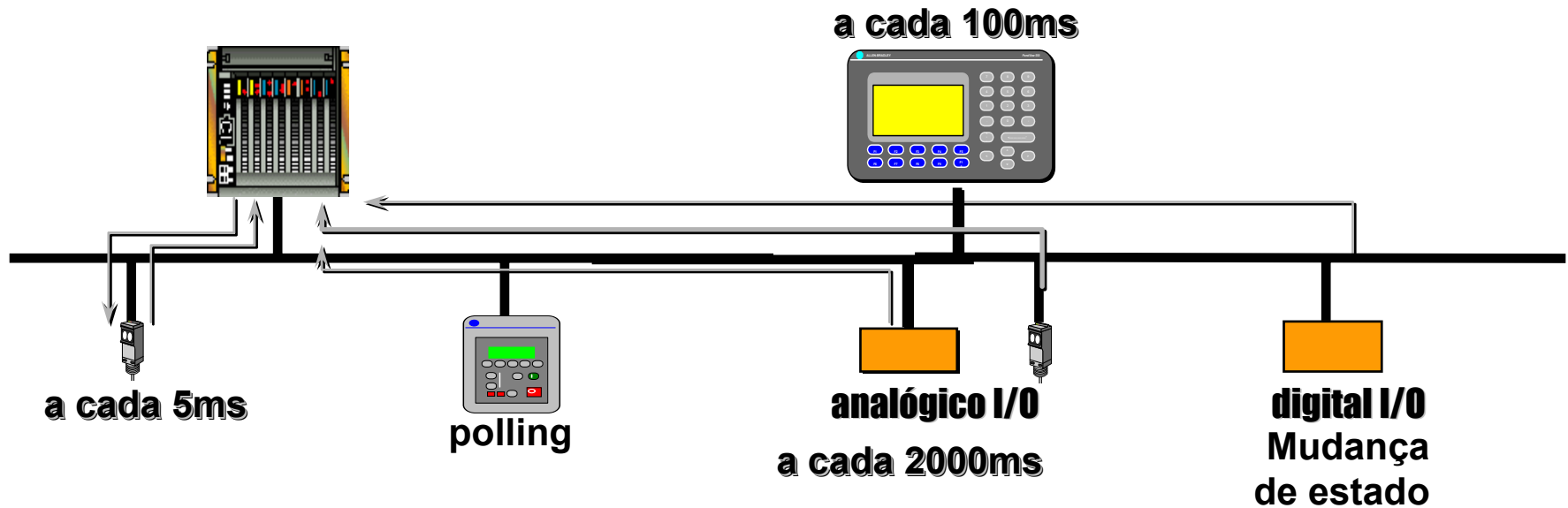
Redes Produtor/Consumidor

Métodos para troca de dados

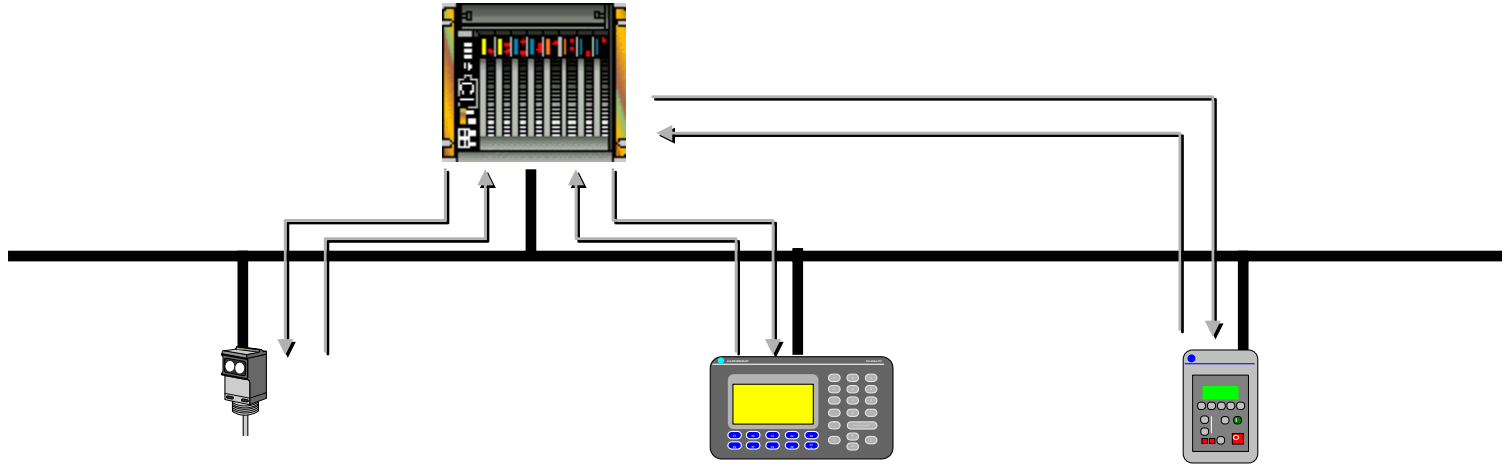
Polling

Cíclico

Mudança de Estado

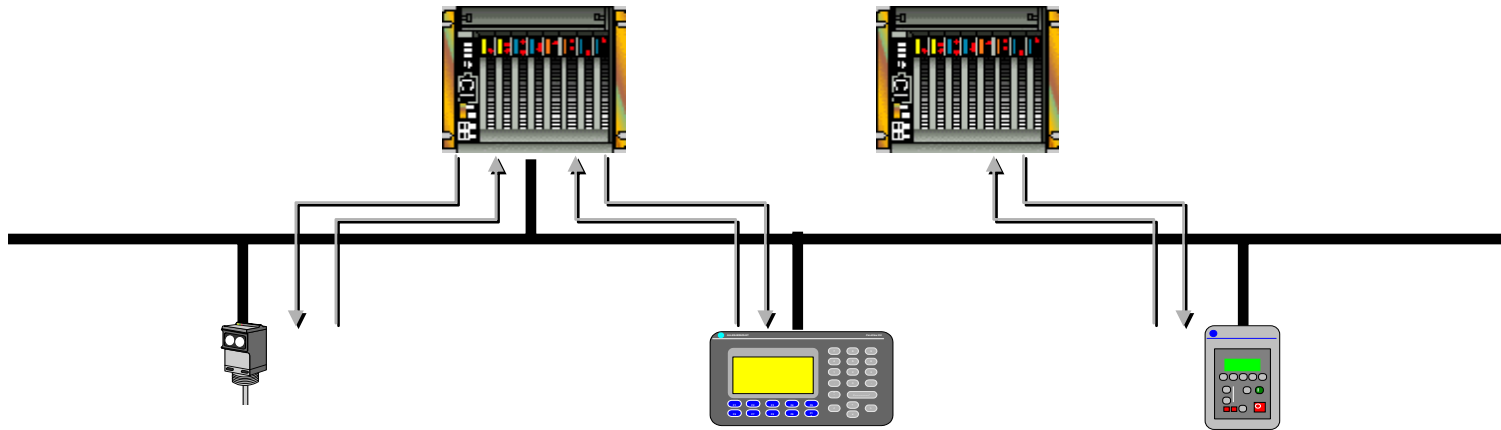


Mestre/Escravo



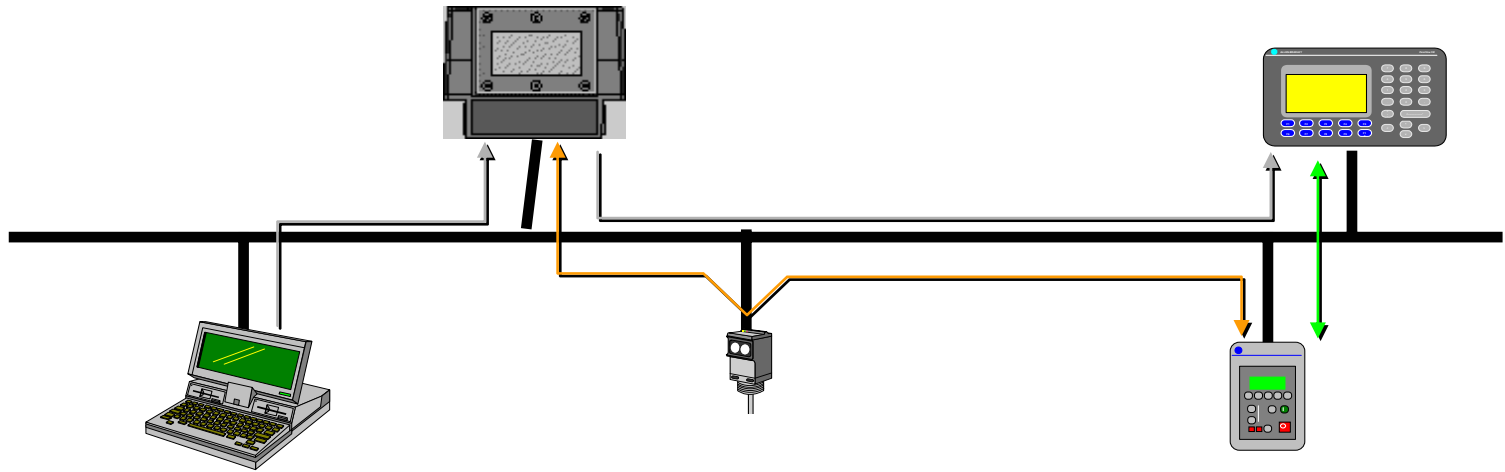
- Um Mestre, múltiplos escravos
- Dispositivos escravos trocam dados apenas com o Mestre
- Dados de E/S (Mensagens Implícitas) são predominantes neste tipo de comunicação

Multimestre



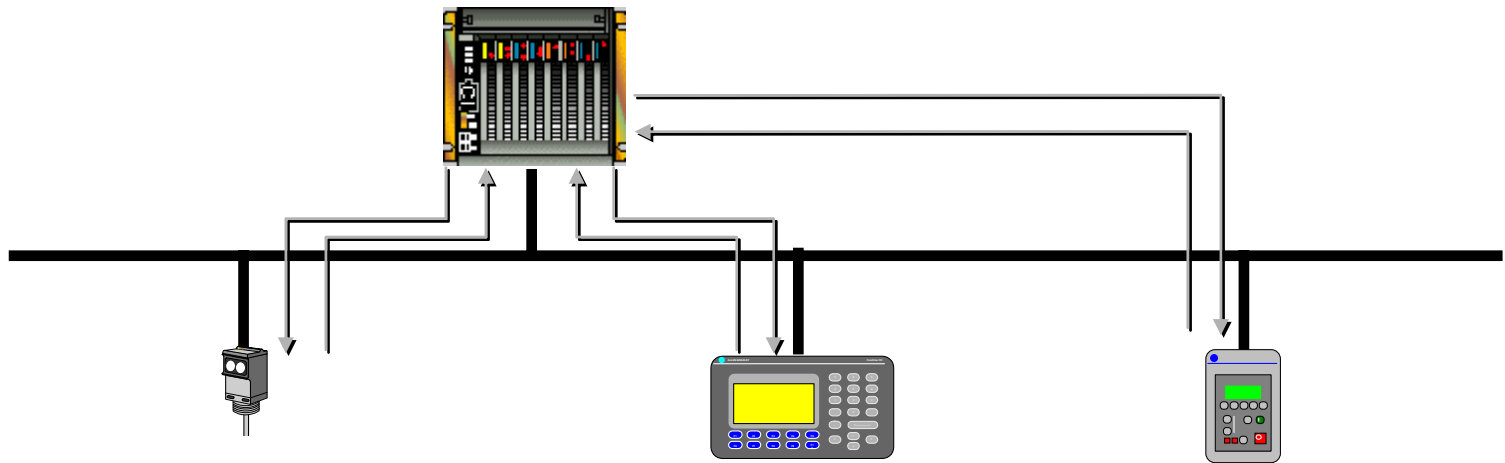
- Mais de um mestre
- Cada mestre tem seu próprio conjunto de escravos
- Dispositivos escravos apenas trocam dados com seus mestres
- Dados de E/S (Mensagens Implícitas) também predominam neste tipo de comunicação

“Ponto a Ponto”



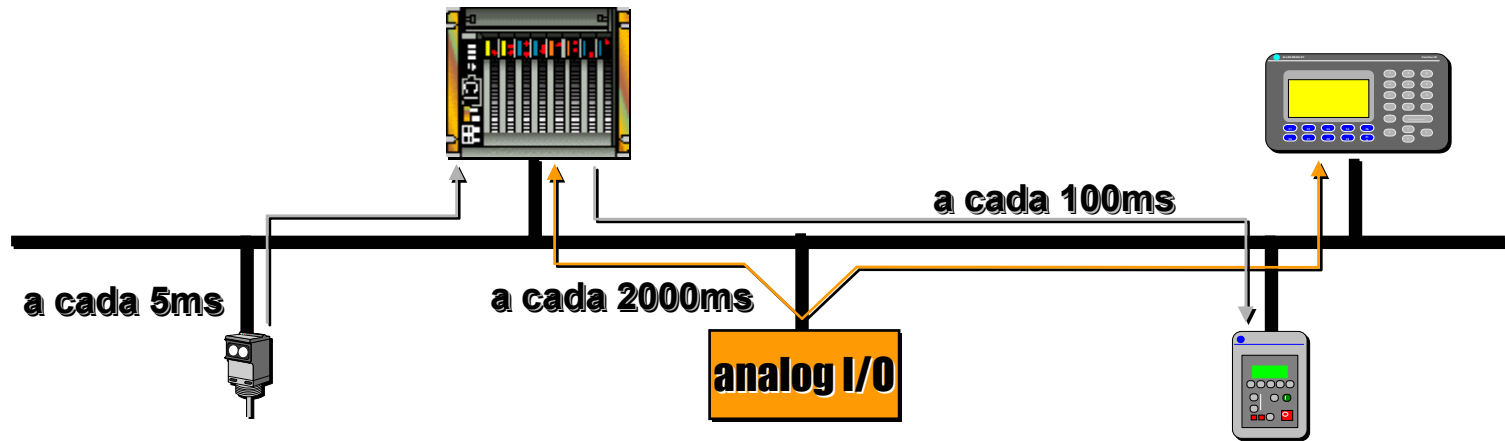
- Dispositivos enquadrados numa mesma categoria livres para tomar iniciativa de comunicação
- Dispositivos podem trocar dados com mais de um dispositivo ou múltiplas trocas com um mesmo dispositivo
- Mensagens Explícitas predominam neste tipo de comunicação

Métodos de troca de dados: “Polling”



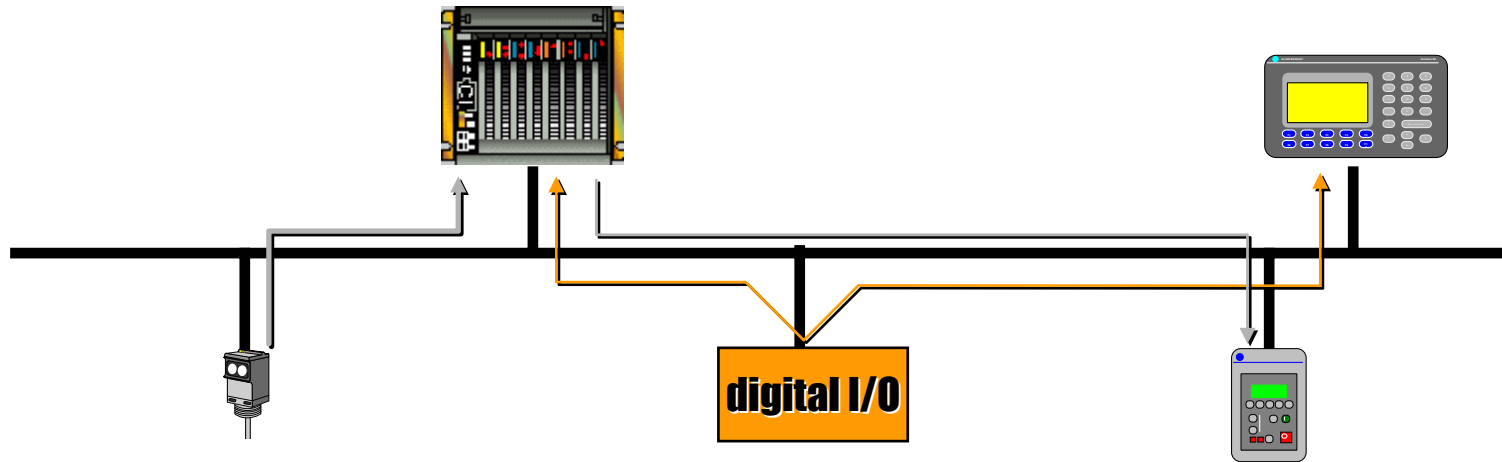
- Quando os dispositivos recebem dados, imediatamente os enviam
- Compatível com sistemas Mestre/Escravo & Multimestre
 - Normalmente não é utilizado com “ponto a ponto”
- Desenvolvido sobre origem/destino, mestre/escravo
- Inerentemente ponto a ponto, não há multicast

Métodos de troca de dados: Cíclica



- Dispositivos produzem dados a uma taxa configurada pelo usuário
- Transferência cíclica é eficiente porque:
 - os dados são transferidos numa taxa adequada ao dispositivo/aplicação
 - recursos podem ser preservados p/ dispositivos com alta variação
 - melhor determinismo
- Compatível com Mestre/Escravo, Multimestre, “peer-to-peer” e Multicast

Metodos de troca de dados: Mudança de estado



- Dispositivos produzem dados apenas quando têm seu estado alterado
 - Sinal em segundo plano transmitido ciclicamente para confirmar que o dispositivo está ok.
- Mudança de estado é eficiente porque:
 - reduz significativamente o tráfego da rede
 - recursos não são desperdiçados processando-se dados antigos

Origem/Destino

mestre/escravo

multimestre

RIO

DH+

Profibus DP

Profibus FMS

Interbus-S

Modbus Plus

ASI

LONWorks

Produtor/Consumidor

DeviceNet

ControlNet

Foundation Fieldbus

O que o mercado oferecia aos clientes ?

Redes eficientes, porém proprietárias.



DH+

Interbus-S

LONWorks



Modbus Plus

RIO

Profibus FMS



Profibus DP



Profibus PA



ASI



Fieldbus
Foundation

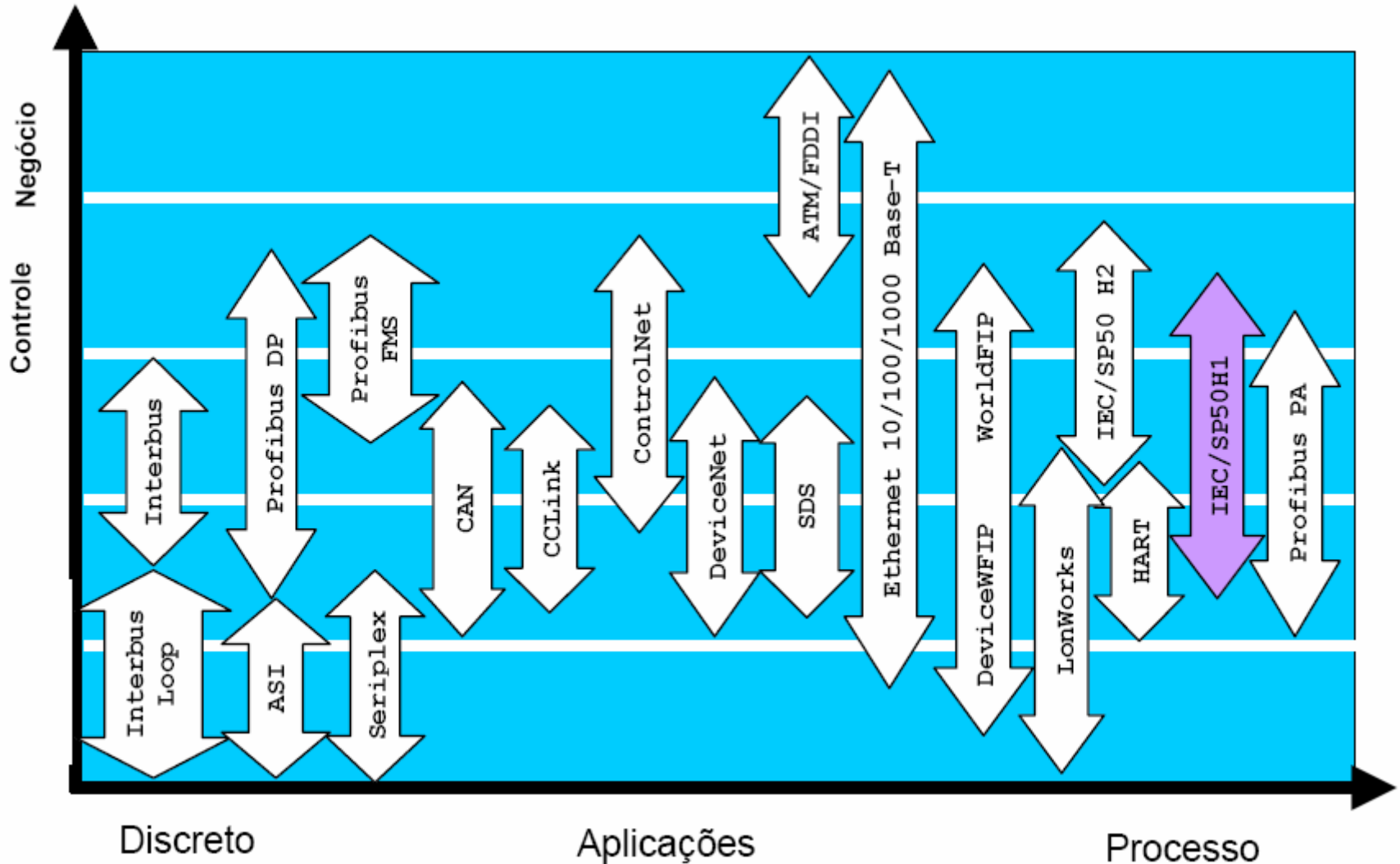
O que o cliente espera de uma rede hoje?

O mercado passa a exigir redes abertas e facilidade de integração de todos os níveis

Níveis de Aplicação das Redes na Indústria



Faixa de Aplicação da Redes Industriais



Redes ASI

- ASI – Actuator Sensor Interface
- Desenvolvida com um consórcio de empresas lideradas pela Siemens
- Rede caracterizada como **sensorbus**
 - Baixo custo
 - Fácil instalação

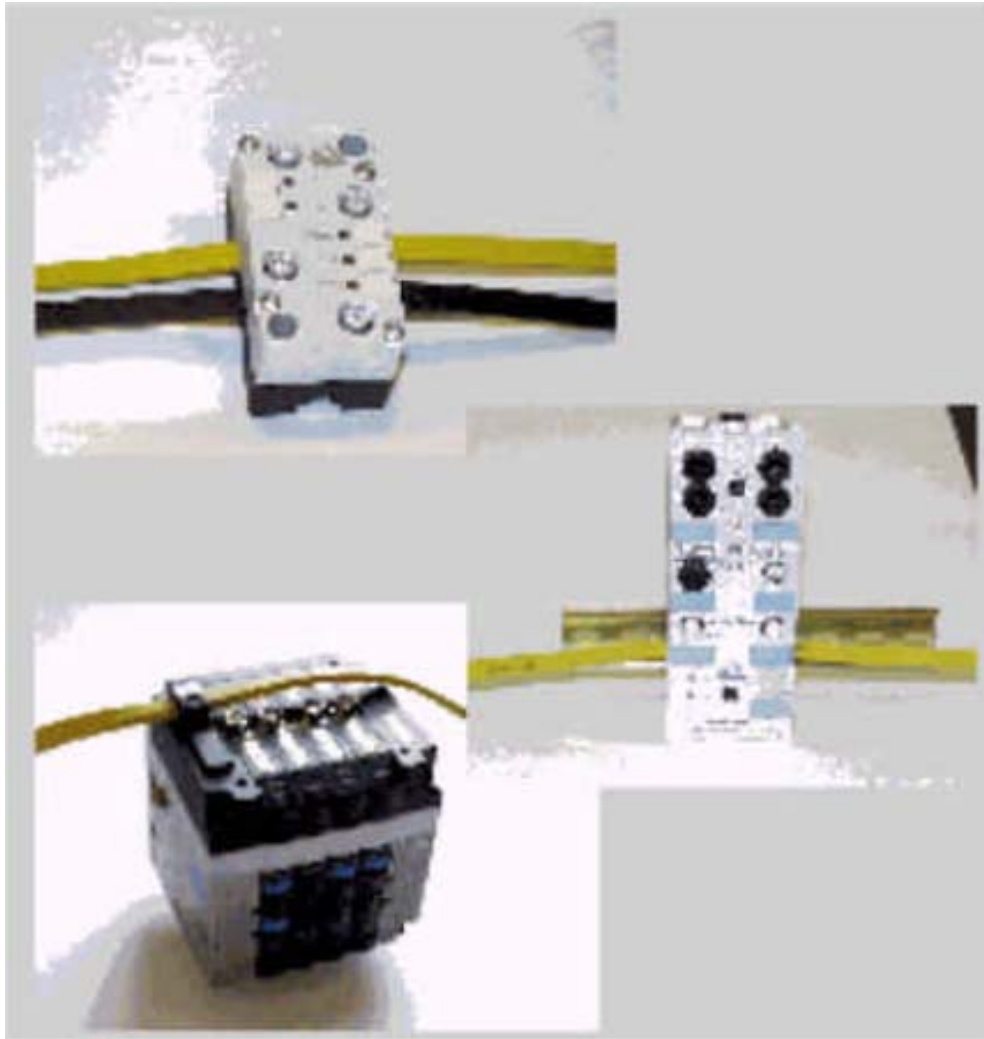
Principais Características da Rede ASI

- Sistema de barramento que substitui cabos paralelos de um CLP para sensores e atuadores
- Dados e energia são transportados no mesmo cabo
- Comunicação mestre-escravos
 - Primeira versão: até 31 escravos

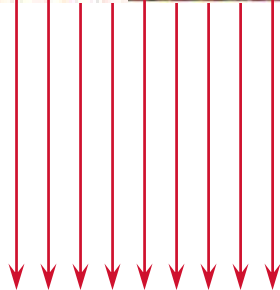
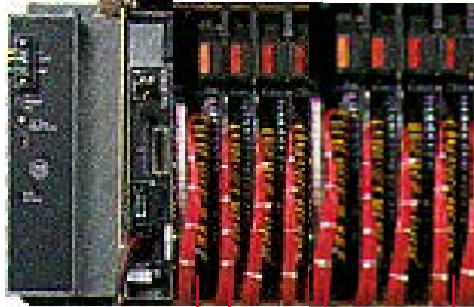
Principais Características da Rede ASI

- Tempo de ciclo total $< 5\text{ms}$
- Taxa de transmissão:
 - 167 kbps (bruto)
 - 53.3kbps (líquido)
- Comprimento máximo da barramento é de 100m

Redes ASI- Ejemplos

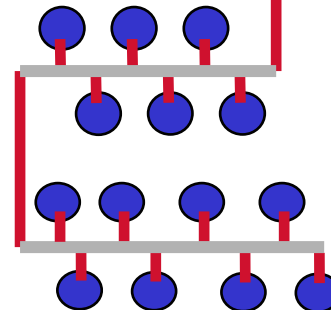
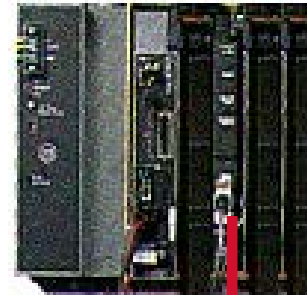


Redes ASI – Barramento de comunicação



Tradicional

**Cada dispositivo e ligado individualmente ao CLP
Alto custo de instalação**

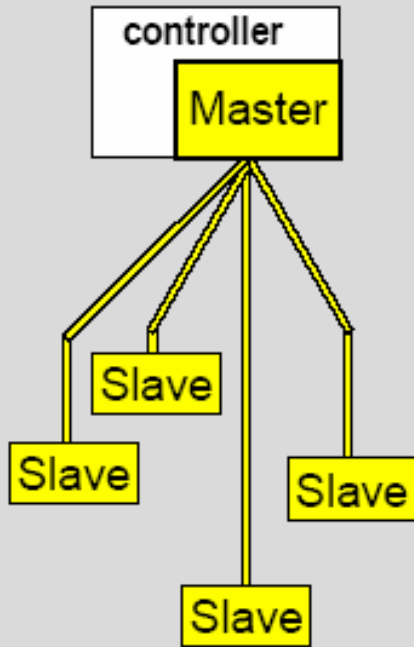


Redes ASI

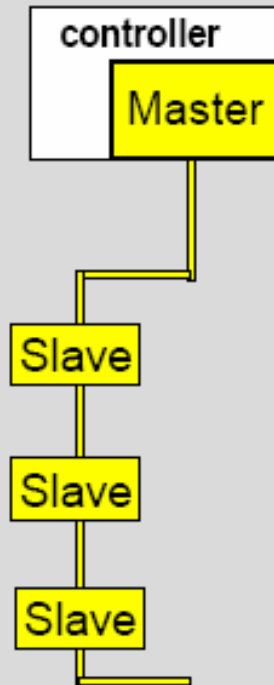
Sensores e atuadores (escravos) estão ligados ao CLP (mestre) via um barramento

Possíveis Estruturas da Rede AS|I

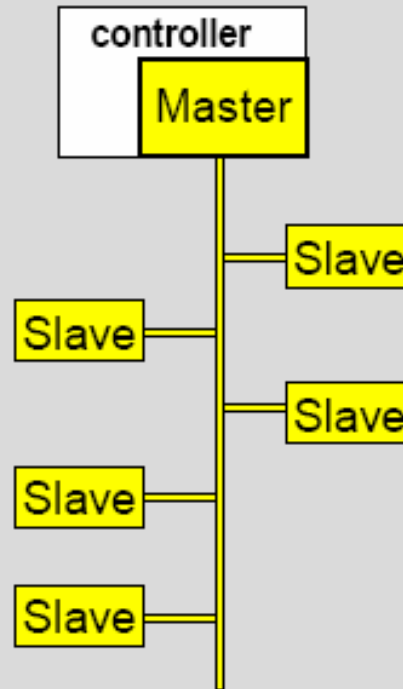
star



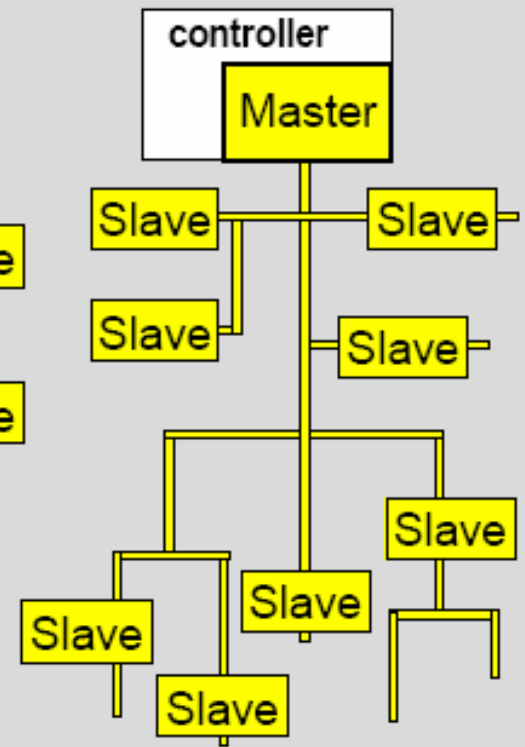
line



branch lines



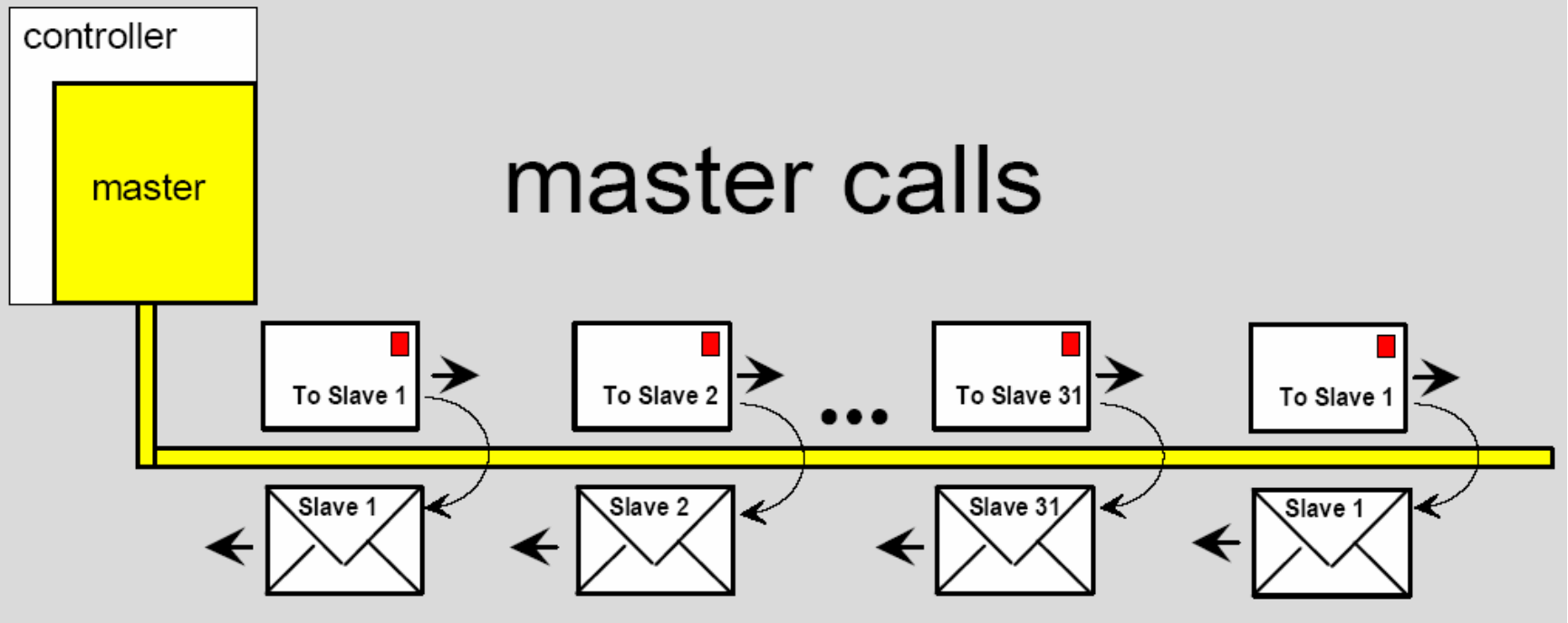
tree



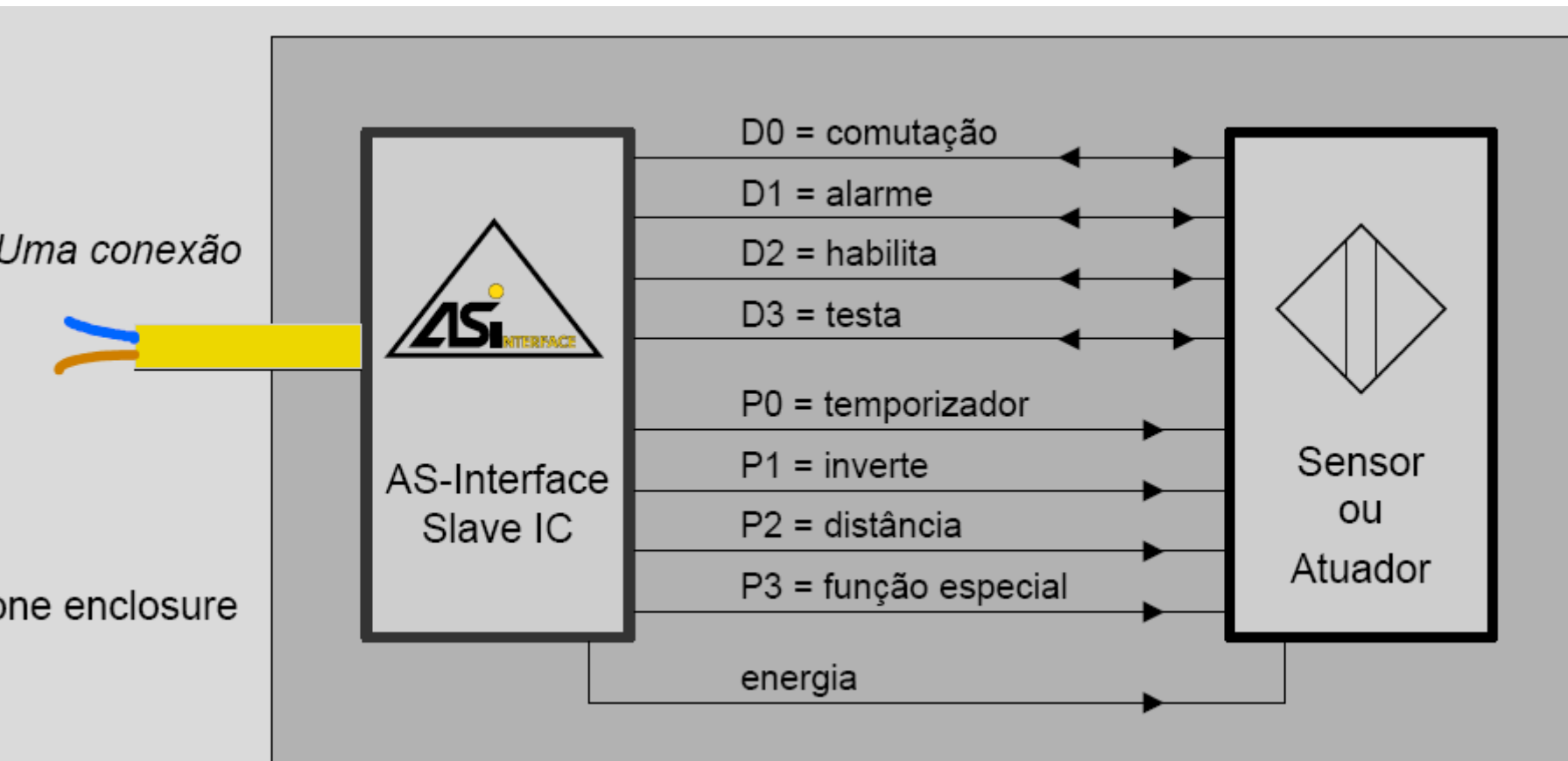
Redes ASI - Protocolo

- Cada escravo tem um endereço único.
- A mensagem sempre parte do mestre.
 - Todos os escravos são chamados seqüencialmente pelo mestre.
 - As mensagens têm 4 bits de dados.

Redes ASI – Comunicação Mestre-Escravos



Redes ASI- Estrutura do Escravo



Redes ASI - Endereçamento

- A rede suporta até 31 escravo
 - Cada escravo deverá ter um número único entre 1 e 31.
 - 05 bits de endereçamento
 - Numeração automática
 - O endereço 0 é de broadcast.
 - Cada escravo pode ter:
 - Até 4 entradas digitais e 4 saídas digitais
 - Entradas = $4 \times 31 = 124$
 - Saídas = $4 \times 31 = 124$
 - São utilizados 04 bits de parâmetros por escravo

Rede ASI – Ciclo de Transmissão

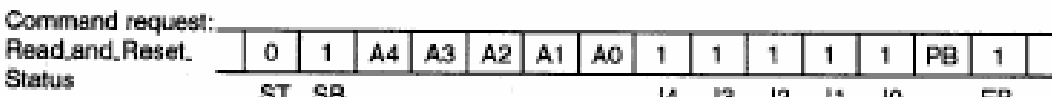
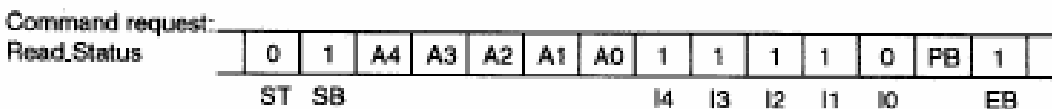
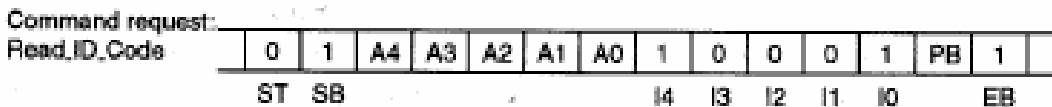
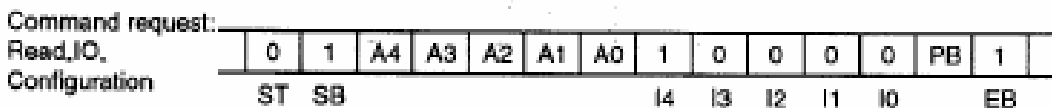
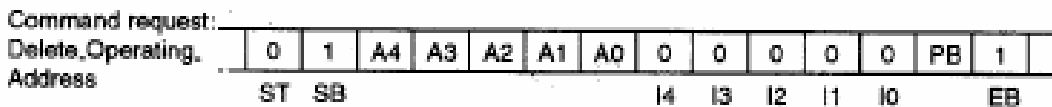
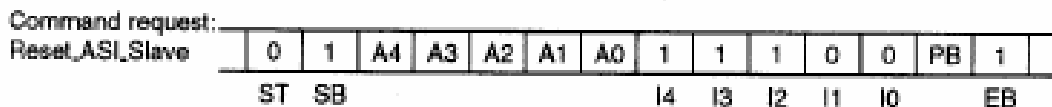
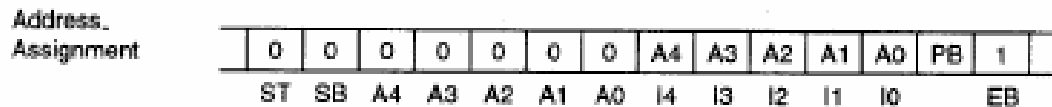
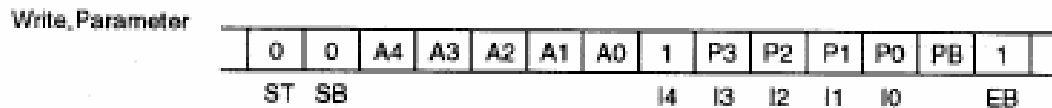
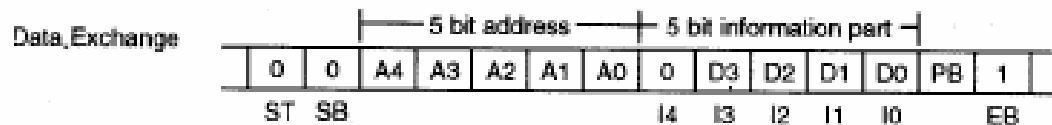
- 1- Pedido do Mestre
- 2- Pausa do Mestre
- 3- Resposta do Escravo
- 4- Pauso do Escravo

Rede ASI – Estrutura das Mensagens

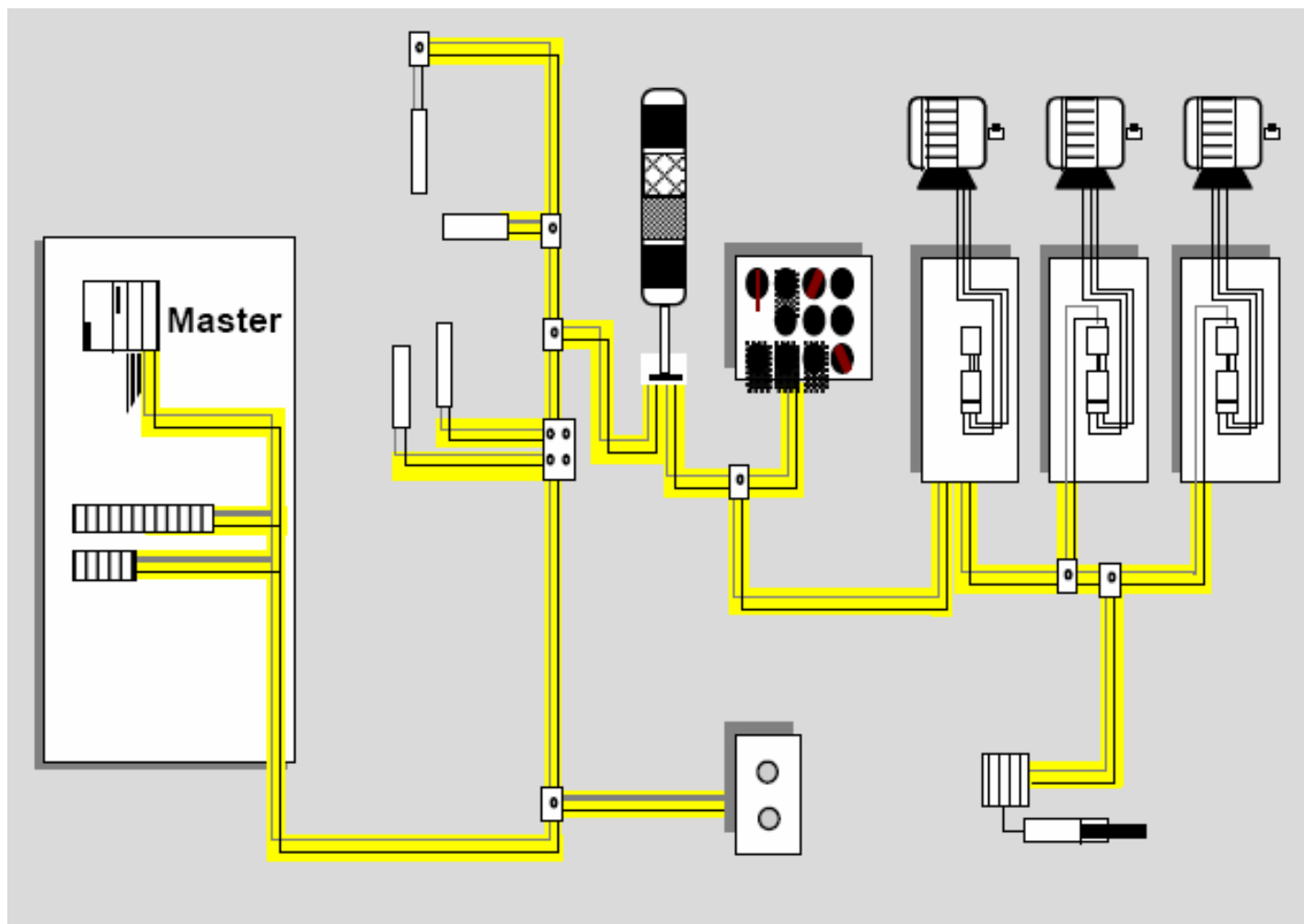
Pedido do Mestre														Pausa do Mestre	Resposta do Escravo							Pausa do Escravo	
0	SB	A4	A3	A2	A1	A0	I4	I3	I2	I1	I0	PB	1		0	I3	I2	I1	I0	PB	1		
ST													EB		ST							EB	
Pedidos: 14 bits														3..10	Respostas: 7 bits							1..2	

- ST Start bit
- SB Control Bit:
0: dado ou parâmetro
1: comando
- A4..A0 Endereço do escravo (5 bits)
- I4..I0 Informação a ser transferida (5bits)
- PB Bit de Paridade par
- EB Bit final

Cada bit corresponde a um intervalo de 6µs.



Redes ASI – Exemplo de Uso



Redes CAN

- O barramento CAN (Controller Area Network) foi desenvolvido pela empresa Alemã BOSCH e disponibilizado em meados dos anos 80.
- É considerada como uma rede **devicebus**
- Desenvolvido inicialmente para área automotiva.
- Devido à sua comprovada confiabilidade e robustez também está sendo adotado em outras aplicações industriais de tempo real.

Áreas de Aplicação do CAN

- **Veículos (marítimo, aéreo, terrestre)** – carros de passeio, off-road, trens, sistema de semáforo (trens e carros), eletrônica marítima, máquinas agrícolas, helicópteros, transporte público.
- **Sistema de Controle Industrial** – controle de planta industriais de pequeno e médio porte, de maquinário, robôs, sistema de supervisão.
- **Automação Predial** – controle de elevadores, ar condicionado, iluminação.
- **Aplicações Específicas** – sistemas médicos, telescópios, simuladores de vôo, satélites artificiais, entre outros.

Características do CAN

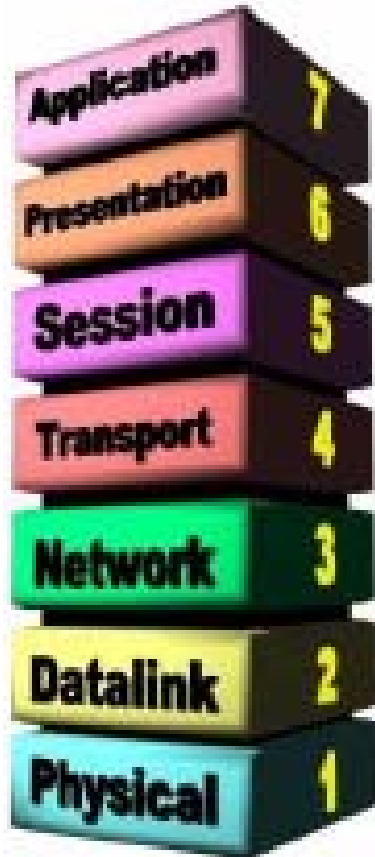
- Protocolo Digital e Comunicação Serial Síncrono
- Conceitos baseados na técnica **CSMA/CR** (*Carrier Sense Multiple Access /Collision Resolution*)
- Priorização de Mensagens
- Grande Flexibilidade de Configuração
- Recepção Multicast
- Garantia de Consistência dos Dados
- Detecção/Sinalização de erros
- Retransmissão Automática de Mensagens Corrompidas

Camadas do CAN

- O CAN foi dividido em duas camadas, obedecendo o modelo OSI/ISO:
 - *Data Link Layer*
 - *Logical Link Control (LLC)*
 - *Medium Access Control (MAC)*
 - *Physical Layer*

Camadas do Protocolo CAN

Modelo OSI/ISO

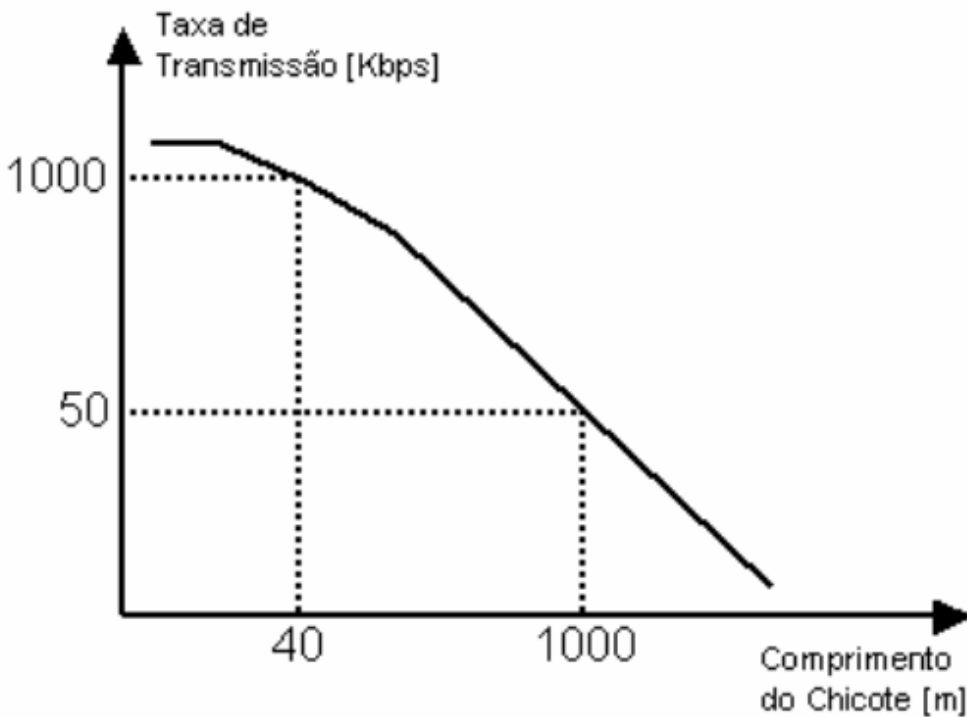


- **Camada Física - Physical Layer**
 - Codificação / Decodificação dos Bits
 - Temporização dos Bits
 - Sincronização

Camadas do Protocolo CAN

Camada Física – Physical Layer

Velocidade de Transmissão – Até 1Mbps



Taxa Kbit/s	Distância máxima (m)
1000	40
500	130
250	270
125	530
100	620
50	1300
20	3300
10	6700
5	10000

Taxa de transmissão X distância para o barramento CAN

Camadas do Protocolo CAN

Camada Física – Physical Layer

- ISO11898
 - Alta Velocidade de transmissão de dados – 125 Kbps a 1 Mbps
- ISO11519-2
 - Baixa Velocidade de Transmissão de dados – 10 Kbps a 125 Kbps

Camadas do Protocolo CAN

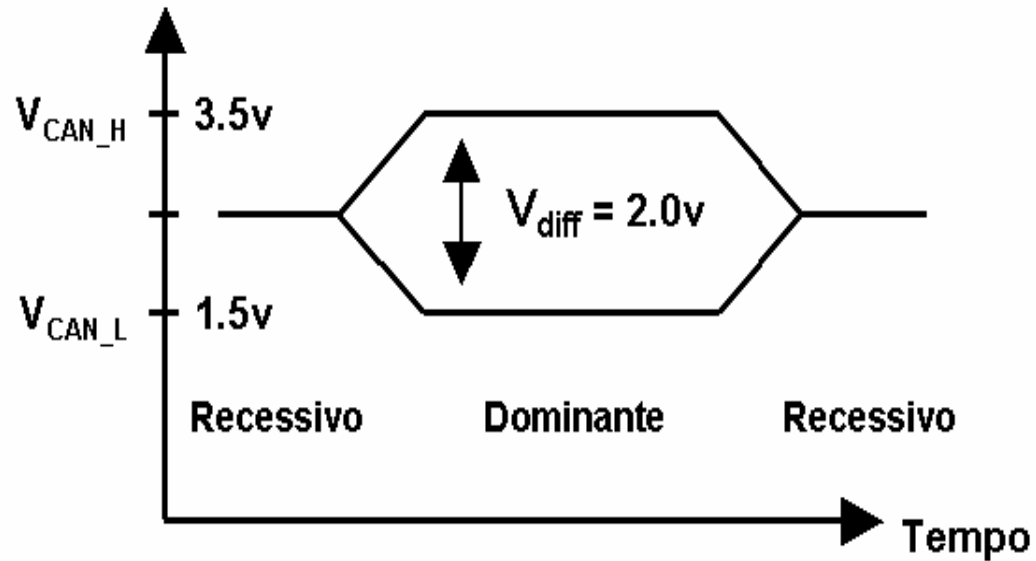
Camada Física – Physical Layer

Meio de Transmissão Fios

Elétricos

Formas de Constituição de um barramento CAN:

- 1 Fio - Fio de dados
- 2 Fios - CAN_H, CAN_L
- 4 Fios
 - CAN_H
 - CAN_L
 - Vcc
 - GND



Camadas do Protocolo CAN

Modelo OSI/ISO

- **Camada de Enlace - Data Link Layer**
 - *Logical Link Control (LLC)*
 - Recepção
 - Filtragem
 - Notificação de Overload
 - Gerenciamento de Recuperação
 - *Medium Access Control (MAC)*
 - Encapsulamento/ Desencapsulamento dos dados
 - Codificação dos Quadros
 - Gerenciamento de Acesso ao meio
 - Detecção e sinalização de erros
 - Reconhecimento
 - Serialização / Deserialização



Quadros CAN

- O barramento CAN utiliza 4 tipos de quadros (frames) para controlar a transferência de mensagens
 - Quadro de Dados (Data Frame)
 - Quadro Remoto (Remote Frame)
 - Quadro de Erro (Error Frame)
 - Quadro de Sobrecarga (Overload Frame)

Mensagens do CAN

Formato das Mensagens – Tipos de Quadros Camada de Enlace

- Quadro de Dados
 - Composto por 7 (sete) diferentes campos de bits

Campo	Início do Quadro	Campo de Arbitragem	Campo de Controle	Campo de Dados	CRC	ACK	Fim de Quadro
tamanho (bits)	1	12 ou 32	6	0 a 64	15	2	7

Mensagens do CAN

Formato das Mensagens – Tipos de Quadros Camada de Enlace

- Quadro Padrão – CAN 2.0A
 - Identificador de 11 bits
 - É possível ter até 2048 mensagens em uma rede
- Quadro Estendido – CAN 2.0B
 - Identificador de 29 bits
 - É possível ter até 537 milhões de mensagens em uma rede

Mensagens do CAN

Formato das Mensagens - Campo de Arbitragem

Formato padrão:

Início de Quadro	CAMPO DE ARBITRAGEM		Campo de Controle
	Identificador de 11 bits	RTR		

Formato Estendido:

Início de Quadro	CAMPO DE ARBITRAGEM					Campo de Controle
	Identificador de 11 bits (identificador básico)	S	I	Identificador de 18 bits (identificador estendido)	R		
		R	D		T		
	R	E	R				

Mensagens do CAN

Formato das Mensagens - Campo de Controle

Formato padrão:



Formato Estendido:



dominante

Codificação de Tamanho para o Campo de Dados CAN

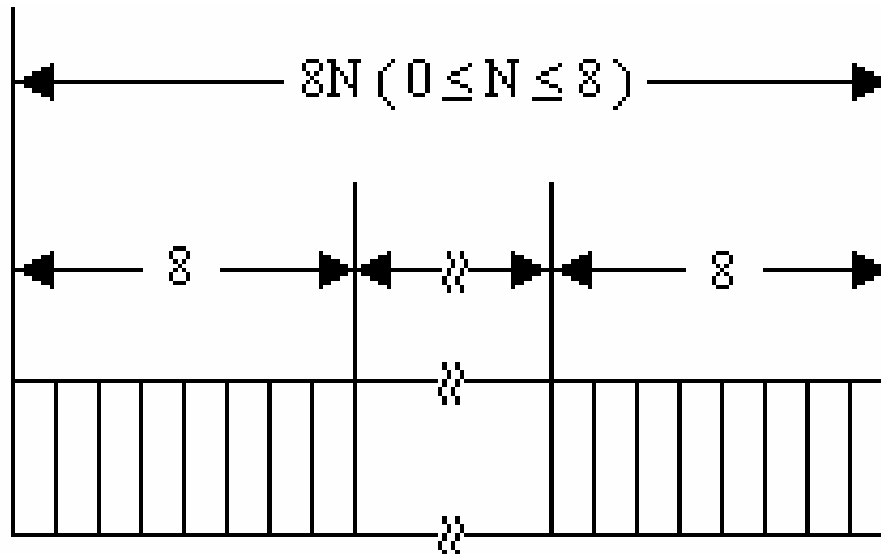
Nº de bytes de Dados	Codificação do tamanho do Campo de Dados*			
	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0
0	d	d	d	d
1	d	d	d	r
2	d	d	r	d
3	d	d	r	r
4	d	r	d	d
5	d	r	d	r
6	d	r	r	d
7	d	r	r	r
8	r	d	d	d

*d=dominante; r=recessivo

Mensagens do CAN

Formato das Mensagens

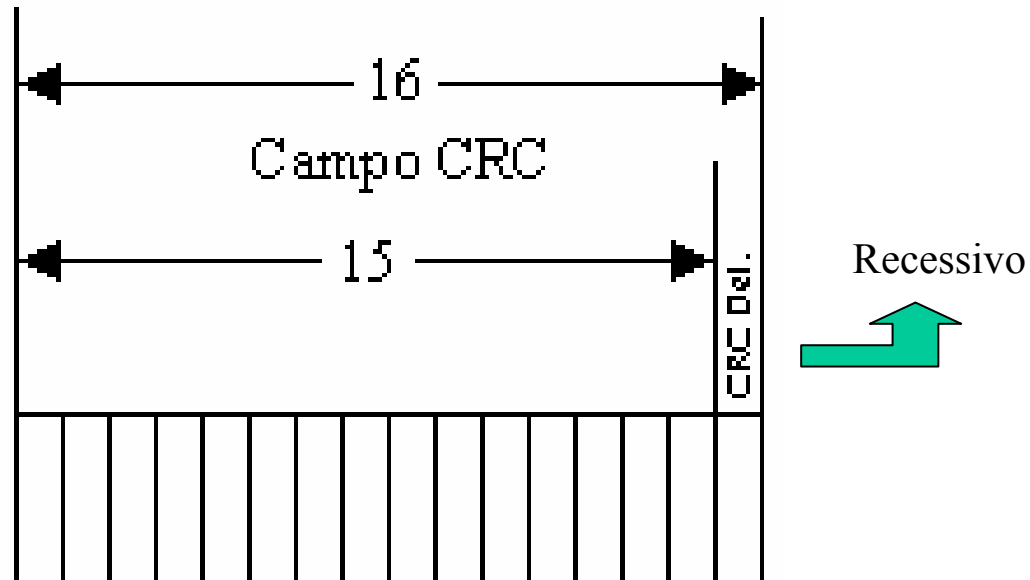
- Campo de Dados
 - Pode comportar de 0 (zero) a 8 (oito) bytes, de 8 bits cada.



Mensagens do CAN

Formato das Mensagens

- Campo CRC (*Cyclic Redundancy Check*)
 - Composto por 15 (quinze) bits
 - CRC delimitador



Mensagens do CAN

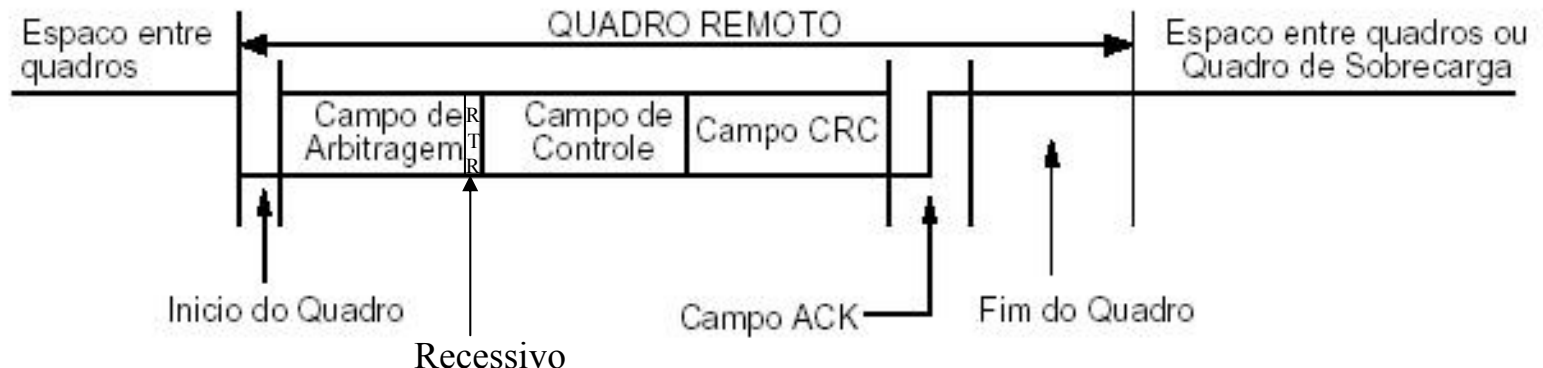
Formato das Mensagens

- Campo de Reconhecimento (Ack Field)
 - Composto por 2 (dois) bits
 - ACK Slot
 - ACK delimiter
- Fim de Quadro (End of Frame)
 - Composto por sete bits recessivos

Mensagens do CAN

Formato das Mensagens – Tipos de Quadros

- Quadro Remoto – Remote Frame
 - É enviado toda vez que um determinado nó, atuando como receptor, necessita receber uma mensagem.
 - Mesma formação do Quadro de Dados, entretanto não possui o Campo de Dados.
 - O Bit RTR nesse quadro é recessivo



Mensagens do CAN

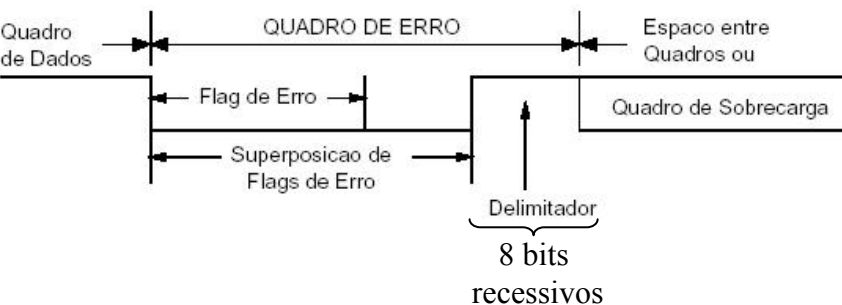
Formato das Mensagens – Tipos de Quadros

- Quadro de Erros

(Error Frame)

– Composto por dois campos:

- *Flag de erro*
 - *Error Active*
 - *Error Passive*
- *Delimitador de quadro*

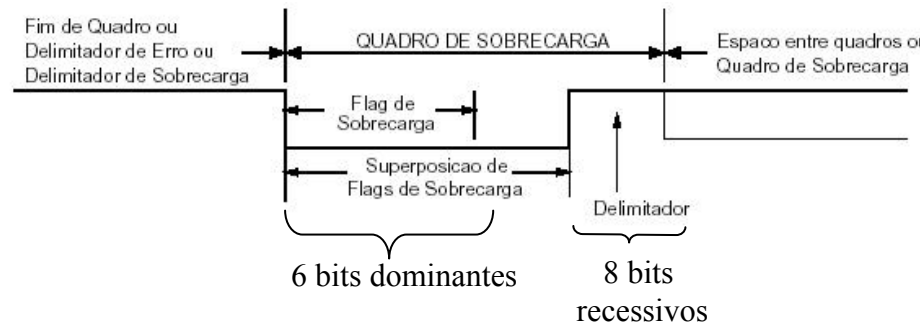


- *Quadro de Sobrecarga*

(Overload Frame)

– Composto por dois campos:

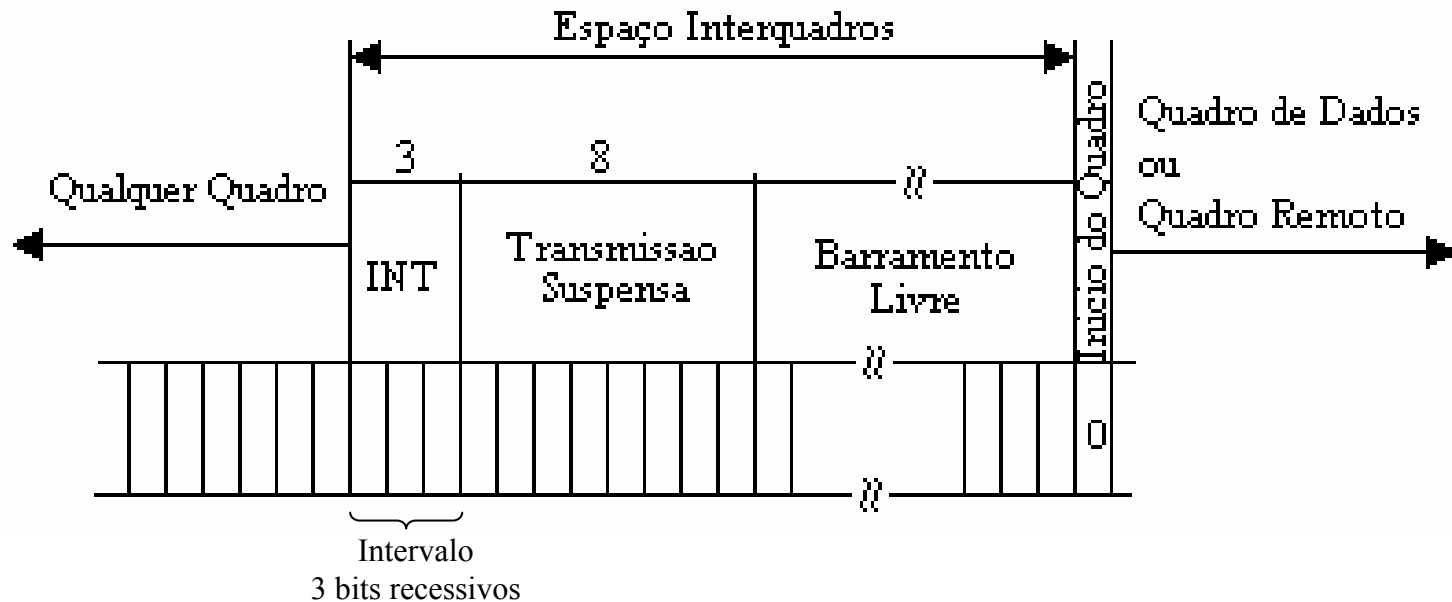
- *Flag de Sobrecarga*
- *Delimitador de quadro*



Mensagens do CAN

Formato das Mensagens – Tipos de Quadros

- Espaço Interquadros – *Interframe Space*



Codificação CAN

Campos Codificados

Bit Stuffing

Quadro de Dados / Remoto

- Início de Quadro
- Campo de Arbitragem
- Campo de Controle
- Campo de Dados
- CRC

Campos Não Codificados

(Formato Fixo)

Quadro de Dados / Remoto

- Delimitador de CRC
- Campo de Reconhecimento
- Fim de Quadro

Quadros de Erros

Quadro de Overload

Tratamento de Erros

Detecção e Sinalização

Detecção

Nível de Bit

- *Bit monitoring*
- *Bit Stuffing*

Nível de Mensagem

- *CRC ou Cyclic Redundancy Check*
- *Frame Check*
- *Acknowledgment Error Check*

Sinalização

*Erro de CRC - O bit flag de erro é enviado após o bit **Ack Delimiter***

Outros tipos de erros - O bit flag de erro é enviado após a detecção

Tratamento de Erros

Mecanismo de Falhas - Fault Confinent

Dois contadores - Nó do CAN

- Erros de Transmissão – 8 pontos
- Erros de Recepção – 1 ponto

Estado dos Nós

- 1 a 127 pontos – Error Active
- 128 a 255 – Error Passive
- Acima de 255 – Bus Off

Filtragem e Validação das Mensagens

- Filtragem Através de Máscaras e Códigos

Ex: Para um Quadro Padrão de 11 bits

110000000

101000000

- Validação das Mensagens
 - Transmissor
 - Após Último bit do Fim de Quadro
 - Receptor
 - Após Penúltimo bit do Fim de Quadro

Protocolos de Alto Nível

High Layer Protocols – Modelo OSI

Algumas Tarefas Desenvolvidas

- Inicialização dos diversos componentes do sistema
- Distribuição dos identificadores de mensagem
- Interpretação do conteúdo do Quadro de Dados
- Gerenciamento do status do sistema

Exemplo de Protocolos de Alto Nível – HLP

- CAN OPEN
- DEVICENET
- CAN Kingdom



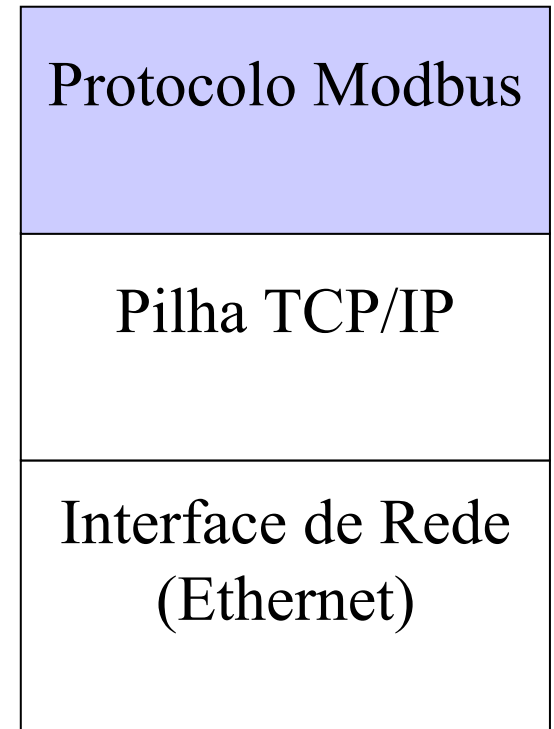
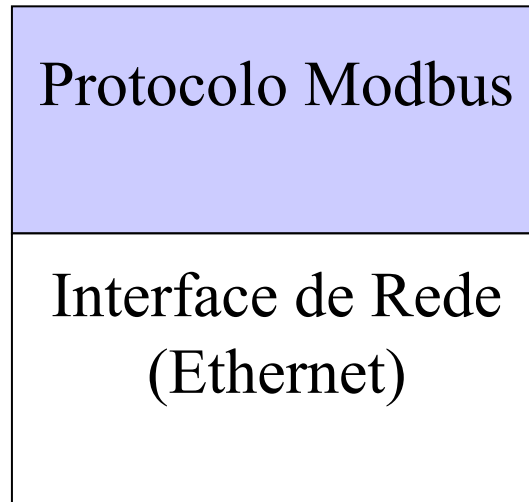
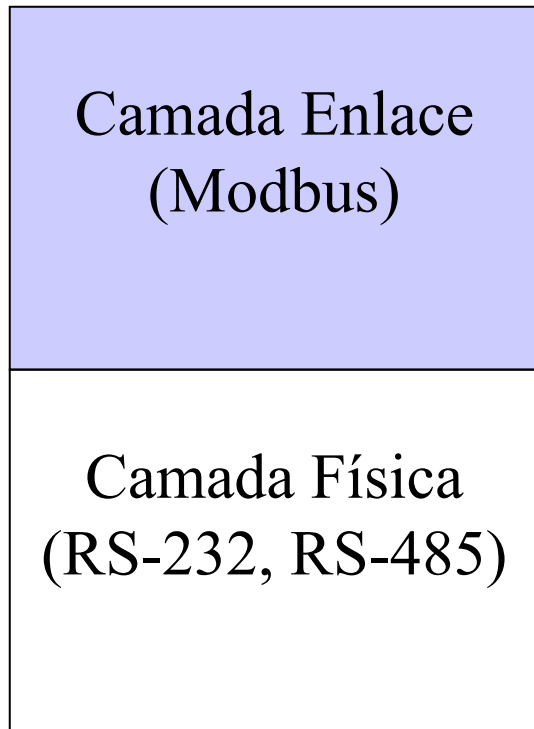
Aspectos Positivos do CAN

- Flexibilidade do Sistema;
- Roteamento de Mensagens;
- Multicast e Multi-mestre;
- Consistência dos Dados;
- Bastante utilizado em aplicações embarcadas.

Protocolo ModBus

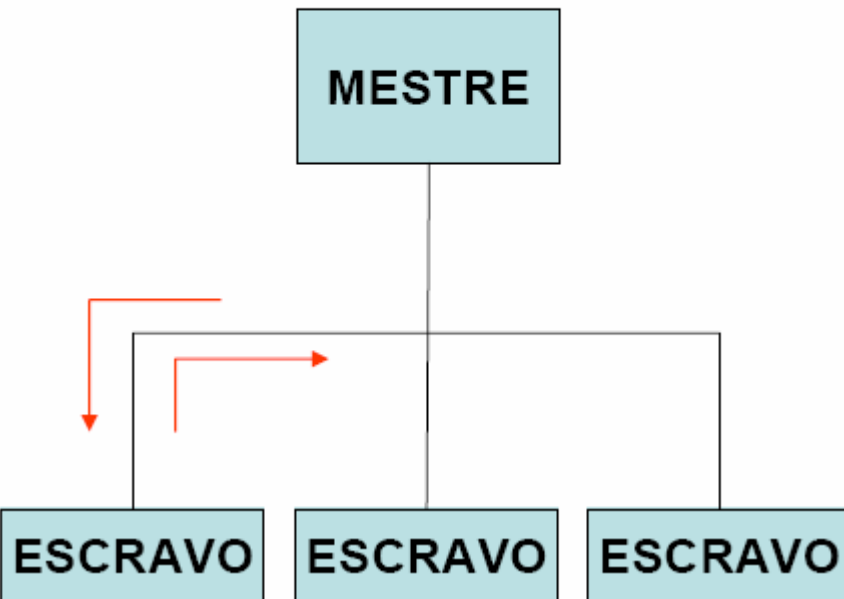
- Desenvolvido pela Modicon Industrial Automation System (atual Schneider)
- Protocolo de comunicação serial orientado a caracter
 - Não é um a rede
- Comunicação Mestre/Escravos
- Pode ser utilizado na camada de controle ou na camada de supervisão

Protocolo ModBus - Localização

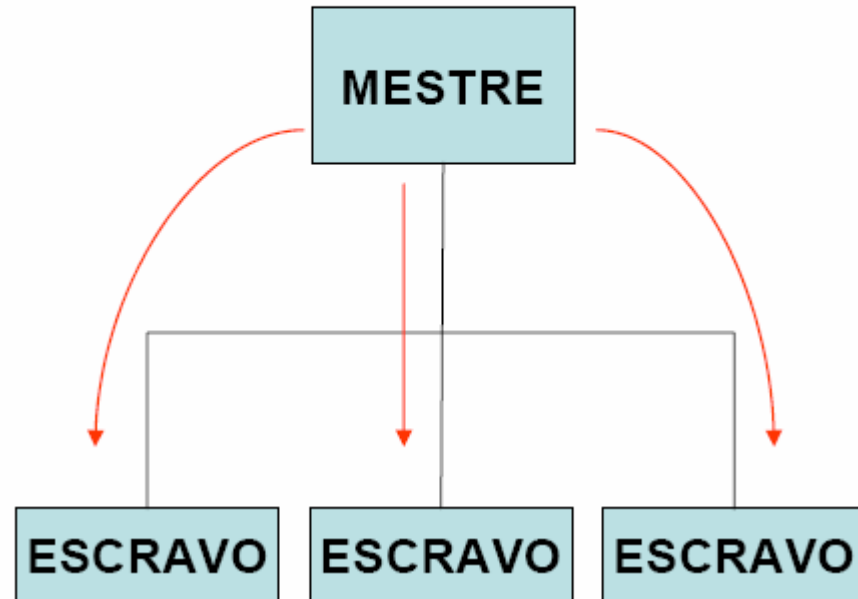


Protocolo ModBus – Modo de Comunicação: Mestre/Escravos

MODO QUESTÃO / RESPOSTA

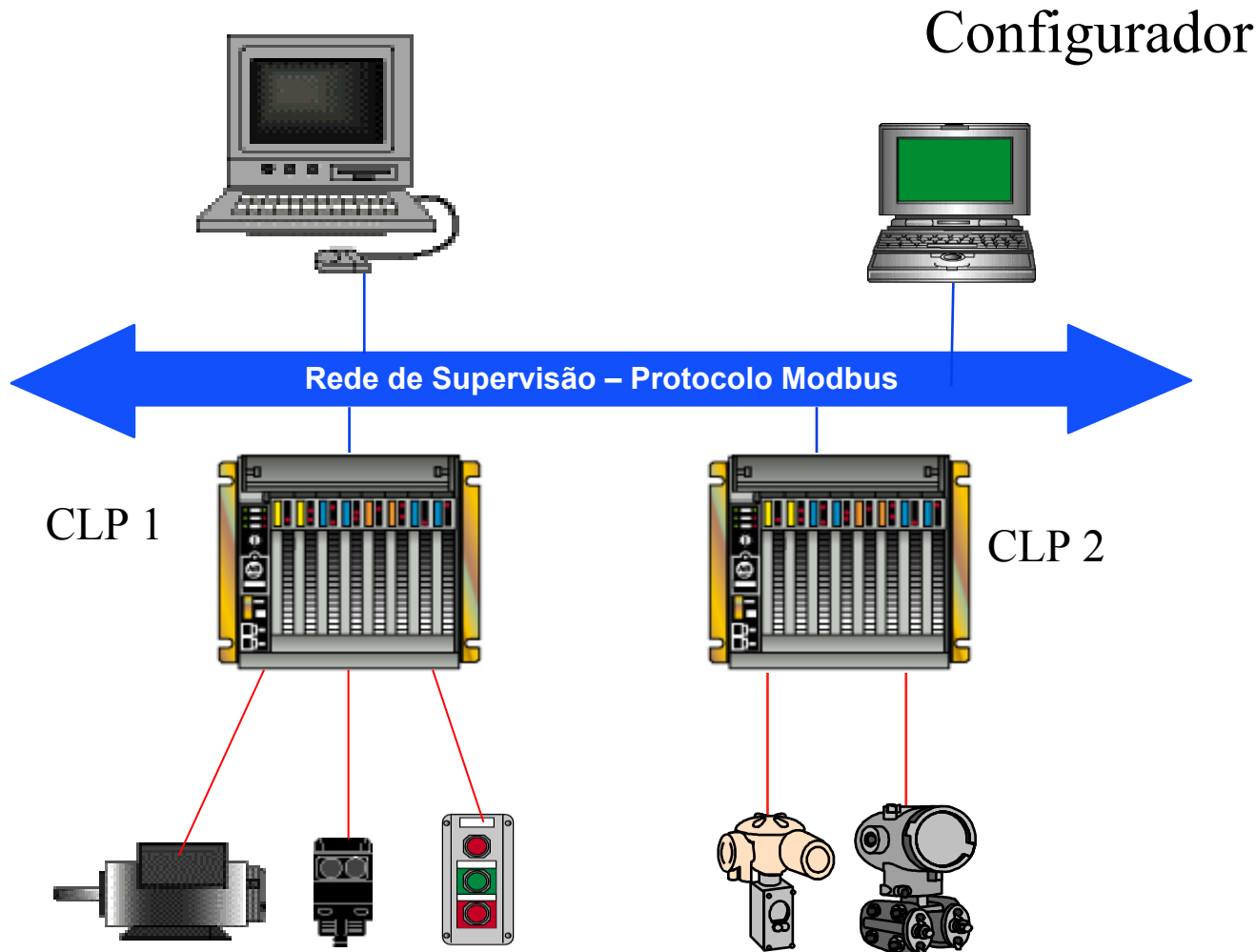


MODO DIFUSÃO

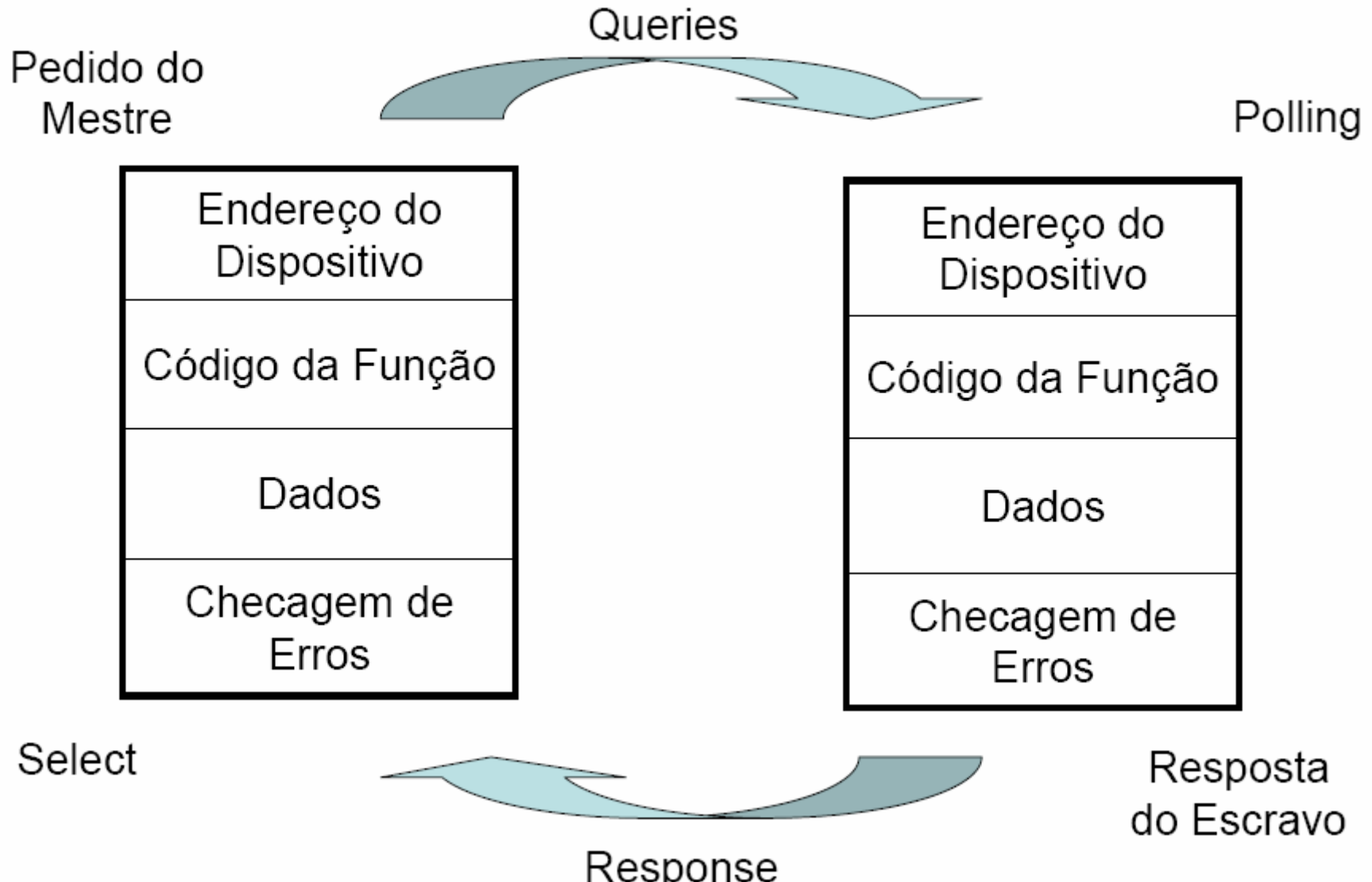


Protocolo ModBus – Modo de Comunicação: Exemplo

Supervisório



Protocolo ModBus – Modo de Comunicação: Exemplo



Protocolo ModBus – Modo de Transmissão

- ASCII (American Code for Information Interchange):

Início	Endereço	Função	Dados	LRC	Fim
: (3Ah)	2 Chars	2 Chars	N Chars	2 Chars	CRLF

- RTU (Remote Terminal Unit):

Início	Endereço	Função	Dados	CRC	Fim
Silêncio 3..5 chars	8 bits	8 bits	N x 8 bits	16 bits	Silêncio 3..5 chars

Protocolo ModBus – Modo de Transmissão

- Modo ASCII
 - 1 bit de início
 - 7 bits de dado
 - Sem paridade
 - 2 bits de parada
 - 16 para correção de erro - LRC
- Modo RTU
 - 1 bit de início
 - 8 bits de dado
 - 1 bit de paridade
 - 1 bit de parada
 - 16 para correção de erro - CRC

Protocolo ModBus – Endereços

Endereço	Função	Dados	Checagem de Erro
0..247 00h..F7h	1..127 01h..7Fh	-	0..255 00h..FFh

- Endereço 00H é utilizado para *broadcast*
- O bit mais significativo do campo da função é utilizado para indicar respostas de exceção

Protocolo ModBus – Exemplo de Funções

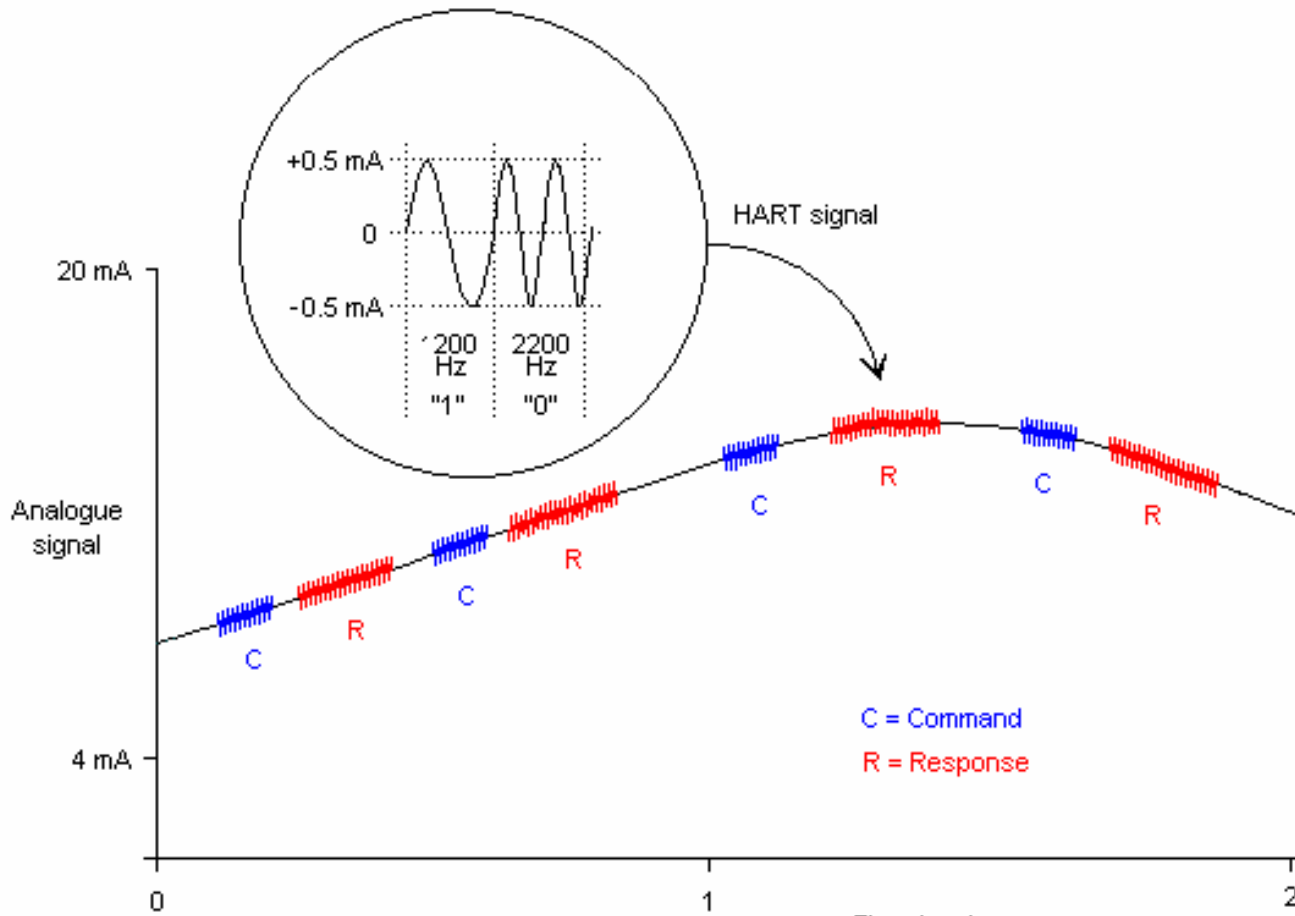
HEX.	FUNÇÃO
01	Leitura de n bits
02	Leitura de n bits
03	Leitura de n palavras
04	Leitura de n palavras
05	Escrita de 1 bit
06	Escrita de 1 palavra
07	Leitura rápida de 1 byte
0F	Escrita de n bits
10	Escrita de n palavras

Protocolo Hart

- Highway Addressable Remote Transducer
- Desenvolvido em 1980 pela Fisher Rosemount
- Proposta:
 - Utilizar os cabos tradicionais de 4-20mA
 - Modular o sinal de dados sobre o sinal analógico
 - Comunicação bidirecional

Protocolo Hart

- O sinal é modulado em FSK
 - Bit 1 → tom de 1mA pico a pico em 1200Hz
 - Bit 0 → tom de 1mA pico a pico em 2400Hz



Protocolo Hart

- Pode utilizar vários modos de comunicação, mas o mais utilizado é o mestre/escravos
 - Ciclo em torno de 500ms

Master / Slave or Poll / Response



Protocolo Hart – Exemplo de Uso

