

CAPÍTULO 3

INTEGRAÇÃO DE SINAIS E DADOS

Carlos Eduardo Pereira e Walter Fetter Lages

3.1- INTRODUÇÃO

Automação e robótica são duas tecnologias intimamente relacionadas (GROOVER et al., 1986). Para que a inserção de robôs em processos industriais alcance efetivamente os benefícios esperados, tais como aumento de produtividade, melhoria da qualidade dos produtos gerados e redução de custos de produção, equipamentos robotizados devem ser entendidos como partes de um sistema mais abrangente de automação industrial. Neste contexto, robôs industriais devem ser capazes de interagir tanto com o processo sendo automatizado como com outros dispositivos de automação - centros de usinagem, linhas de transferência, esteiras, etc. - com os quais devem interagir para alcançarem os objetivos almejados. Em função disto, robôs industriais apresentam diferentes interfaces de comunicação, tais como:

- ⑩ Interface homem-máquina, para permitir a programação e configuração dos robôs industriais pelos operadores, bem como para apresentar informações sobre o estado atual do robô;
- ⑩ Interface com sensores e atuadores, para permitir aos robôs perceber e atuar sob o processo industrial sendo automatizado;
- ⑩ Interfaces com controladores industriais, tais como controladores lógico-programáveis (CLPs), possibilitando a interação de robôs com outros dispositivos de controle;
- ⑩ Interfaces com redes de comunicação industrial, permitindo que robôs possam ser interligados em rede usando protocolos industriais de comunicação;

A figura 3.1 apresenta um diagrama em blocos da arquitetura funcional de robôs industriais.

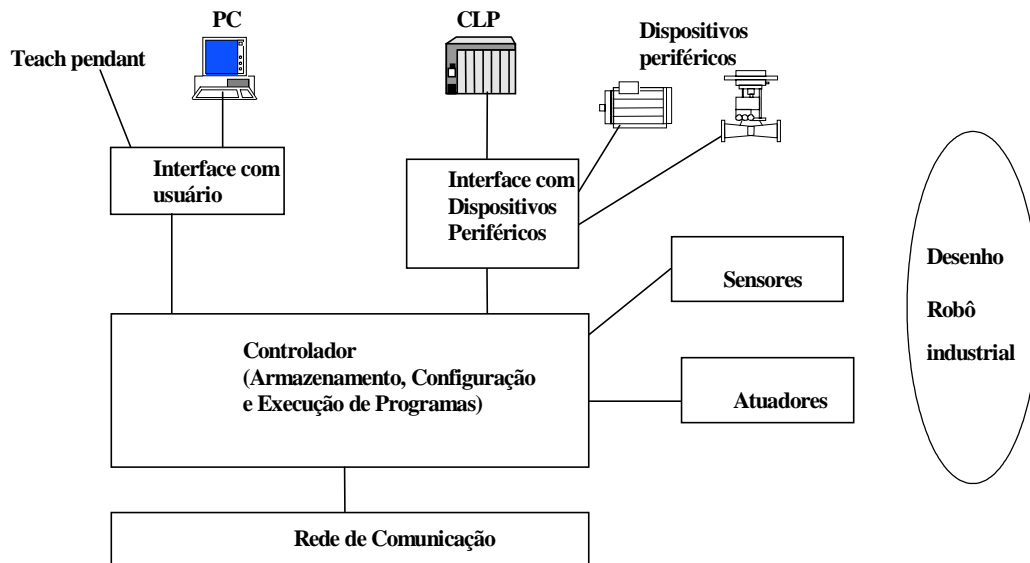


Figura 3.1 - Diagrama em blocos da arquitetura funcional de um robô (adaptado de NOF, 1999).

Este capítulo trata exatamente desta problemática de integração de robôs industriais no âmbito de sistemas de automação industrial. O capítulo divide-se da seguinte forma: a próxima seção (3.2) define conceitos básicos sobre sinais, modos de comunicação e outros tópicos fundamentais para a compreensão dos desafios tecnológicos encontrados na integração de robôs industriais em sistemas de automação industrial. Na seção seguinte (3.3) os principais protocolos para comunicação em plantas robotizadas são apresentados e suas vantagens e desvantagens são discutidas. As principais tecnologias para interconexão e comunicação em sistemas robotizados são apresentadas nas seções 3.4 e 3.5, sendo que a primeira enfoca as principais tecnologias para interconexão entre os dispositivos sensores e atuadores de robôs industriais e a segunda discute aspectos referentes à incorporação de robôs industriais no contexto de integração vertical de sistemas de automação, onde informações provenientes do chamado chão-de-fábrica são disponibilizadas para sistemas gerenciais de planejamento e controle de produção.

3.2- CONCEITOS BÁSICOS

3.2.1 - Tipos de Informação

Na interligação de robôs industriais entre si ou com outros componentes do sistema de automação, diversas informações devem ser usualmente transferidas:

- Ⓜ Informações provenientes dos diversos transdutores e sensores;
- Ⓜ Sinais de controle e atuação a serem enviadas aos atuadores ou a outros sistemas;
- Ⓜ Programas de controle ou comandos devem ser recebidos pelo robô dos dispositivos de programação e controle;

Tome-se como exemplo as informações provenientes dos diversos sensores e atuadores que permitem a troca de informações entre os dispositivos de automação e as plantas industriais. Os sensores e atuadores são denominados de *transdutores*, ou seja, dispositivos que convertem um tipo de grandeza física (por exemplo, força, pressão, velocidade, fluxo, imagem, etc.) em uma outra grandeza. A fim de permitir a manipulação e transmissão das informações geradas, é

importante que os transdutores sejam capazes de gerar sinais em grandezas manipuláveis, ou seja, passíveis de manipulação algébrica para fins da automação e otimização dos processos. No caso dos transdutores sensores, a grandeza de entrada é uma grandeza física da planta industrial que se queira avaliar e a saída deve ser um sinal capaz de ser manipulado pelos dispositivos de automação. Já no caso dos atuadores, a grandeza de entrada é normalmente um sinal elétrico que produz na saída do transdutor uma variação em uma grandeza física da planta industrial que se queira influir.

Historicamente, as grandezas manipuláveis mais adotadas no âmbito de automação industrial são as grandezas elétricas, na forma de tensão ou de corrente elétrica, bem como grandezas pneumáticas e hidráulicas. Com o advento de dispositivos eletrônicos programáveis, tais como os microprocessadores e microcontroladores, tem-se que a grande maioria dos sistemas modernos incluem o processamento de grandezas elétricas. Estes dispositivos eletrônicos são capazes de realizar operações complexas com alto desempenho, tanto em termos de velocidade de processamento, bem como consumo de energia e custo.

Alguns exemplos de transdutores capazes de converter grandezas físicas em grandezas elétricas:

- Ⓣestensômetros (*strain-gages*): sensores cuja resistência elétrica varia em função de sua deformação mecânica. Colados nas superfícies de barras metálicas, por exemplo, e dispostos em configurações adequadas, estes transdutores permitem a medição de grandezas como força e pressão. Na área de robótica eles são bastante usados em garras e nas articulações e juntas dos , a fim de se medir os esforços mecânicos presentes nas mesmas;
- Ⓣermopares: transdutores capazes de gerar um sinal elétrico proporcional à diferença de temperatura.
- Ⓣmotores: são normalmente usado como atuadores, capazes de converter sinais de entrada em movimento ou força.
- Ⓣpotenciômetros: sensores cuja resistência elétrica varia em função do deslocamento linear ou angular do seu cursor.
- Ⓣencoders: sensores que geram sinais elétricos em função do deslocamento angular do seu eixo.

Pode-se classificar os diferentes tipos de **sinais** presentes nos sistemas robotizados como **analógicos**, **digitais** e **binários**. Sinais analógicos (vide figura 3.2) são aqueles que variam continuamente no tempo. Sinais analógicos são predominantes nos processos físicos sendo controlados, uma vez que o mundo físico e seus fenômenos são predominantemente analógicos. Uma situação ideal seria aquela em que um transdutor sensor fosse capaz de gerar um sinal analógico em uma grandeza manipulável, por exemplo, uma grandeza elétrica, o qual fosse linearmente dependente à variação da grandeza física medida, em todo o intervalo de valores possíveis da grandeza física, de forma que a análise do sinal gerado permitiria determinar-se de forma unívoca o valor da grandeza medida. De forma similar, um transdutor atuador ideal seria aquele que pudesse gerar em sua saída uma grandeza física diretamente proporcional ao sinal de referência em sua entrada. Infelizmente, praticamente todos os transdutores reais apresentam uma resposta que não é totalmente linear com a entrada recebida. Desta forma, faz-se necessário o uso de dispositivos condicionadores, os quais, como o próprio nome já indica, visam compensar e condicionar os sinais elétricos, a fim de que uma direta correspondência entre os sinais de entrada e de saída possa ser estabelecida.

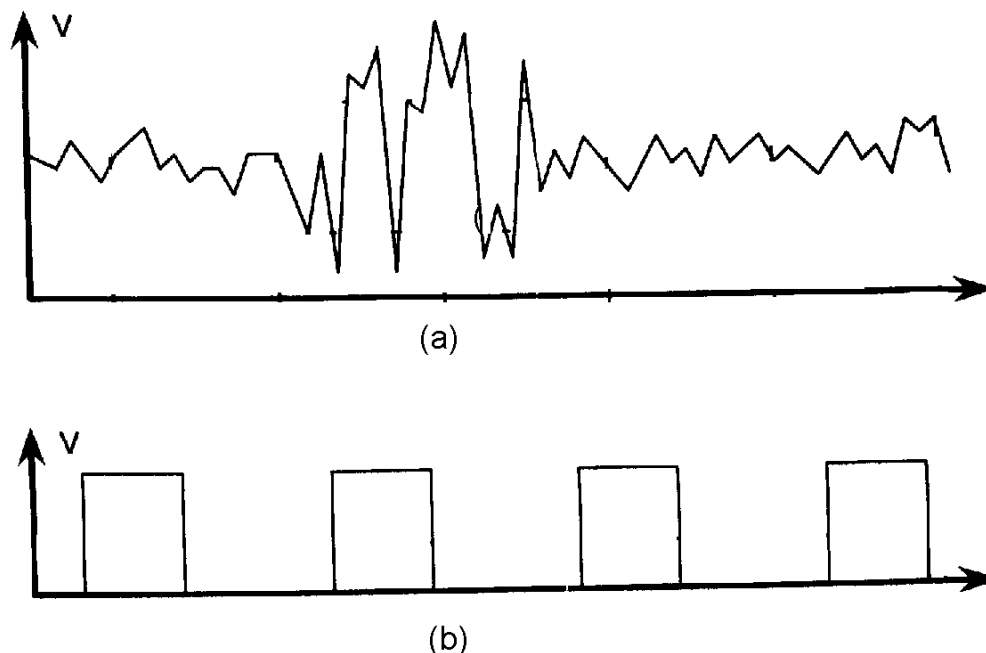


Figura 3.2 - Exemplo de sinal: (a) analógico e (b) digital.

Sinais digitais apresentam uma discretização em seus valores de amplitude, sendo caracterizados pela presença de pulsos de amplitude fixa. Tais sinais são usualmente encontrados em transdutores que possuem internamente dispositivos de processamento digital de informações como microprocessadores e microcontroladores. Neste caso, os sinais são codificados em cadeias de bits 1s ou 0s, sendo que a granularidade da discretização em amplitude depende basicamente do número de bits utilizado na representação do sinal. Por exemplo, supondo-se um sinal analógico cuja amplitude deverá ser representada usando n bits, teremos 2^n possíveis representações possíveis. Quanto maior o número de bits maior o número de valores que podem ser representados. Além da discretização em amplitude, sinais digitais também apresentam normalmente uma discretização temporal, uma vez mudanças nos valores de amplitude somente ocorrem em determinados instantes de tempo definidos.

Sendo os sinais digitais a forma de sinais manipulada por microcontroladores e microprocessadores e, conforme já mencionado anteriormente, as informações presentes nos processos sendo controlados são normalmente de origem analógica, faz-se necessário o uso de dispositivos que permitam a conversão entre valores analógicos e digitais, os quais são denominados de conversores analógico-digitais (ou conversores A/D) e conversores digitais-analógico.

Os instantes de tempo no qual as grandezas físicas analógicas são convertidas pelos conversores A/D em sinais digitais são denominados de instantes de amostragem. É interessante observar que, caso algumas premissas sejam observadas, é possível reconstituir-se o sinal analógico de entrada a partir do sinal analógico original. Existe uma frequência mínima com a qual uma grandeza física deve ser amostrada, a fim de que não haja perda de informação no sinal digitalizado. Esta frequência é dependente da dinâmica da grandeza física em questão e pode ser definida pela aplicação do chamado *teorema da amostragem*. Este teorema enuncia que todo

sinal cujo espectro é limitado em uma frequência f_0 pode ser completamente reconstruído caso seja amostrado com uma frequência igual ou maior a $2f_0$.

Dentre as vantagens do uso de transdutores capazes de tratar informações digitais destacam-se:

- Ⓣa transmissão digital tem potencialmente uma taxa de erro muito baixa (TANEMBAUM, 1994);
- Ⓣas informações digitalizadas já se encontram em formatos manipuláveis por controladores digitais;
- Ⓣransdutores com saída digital e que incorporem sistemas eletrônicos microprocessados, podem disponibilizar outras informações adicionais aos valores correspondentes às grandezas sendo medidas, tais como informações referentes às condições de funcionamento do dispositivo, entre outras.

Já os sinais dito lógicos ou booleanos são caracterizados por apenas dois valores possíveis, sendo usualmente associados à ocorrência de eventos relevantes no sistema sendo automatizado, bem como na caracterização de estados de componentes do sistema de automação, tais como *ligado* e *desligado*, *verdadeiro* e *falso*, entre outros. Exemplos são os sinais gerados por chaves de contato usadas como sensores de final de curso ou para detectar a presença ou chegada de peças em uma linha de produção. Outro exemplo são os atuadores *on/off* que permitem a realização de funções do tipo *liga/desliga* (por exemplo em esteiras), *abre/fecha* (por exemplo em garras de manipuladores ou válvulas), etc. Os sinais lógicos podem ser entendidos como uma especialização de sinais digitais no qual o número de bits usado na representação é igual a 1.

Estas diferentes formas de representação de sinais justificam a existência de diferentes dispositivos em robôs industriais para interagir com sistemas externos. Estes dispositivos são denominados módulos de entrada e saída analógicas, digitais ou binárias. O acesso a estes dispositivos pode ser de diferentes formas, conforme apresentado na próxima seção.

3.2.2 - Modos de comunicação

Para transmitir para ou receber informações de outros dispositivos é necessário que os robôs industriais sejam capazes de comunicarem-se com estes dispositivos. Os diferentes modos de comunicação presentes em robôs industriais e sistemas de automação industrial podem ser classificados de acordo com diferentes características.

Quanto ao número de dispositivos interconectados pelo meio físico de transmissão, podemos diferenciar entre **comunicação ponto a ponto** e **comunicação multi-ponto**. Na comunicação ponto a ponto, conforme o próprio nome já indica, um dispositivo comunica-se diretamente com outro através de um meio físico, normalmente de uso dedicado para a interligação, conectando o transmissor ao receptor. Já na comunicação multi-ponto um dispositivo pode comunicar-se simultaneamente com diversos outros dispositivos. A topologia mais comumente utilizada é o chamado barramento, na qual um meio físico único interligando todos os dispositivos é utilizado.

Referente à forma como os sinais são transmitidos, pode-se diferenciar entre **comunicação serial**, na qual os sinais são transmitidos serialmente por uma linha única de transmissão, e **comunicação paralela**, na qual vários sinais são transmitidos de maneira simultânea, usando-se vários canais de transmissão. Apesar de que, a princípio, uma transmissão serial possa tender a ser mais lenta do que a transmissão paralela, em função da possível simultaneidade na transmissão de vários sinais nesta última, tal afirmativa não pode ser generalizada. Por exemplo, uma interface serial capaz de transmitir a uma taxa de 10 Mbps (bps = bits por segundo) será

mais rápida do que uma interface paralela capaz de transmitir 8 bits em paralelo com taxa de 9.6 kBps (ou seja, taxa efetiva de $8 * 9.6$ kbps que é menor do que 10 Mbps).

É também interessante fazer-se uma distinção entre as *interfaces de comunicação internas e externas*. Interface internas são aquelas que interconectam dispositivos que são montados ou acoplados diretamente ao *hardware* de controle. Por exemplo, semelhante ao que ocorre na arquitetura de computadores pessoais, é comum nos sistemas computacionais internos aos robôs industriais o uso de *barramentos* paralelos internos, especialmente para interconexão do processador onde os programas do robô são executados e os outros dispositivos (memórias, placas de entrada e saída, etc.). Estes barramentos permitem geralmente a transmissão da informação a elevadas taxas de transmissão, porém apresentam limitações nos comprimentos máximos das ligações entre os dispositivos. As interfaces externas são aquelas que, como o nome já indica, permitem a interligação com dispositivos externos ao robô. Duas configurações são amplamente utilizadas:

- ①o uso de barramentos paralelos: permitem a interligação com gabinetes (*racks*) nos quais diferentes placas de aquisição de dados, entrada e saída digitais ou analógicas, processamento de imagens, entre outras podem ser acopladas. Um exemplo deste tipo de barramento é o VME-Bus (SITE, 2000), conforme apresentado na figura 3.3.
- ②o uso de barramentos seriais nos quais vários dispositivos podem ser interligados em rede: uma das principais vantagens da comunicação serial é um redução considerável de custos com aquisição, montagem e manutenção do cabeamento necessário para interligação dos dispositivos. Permitem também conexões a distâncias consideráveis (mais de 10km), sendo que a taxa máxima de transmissão é usualmente inversamente proporcional à distância máxima alcançada (uma vez que quanto maior a frequência maiores as perdas).

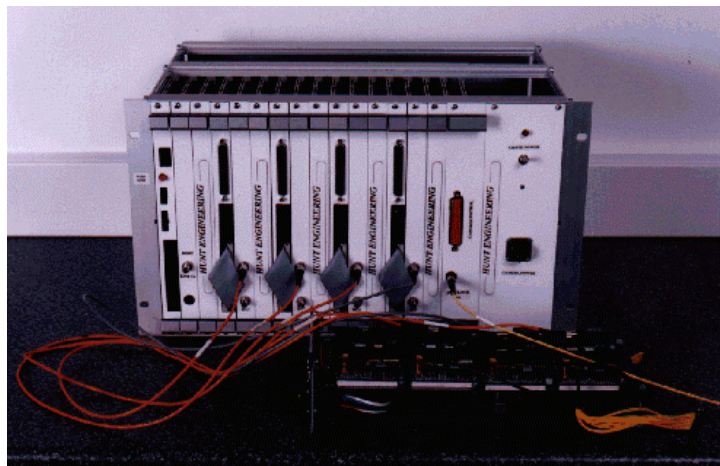


Figura 3.3 - Rack com VME-Bus.

Nas topologias em que vários dispositivos são interligados em rede via um meio físico compartilhado como da *comunicação serial multiponto*, estratégias de acesso ao meio devem ser definidas para evitar-se colisões durante a comunicação. As estratégias comumente utilizadas geralmente partem do pressuposto que todos os dispositivos presentes em um barramento são capazes de reconhecer quando outro dispositivo está comunicando, de forma que a principal

diferença entre os modos de comunicação refere-se à forma como o acesso ao meio físico é realizado. As estratégias mais comuns em sistemas industriais são:

- ① **passagem de permissão:** neste caso, um dispositivo somente pode acessar o meio físico e iniciar a transmissão caso receba uma permissão de transmissão. Esta estratégia exige que os dispositivos que podem transmitir tenham conhecimento de outros dispositivos, em especial do dispositivo para o qual este deverá passar a permissão de transmissão após finalizar sua comunicação. Além disso, questões de gerenciamento do tempo que uma permissão de transmissão fica com um dispositivo, bem como tratamentos de falhas são também aspectos importantes a serem considerados. Um exemplo de protocolo industrial que usa esta técnica é o protocolo Profibus (PROFIBUS, 2000);
- ② **acesso múltiplo com detecção de colisão:** neste caso, qualquer dispositivo que queira comunicar pode iniciar sua transmissão tão logo detecte que o meio físico está livre. Em função disto, colisões no envio de mensagens podem ocorrer e devem ser detectadas (isto é possível ao fazer-se que todo dispositivo que transmite informação, efetue uma leitura da informação efetivamente presente no meio físico para, em caso de divergência, detectar a colisão). Na estratégia denominada de CSMA-CD (Carrier Sense Multiple Access - Collision Detection), padronizada pela IEEE em seu padrão 802.3 [9] e popularizada através do protocolo Ethernet, quando um dispositivo transmitindo detecta uma colisão, este suspende a transmissão por um tempo determinado (tempo aleatório dependendo de cada dispositivo) para então voltar a transmitir (quando o meio físico estiver novamente liberado). Esta estratégia garante um rápido acesso ao meio físico no caso de poucos dispositivos transmitindo, porém pode acarretar um atraso indefinido (no pior caso tendendo a infinito) na transmissão;
- ③ **acesso múltiplo com contenção e evitando-se colisões:** uma outra estratégia bastante usada em sistemas industriais que usam meios de transmissão compartilhados atribui diferentes prioridades para os dispositivos participantes de um barramento. Dispositivos com maior prioridade sempre deverão ter a prerrogativa de transmissão. Tal estratégia torna-se possível fazendo-se que com que cada dispositivo, antes de iniciar a transmissão propriamente dita, transmita um identificador (uma seqüência de bits). Adicionalmente, projeta-se os sistemas eletrônicos de escrita no meio físico de tal forma que existe um nível lógico dominante e outro recessivo, isto é, sempre que por ventura duas informações distintas forem colocadas no barramento, aquela com nível lógico dominante predomina e sobre-escreve o nível recessivo.
- ④ **divisão no tempo:** nesta técnica evita-se a colisão e disciplina-se o acesso ao barramento através da divisão do tempo total em intervalos, chamados de *slots*, os quais são distribuídos entre os dispositivos que queiram comunicar-se. Desvantagem desta técnica é ser rígida e levar a desotimizações no uso do barramento caso o dispositivo que tenha autorização para envio de mensagens, não tenha nada a enviar durante o tempo que lhe foi alocado.

A fim de permitir a efetiva troca de informações, além dos dados sendo transmitidos de um dispositivo para outro(s), na interconexão entre diferentes dispositivos faz-se necessário o envio de informações adicionais para endereçamento (em especial nos casos de ligações multi-ponto) e controle da transmissão. O primeiro permite identificar do destino da informação sendo transmitida, ou seja, a qual dispositivo ou mesmo a qual processo executando em um dispositivo a mensagem em questão é endereçada. As informações para controle da transmissão incluem delimitadores de início de fim da mensagem transmitida, códigos para identificação e eventual correção de erros na transmissão, entre outros. Nas interfaces seriais, as informações de controle

e endereçamento podem ser enviadas pela mesma linha de transmissão que os sinais de dados ou através de linhas dedicadas. Já nas interfaces paralela, linhas especiais para os sinais de controle e endereçamento encontram-se presentes. Conforme apresentado na figura 3.4, esta divisão das linhas de transmissão de informação leva ao surgimento dos chamados *barramento de dados*, *barramento de endereços* e *barramento de controle*.

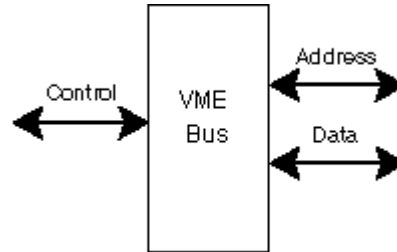


Figura 3.4 - Barramento de Dados, Endereço e Controle.

A temporização no envio e recebimento das informações é outro conceito importante para garantir a correta transferência de informação. Neste caso, considera-se que equipamentos transmissores e receptores devem estar sincronizados. A figura 3.5 mostra que, caso haja uma divergência nos instantes de amostragens do valor digital sendo transferido, informações incorretas são transmitidas.

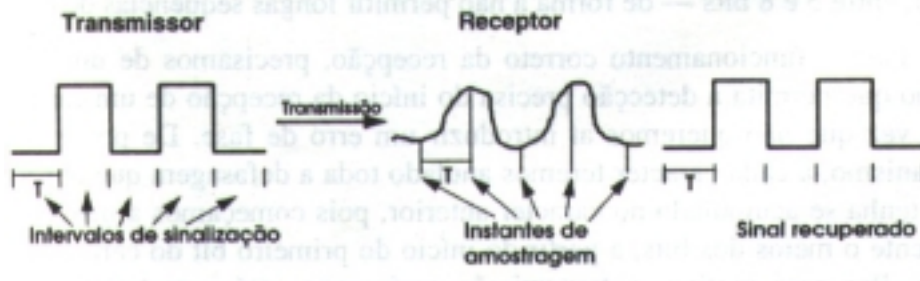


Figura 3.5 - Sincronismo entre transmissor e receptor.

Com relação à maneira como esta sincronização ocorre, pode-se classificar a comunicação como *síncrona* e *assíncrona*. No caso da transmissão assíncrona assume-se que a referência de tempo dos relógios dos equipamentos sensor e transmissor não é única, apenas próxima. Em geral a base de tempo no receptor é determinada por um relógio com uma frequência múltipla daquela do relógio do transmissor (ou seja, $n \cdot f_t$ onde f_t é a frequência do transmissor). Após detectado o início da transmissão, através da recepção de um bit especialmente transmitido, denominado, *start bit* a amostragem pelo receptor se dá após a contagem de $n/2$ pulsos, de forma a garantir que a amostragem sinal ocorre aproximadamente no meio do pulso sendo transmitido. Obviamente, quanto maior o valor de n maior a precisão.

Na transmissão síncrona considera-se que a base de tempo dos equipamentos transmissor e receptor seja única. Para que isto seja possível, ou o relógio deve ser transmitido numa linha de

transmissão separada dos dados ou a informação de sincronismo deve ser enviada junto com os dados. No primeiro caso deve-se garantir que o atraso sofrido pelo sinal de relógio seja o mesmo do que o sofrido pelos dados transmitidos. Desvantagem deste modo é o fato de exigir uma conexão extra somente para transmissão do relógio, o que onera o sistema. Em função disto, sistemas síncronos nos quais o sinal de relógio é enviado juntamente com os dados são os mais populares. Uma das estratégias mais comumente utilizadas em comunicação síncrona é o uso da chamada codificação Manchester (vide figura 3.6). Neste tipo de codificação, sempre deve haver uma transição em qualquer que seja o padrão dos bits transmitidos. Na codificação Manchester cada bit é dividido em dois intervalos iguais. Um bit 1 binário é enviado mantendo-se o nível alto durante o primeiro intervalo, transitando-se para o intervalo baixo no segundo. Um bit 0 é o inverso: primeiro baixa e depois alta. Desta forma, a codificação garante que sempre existe uma transição no meio de um bit transmitido, facilitando a sincronização entre o transmissor e receptor.

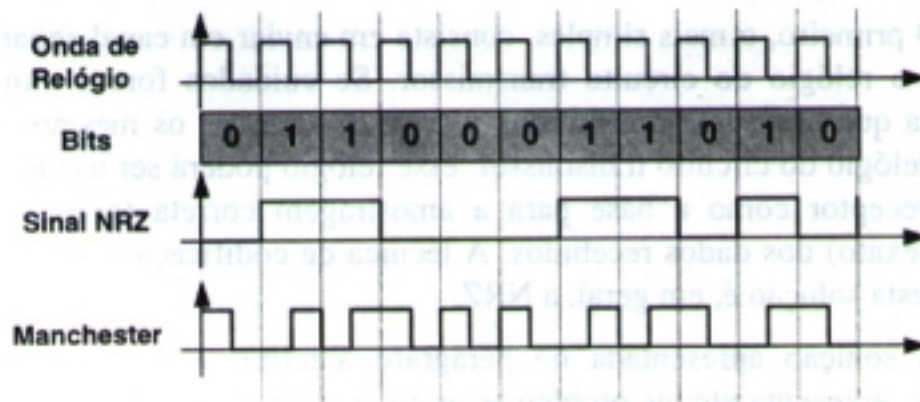


Figura 3.6 - Codificação Manchester

3.3 - INTERFACES E PROTOCOLOS MAIS USADOS

Nesta seção serão apresentados de forma sucinta os principais protocolos de comunicação e interfaces atualmente utilizados. Inicialmente, algumas considerações sobre o uso de protocolos proprietários e protocolos padronizados e abertos são apresentadas.

São vários os aspectos a serem considerados para permitir-se a interconexão e a troca de informações entre um robô industrial e outros dispositivos de automação:

- ① deve-se definir que tipo de conectores, cabos, níveis de tensão, frequência, etc. serão utilizados na comunicação;
- ② além disso, deve-se definir como a informação será transmitida, no caso de necessidade de envio de informações de controle e endereçamento, em que seqüência e como estas informações serão enviadas;
- ③ considerando-se a possibilidade de uma rede amplamente distribuída, na qual existem vários caminhos possíveis de interligação entre dois dispositivos, algoritmos que permitam a escolha do caminho mais adequado, a fim de evitar-se congestionamento de mensagens e uma distribuição mais rápida da informação devem ser desenvolvidos;

Fica claro do exposto acima que a consideração de todos estes aspectos torna o projeto de redes de comunicação para sistemas distribuídos uma atividade bastante complexa. A fim de tornar o problema tratável, uma estratégia é a divisão dos protocolos em diferentes níveis de abstração, onde cada nível lida com determinados aspectos da comunicação e desempenha uma função bem definida. Uma proposta de um modelo de comunicação amplamente aceito é o *Modelo de Referência OSI ISO para Interconexão de Sistemas Abertos* [3]. Este modelo, proposto pela *International Standards Organization - ISO* (Organização Internacional de Padronização), define uma arquitetura com sete camadas hierárquicas. Por exemplo, no nível mais baixo da hierárquica tem-se a Camada Física, que lida com a transmissão pura de bits através de um canal de comunicação. Aspectos como tempo de duração de um bit, taxas de transmissão, tipos de cabos e conectores, etc. são considerados neste nível. A camada hierarquicamente superior à camada física é chamada Camada de Enlace de Dados e é responsável pela definição do formato da mensagem a ser transmitida, a qual é dividida em diferentes campos - de endereçamento, de controle, etc. É também função desta camada a identificação e eventual correção de erros na transmissão ponto-a-ponto.

Para que uma efetiva comunicação de dados ocorra entre dois dispositivos é necessário que estes possuam protocolos compatíveis nas diferentes camadas, ou seja, não é suficiente que apenas em algumas camadas haja esta compatibilidade. Por exemplo, de nada adianta ter-se compatibilidade a nível de camada física, se na camada de Enlace de Dados o receptor espera uma seqüência diferente daquela enviada pelo transmissor. Por exemplo, suponha que um dispositivo queira enviar um comando para um robô industrial e que a mensagem seja dividido nos seguintes campos pela camada de enlace de dados: 1 byte para endereço seguido de um byte para comando. Desta forma, caso o comando 2 seja enviado para o robô 5, uma mensagem com o byte 5 seguido do 2 seria enviada. Supondo que o transmissor esteja esperando um formato diferente, no qual primeiro deve vir o comando e depois o endereço do dispositivo, teríamos que a mensagem seria interpretada como um comando 5 para o robô 2. Tal comando poderia inclusive colocar em risco a integridade de equipamentos e de operadores na linha de produção.

3.3.1 - Interfaces seriais

Em função dos aspectos já mencionados aspectos como redução dos custos de cabeamento (tanto na aquisição, quanto na instalação e manutenção), uma das interfaces mais comumente utilizadas para interligação de robôs industriais com outros dispositivos são as interfaces seriais. Estas podem ser utilizadas tanto no conexão de interfaces com o usuário (*teach pendant*, computadores pessoais, etc.), na interligação de sensore com módulos de entrada e saída e na interligação com outros dispositivos. Conforme já apresentado anteriormente, numa comunicação serial, as informações são transmitidas sequencialmente uma após a outra. A seguir apresentam-se dois padrões bastante difundidos em interfaces seriais, os quais encontram-se padronizados pela Associação de Indústrias Eletrônicas (*Electronics Industry Association - EIA*).

3.3.1.1 - Interface serial RS 232

Esta é sem dúvida uma das interfaces mais utilizadas, em especial em conexões ponto-a-ponto, como na ligação entre um robô industrial e um computador pessoal rodando softwares de programação e configuração. Este protocolo limita-se a definir a camada física, incluindo:

- tipos de conectores: dois tipos de conectores são definidos, um com nove pinos denominado DB-9 e outro de 25 pinos, ou DB-25. A figura 3.7 apresenta o formato destes conectores e sua pinagem;

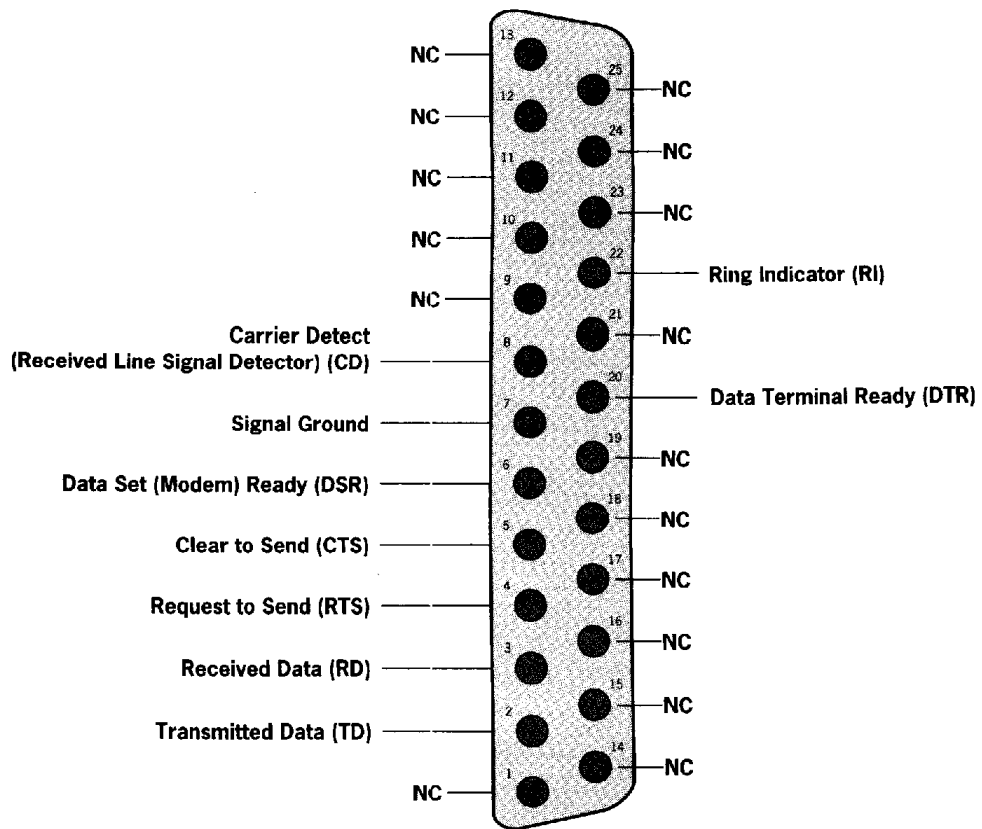
- ⑩ níveis de tensão: o padrão define que as linhas devem possuir níveis de tensão referenciados ao pino Terra (*Ground* - pino 7 no DB25 ou 9 no DB-9), sendo que quando o nível de tensão for maior que +3 V é considerado valor lógico 0 e nível de tensão menor do que -3V corresponde ao nível lógico 1. Os sinais transmitidos usualmente podem excursionar entre +12 e -12 V;

Dados são transmitidos pelo pino "Dado transmitido" (*Transmitted Data* ou TxD) e recebidos pelo pino "Dados Recebidos" (*Received Data* ou RxD). Em geral a comunicação é feita de forma assíncrona, sendo que os pinos "Requisição de Transmissão" (*Request to Send* ou RTS), "Pronto para Transmissão" (*Clear to Send* ou CTS), "Terminal de Dados Pronto" (*Data Terminal Ready* ou DTR) e "Dispositivo de Transmissão Pronto" (*Dataset Ready* ou DSR) são utilizados para garantir a sincronização no início da transmissão.

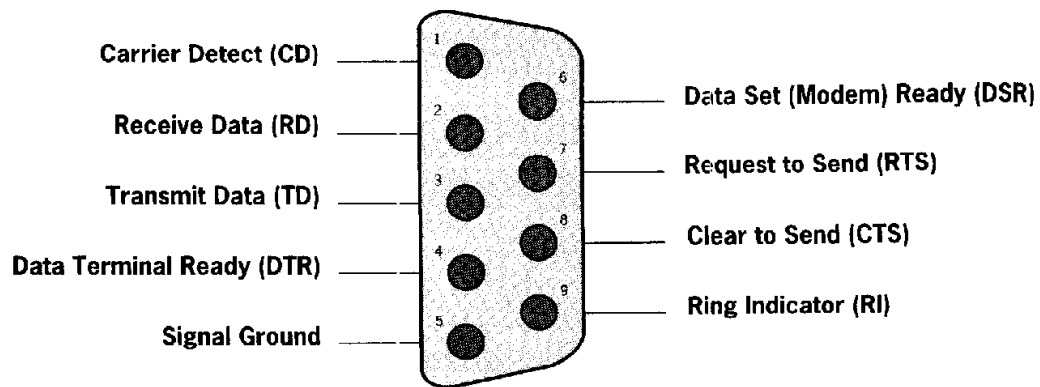
As taxas de transmissão padronizadas para uma interface RS232 são menores que 20kbps (4.8, 9.6 e 19.2 kbps) e são limitadas a distâncias menores que 15 metros. Entretanto, atualmente já existem versões comerciais capazes de transmitir a maiores taxas em cabos que permitem alcançar distâncias maiores do que as originalmente padronizadas (por exemplo, produtos comerciais transmitindo a 115 kbps ou mesmo 1.6 Mbps encontram-se disponíveis)

Apesar de amplamente utilizado, o padrão RS232 tem sérias limitações quanto a questões de interferência eletromagnéticas:

- ⑩ fato de pressupor um terra comum entre os dispositivos que se comunicam representa uma séria limitação em ambientes industriais, onde é comum termos diferenças consideráveis nos potenciais de terra, especialmente em função de laços de corrente e do acionamento de motores, bem como a necessidade de envio de informação a longas distâncias;
- ⑩ a transferência do sinal sobre uma única linha torna difícil o isolamento a ruídos eletromagnéticos. Apesar do fato de ruídos externos poderem ser minimizados através do uso de cabos blindados, ruídos internos, como por exemplo através do fenômeno de *cross-talk*, no qual variações elétricas em um dos cabos induzem variações nas outras linhas;



(a)



(b)

Figura 3.7 - Conectores padrão RS 232: (a) DB-25; (b) DB-9

3.3.1.2 - Interface serial RS 485

A principal diferencial da interface RS485 com relação à RS232 é que em vez de definir os níveis lógicos em função de níveis de tensão referentes a uma tensão de referência (*ground*), as informações são transmitidas em pares de fios de forma balanceada, em que a diferença de potencial entre os pares é que define o nível lógico. Desta forma temos um aumento considerável na imunidade a ruído na transmissão, uma vez que ruídos que surgirem nos dois cabos serão automaticamente suprimidos pelo fato de que o sinal levado em conta na conversão do valor analógico em um valor digital é a tensão diferencial. O padrão RS-485 é usado em comunicações seriais do tipo multi-ponto onde vários dispositivos podem compartilhar o barramento, permitindo taxas de comunicação superiores a 12Mbps e distâncias de até 1.5 Km.

3.3.2 - Interfaces paralelas

Como já mencionado, interfaces paralelas caracterizam-se por transmitirem vários bits simultaneamente, potencialmente apresentando uma maior taxa de transferência de dados. No entanto, a utilização de altas taxas de transferência exige cuidados especiais, tais como blindagem de cada sinal, sinalização diferencial, utilização de pares trançados. Isto torna o custo de uma interface paralela bastante elevado, pois tais cuidados deverão ser observados para cada bit. Por outro lado, para pequenas distâncias (alguns metros) grande parte destes cuidados podem ser dispensados, permitindo a implementação de uma interface paralela a um custo razoável. Adicionalmente, a maioria dos equipamentos trabalha internamente com dados na forma paralela. Assim, a utilização de uma interface paralela evita a necessidade de conversões paralelo/serial e serial/paralelo dos dados, simplificando os equipamentos.

3.3.2.1 - Interface Centronics

A interface Centronics (Centronics era o nome de um fabricante de impressoras muito popular à época, mas que há muito deixou de existir) foi originalmente concebida para conectar computadores a impressoras. Esta interface permite que os dados sejam transferidos em conjuntos de 8 bits, utilizando sinais adicionais para controle da transferência. O protocolo desta interface é mostrado na figura 3.8. Os sinais de controle mais importantes são *nSTROBE*, utilizado pelo transmissor para sinalizar que o dado está disponível e *BUSY*, utilizado pelo receptor para indicar que está ocupado. O sinal *nACK* é, de certa forma, redundante com o sinal *BUSY* (o pulso de *nACK* sempre ocorre na borda de descida de *BUSY*), mas visa facilitar a implementação de esquemas de transmissão via interrupção, enquanto o sinal *BUSY* é mais apropriado para implementação de esquemas de *polling*.

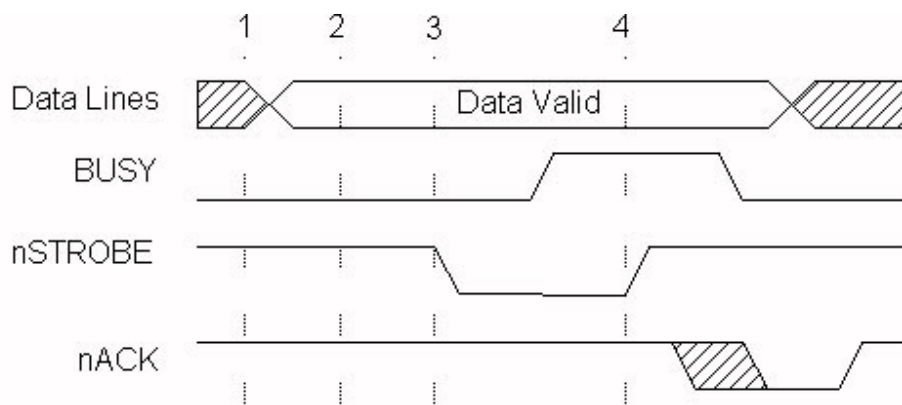


Figura 3.8 - Protocolo da interface Centronics.

Em geral, a interface Centronics permite a comunicação a taxas de até 250kBps, pois na implementação usual, o protocolo é implementado por *software*. Implementações mais sofisticadas implementam o protocolo por *hardware* e, às vezes, implementam FIFOs para os dados, atingindo taxas de até 500KBps.

O padrão Centronics original previa apenas comunicação unidirecional (do computador para a impressora) [7], no entanto, ainda assim esta interface pode ser utilizada para comunicação na direção reversa, fazendo-se uso dos sinais de *status* para enviar um nibble (4 bits) por vez. A vantagem deste modo de comunicação na direção reversa é que pode ser implementado com o *hardware* padrão da interface Centronics. No entanto, como neste modo a taxa de comunicação é metade da obtida na direção normal, diversos fabricantes desenvolveram extensões para o padrão Centronics, visando transmitir 8 bits por vez também na direção reversa. Infelizmente, as várias extensões desenvolvidas são incompatíveis entre si e portanto não são amplamente utilizadas, permanecendo o método de transmissão de um nibble por vez na direção reversa como o mais usual.

3.3.2.2 - Interface IEEE-1284

Numa tentativa de obter uma padronização nas variantes da interface Centronics, o foi criado o padrão IEEE-1284 [8]. Este padrão define cinco modos de operação, para os quais as linhas de controle da interface Centronics são redefinidas, conforme mostrado na tabela 1.

TABELA 1 - Redefinição dos sinais de controle para os diferentes modos IEEE-1284.

Pino	Controle	Compatível	Nibble	Byte	ECP	EPP
2-9	host/perif.	D0-D7	D0-D7	D0-D7	D0-D7	AD0-AD7
1	host	nStrobe	HostClk	HostClk	HostClk	nWrite
14	host	nAutoFD	HostBusy	HostBusy	HostAck	nDStrb
16	host	nInit	nInit	nInit	nRevReq	nInit
17	host	nSelectIn	1284Active	1284Active	1284Active	nStrb
15	periférico	nFault	nDataAvail	nDataAvail	nPeriphReq	usuário
13	periférico	Select	X-Flag	X-Flag	X-Flag	usuário
12	periférico	PError	AckDataReq	AckDataReq	nAckRev	usuário
10	periférico	nAck	PtrClk	PtrClk	PeriphClk	Intr
11	periférico	Busy	PtrBusy	PtrBusy	PariphAck	nWait

Os cinco modos de funcionamento da interface IEEE-1284 são:

- Ⓞ **Compatível:** Modo de operação utilizado pela interface Centronics original. Assim, o protocolo utilizado é o mesmo mostrado na figura 3.8. Neste modo, a transferência de dados ocorre apenas na direção *host/periférico*.
- Ⓞ **Nibble:** Modo de operação onde as linhas de status da interface Centronics são utilizadas para implementar transferências na direção reversa, tal como descrito na seção 3.3.2.1. O protocolo utilizado neste modo é mostrado na figura 3.9. Note-se que neste modo a transferência de dados se dá apenas na direção *periférico/host*.

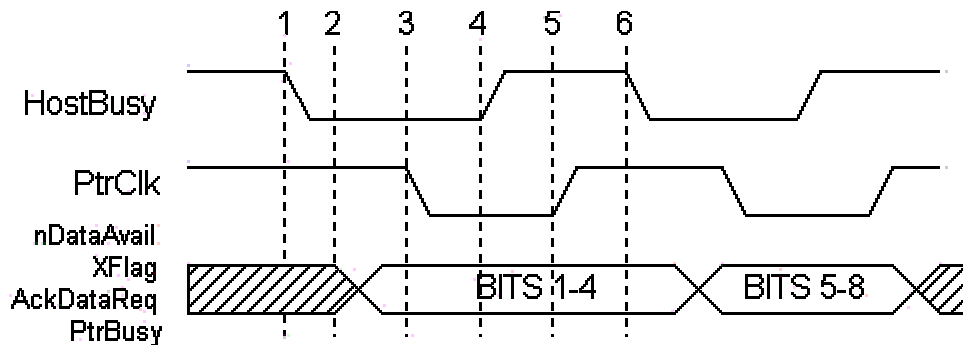


Figura 3.9 - Protocolo IEEE-1284 no modo Nibble.

- Ⓞ **Byte:** Modo bi-direcional criado a partir de uma extensão do padrão Centronics, permitindo a transmissão de 8 bits também na direção reversa, como já comentado na seção 3.3.2.1. A transferência na direção direta (*host/periférico*) se dá de forma idêntica ao modo compatível (vide figura 3.11). A transferência no modo reverso (*periférico/host*) ocorre utilizando o protocolo mostrado na figura 3.10.

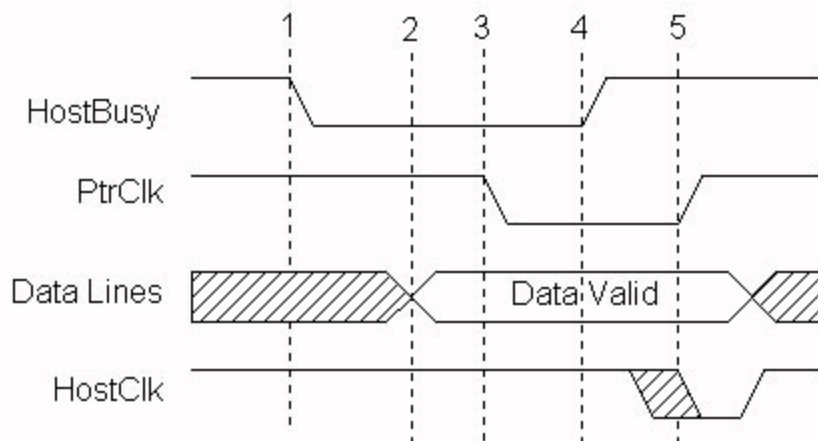


Figura 3.10 - Protocolo IEEE-1284 no modo Byte.

ⓄECP (*Extended Capabilities Port*): Permite a comunicação bi-direcional, com *handshake* por *hardware*. As linhas de controle da interface Centronics são redefinidas de forma a implementar um canal de dados bidirecional assíncrono de 8 bits. O protocolo IEEE-1284 no modo ECP inclui endereçamento, FIFOs (*buffers* de dados) e compressão de dados utilizando RLE (*Run-Length Encoding*). O protocolo para transferência de dados neste modo é mostrado na figura 3.11. Em (a) tem-se o protocolo para transferência direta e em (b) o protocolo para transferência reversa.

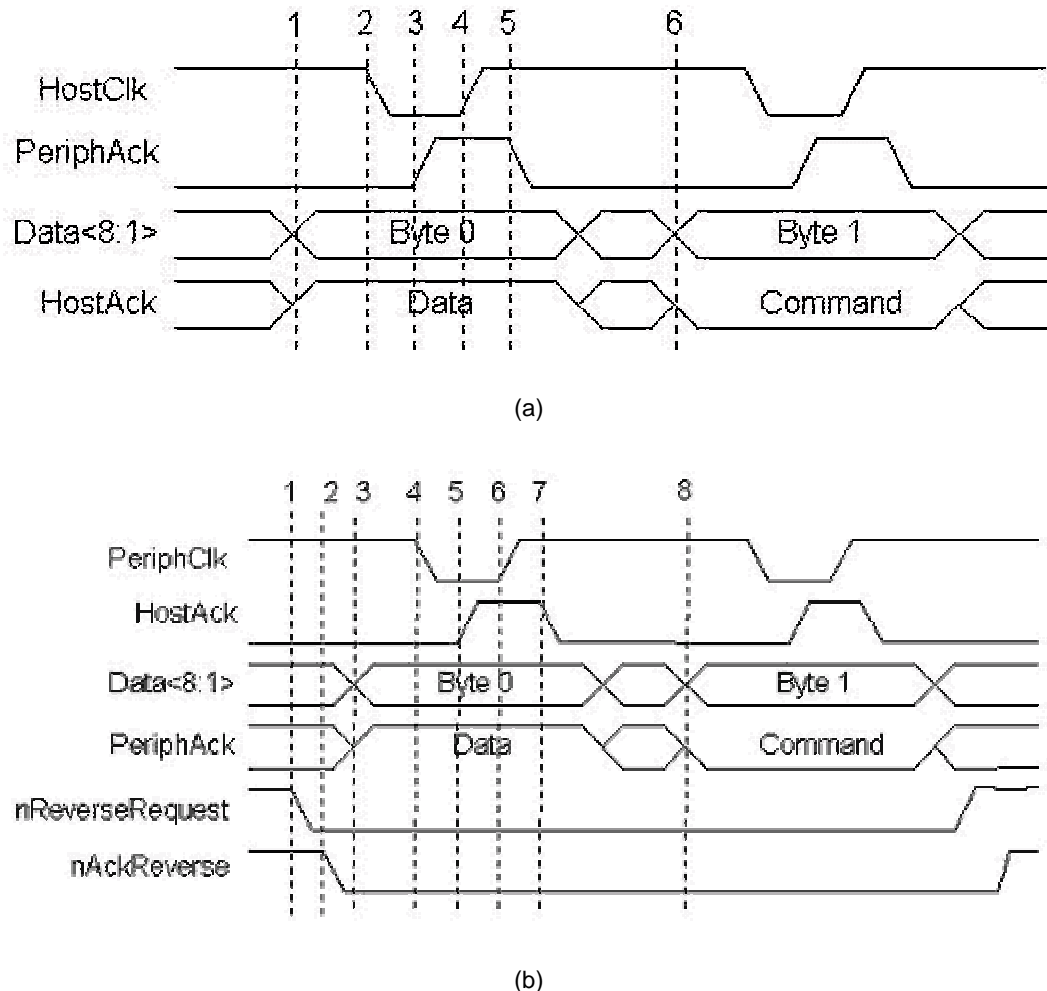


Figura 3.11 - Protocolo IEEE-1284 em modo ECP: (a) transferência direta; (b) transferência reversa.

ⓄEPP (*Enhanced Parallel Port*): Similarmente ao modo ECP implementa uma comunicação bi-direcional de 8 bits, com *handshake* por *hardware*. Este modo também utiliza endereçamento, com o *host* sendo o mestre do barramento e, conseqüentemente controlando todas as operações. A figura 3.12 mostra o protocolo para transferência de dados no modo EPP.

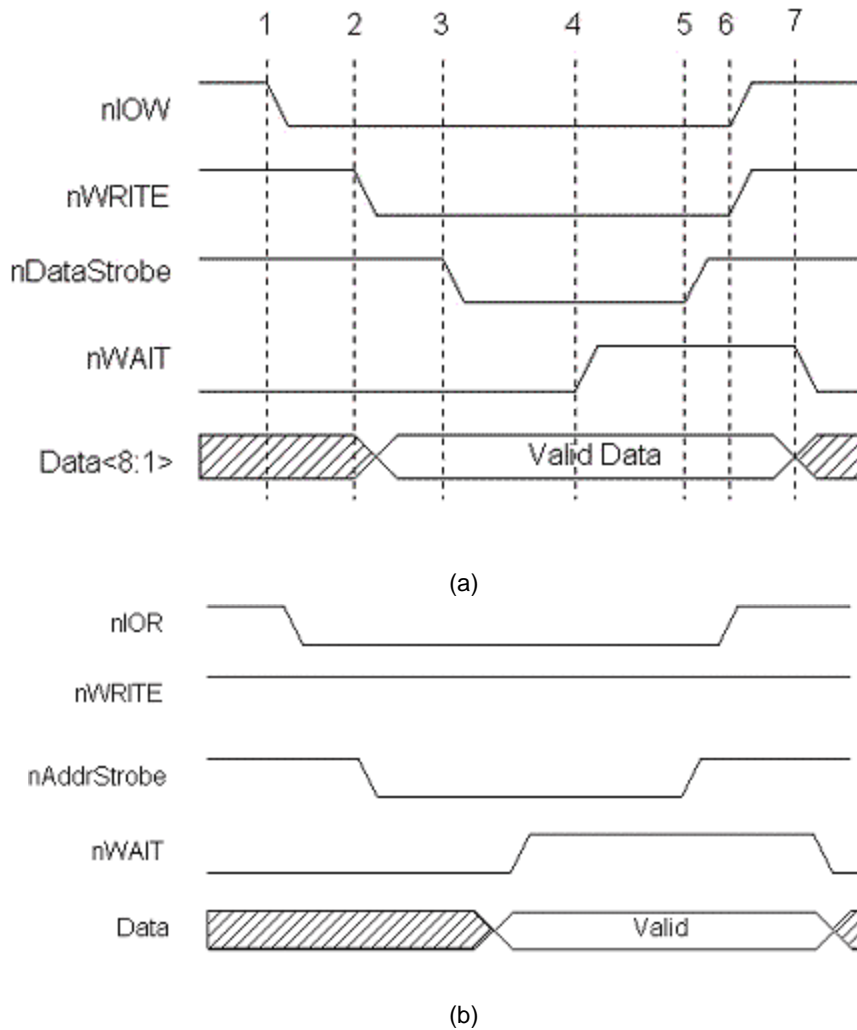


Figura 3.12 - Protocolo IEEE-1284 em modo EPP: (a) transferência direta; (b) transferência reversa.

Convém notar que embora os modos ECP e EPP sejam bastante semelhantes nas suas características, o protocolo do modo ECP é praticamente simétrico, no sentido de que a sinalização executada pelo *host* para transmitir os dados para o *host* é bastante semelhante à sinalização executada pelo periférico para transmitir os dados para o *host*. Já o protocolo do modo EPP utiliza uma filosofia mestre-escravo, na qual o *host* provê a sinalização qualquer que seja a direção da transferência.

3.3.2.3 - Interface GPIB (IEEE-488)

A interface GPIB (*General Purpose Interface Bus*), padronizada pela norma IEEE-488 foi desenvolvida, primariamente, para conexão de instrumentos de laboratório. No entanto, a interface IEEE-488 é de uso geral, permitido a conexão de até 15 dispositivos no seu barramento. Os dispositivos conectados ao barramento IEEE-488 podem assumir três tipos de funções, eventualmente de forma acumulativa:

- Ⓣ Controlador: responsável pelo gerenciamento do barramento, obrigatório em qualquer configuração;
- Ⓣ Locutor: fornece dados aos outros equipamentos, quando requisitado;
- Ⓣ Ouvinte: recebe dados de outros equipamentos.

O barramento GPIB utiliza 8 bits de dados e pode atingir uma distância de 20 metros com uma taxa de transferência de até 1MBps.

Pode-se dividir o barramento GPIB em um sub-barramento de dados e um sub-barramento de controle, também com 8 bits. As linhas de controle podem ser ainda divididas em linhas de controle de transferência de dados e linhas de controle de interface.

As linhas de controle de dados são as seguintes:

- Ⓣ Dado válido (DVA): utilizada pelo locutor para indicar que os dados estão válidos;
- Ⓣ Dado não aceito (NDAC): ativada pelos ouvintes até que todos tenham lido os dados;
- Ⓣ Não pronto para dados (NRFD): utilizada para indicar que nem todos os equipamentos estão prontos para receber dados.

O controle da interface é realizado através das seguintes linhas:

- Ⓣ Inicializa interface (IFC): utilizada pelo controlador para inicializar o sistema;
- Ⓣ Atenção (ATN): utilizada pelo controlador durante o endereçamento ou seqüência de comandos;
- Ⓣ Requisição de serviço (SQR): semelhante a um sinal de interrupção;
- Ⓣ Habilitação remota (REN): ativada pelo controlador, habilita os equipamentos a responderem a comandos do controlador ou de outros locutores;
- Ⓣ Fim ou identificação (EOI): ativada pelo locutor para indicar o último byte de uma transferência ou pelo controlador, juntamente com ATN para indicar endereçamento.

Em linhas gerais, o barramento IEEE-488 opera da seguinte maneira: o controlador estabelece (utilizando o sinal *ATN*, endereços e comandos) o locutor e os ouvintes. A seguir, o locutor passa a transmitir dados para os ouvintes. Há a possibilidade de existirem diversos ouvintes com taxas de transferência diferentes. Neste caso, o controle de fluxo é realizado através da linha *NDAC*, que só vai para o seu estado inativo após o equipamento mais lento ter efetuado a leitura do dado. O barramento de dados transporta além dos dados propriamente ditos, comandos (existem 32 comandos diferentes), endereços de locutores e ouvintes (até 31 de cada) e endereços secundários (endereços de funções dentro do mesmo equipamento).

A interface IEEE-488 utiliza um conector de 24 pinos (vide figura 3.13). Um detalhe interessante destes conectores é que eles possuem de um lado um *plug* macho e de outro um *plug* fêmea, permitindo que diversos conectores sejam empilhados para configuração da rede de equipamentos.

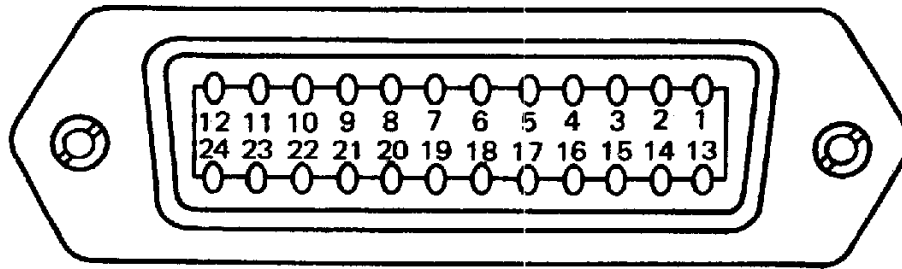


Figura 3.13 - Conector IEEE-488.

3.3.2.4 - Barramento VME

O barramento VME, ou VME-bus [4], é um protocolo de comunicação definido para aplicações que demandem elevado processamento, sendo utilizado em aplicações militares, telecomunicações e em automação industrial. É um barramento paralelo que permite a interconexão de diversos módulos VME (vide figura 3.3) nos quais placas de interface com conectores especiais são acopladas. O padrão utiliza um modo de comunicação assíncrona, sendo que funcionalmente o barramento é dividido em 4 sub-conjuntos: o barramento de arbitragem (*arbitration bus*), de transferência de dados (*data transfer bus*), de interrupções (*interrupt request bus*) e de utilitários (*utility bus*). O barramento de arbitragem serve para resolução do conflitos no acesso ao barramento de dados. Um dispositivo especial, denominado de árbitro, é encarregado de decidir qual dispositivo poderá utilizar o barramento de dados para transmitir, sendo que para isto estratégias baseadas no conceito de prioridades dos dispositivos são utilizados (aquele dispositivo que tiver a maior prioridade poderá acessar o barramento). O barramento de transferência de dados permite endereços de 32 bits (ou seja, um total de 2^{32} dispositivos podem ser acessados) e permite a transferência paralela de dados de até 32 bits. Já o barramento de interrupções interliga todos os dispositivos a um gerenciador de interrupções, sendo que até 7 níveis diferentes de interrupções são possíveis. O barramento de utilitários contém o sinal de relógio que irá sincronizar todos os dispositivos, além de serviços de detecção de falhas, reinicialização do sistema, entre outros. Equipamentos desenvolvidos para o protocolo VME são normalmente bastante robustos, porém tendem a ser mais caros em função da complexidade de implementação dos diferentes barramentos e do protocolo.

3.3.3 - Protocolos abertos x protocolos proprietários

A crescente tendência na área de automação industrial do uso de arquiteturas computacionais distribuídas, nas quais diferentes dispositivos podem comunicar-se com outros e de uma maneira cooperativa realizar tarefas que levem ao atendimento dos requisitos impostos pelas aplicações, aumentou consideravelmente a oferta de dispositivos e de protocolos de comunicação. Por protocolo de comunicação entende-se *um conjunto de regras e convenções que permitem a conversação e troca de informação entre sistemas* [3]. Isto significa que, conhecendo-se exatamente as regras e convenções definidas num dado protocolo, a princípio pode-se construir um dispositivo capaz de trocar informações usando aquele protocolo. Neste contexto, pode-se diferenciar entre dois tipos de protocolos: protocolos proprietários e protocolos abertos. Os primeiros são protocolos definidos por uma empresa e que não são disponibilizados a

usuários e outros fabricantes de dispositivos. Neste caso, somente dispositivos da empresa em questão são capazes de comunicar uns com os outros. Os protocolos abertos, pelo contrário, são aqueles cujas regras e convenções são amplamente divulgados, geralmente na forma de uma norma técnica internacional, nacional ou regional. Neste caso, diversos fabricantes podem, a princípio, desenvolver sistemas computacionais que permitam o interfaceamento de seus dispositivos com outros que entendam o mesmo protocolo. Uma das principais vantagens da adoção de protocolos abertos é a independência de fabricantes, ou seja, quanto mais empresas tiverem produtos disponíveis em um protocolo, menos dependente fica a automação de uma empresa específica. Tal aspecto tende a levar a uma redução dos custos dos dispositivos em função da concorrência que naturalmente surge no mercado. Historicamente, tem-se que os primeiros sistemas de automação tendiam a utilizar somente protocolos proprietários, uma vez que empresas de automação vendiam soluções completas, muitas vezes com dispositivos de somente um fabricante. Atualmente, existe uma forte tendência à adoção de protocolos abertos. Especificamente no que tange o uso de protocolos em robôs industriais, pode-se dizer que ainda existe uma forte presença de protocolos proprietários usando interfaces seriais e paralelas padronizadas. Assim, por exemplo robôs da empresa ABB geralmente comunicam-se com computadores pessoais via interfaces seriais RS232 rodando protocolos de mais alto nível específico da empresa, como por exemplo o *Rapid Serial Link*.

3.3.4 - Especificidades de redes industriais

Diferentemente das redes locais de escritório, onde as redes estão instaladas em ambientes limpos e normalmente com temperaturas controladas, no caso de redes industriais, temos que o ambiente nos quais as redes são instaladas é extremamente hostil, uma vez que ruídos eletromagnéticos de grande intensidade podem estar presentes (por exemplo, no acionamento de motores elétricos, em função das altas correntes envolvidas, radiações eletromagnéticas são geradas, podendo induzir ruídos nos equipamentos eletrônicos nas proximidades). Além disso, ambientes industriais também costumam apresentar temperaturas e umidades elevadas, dois aspectos prejudiciais aos componentes utilizados em sistemas computacionais e de comunicação. Desta forma, equipamentos para redes industriais são em geral especialmente construídos para trabalhar nestas condições adversas e os protocolos de comunicação adotados também devem considerar aspectos de segurança e disponibilidade do sistema desenvolvido.

3.3.4.1 - Protocolos MAP e MINI-MAP

O protocolo MAP (*Manufacturing Automation Protocol* ou Protocolo para Automação da Manufatura) foi um dos primeiros padrões de comunicação para aplicações industriais, que surgiu por iniciativa de um consórcio de empresas lideradas pela empresa de automóveis GM (*General Motors*), com o intuito de montagem de uma rede de comunicação em suas plantas industriais. O protocolo adota o esquema de passagem de permissão (*token passing*) para acesso ao barramento (vide seção 3.2.2), garantindo assim um tempo máximo que uma estação deverá esperar até que lhe seja concedido novamente a possibilidade de acesso ao barramento. Na verdade, MAP não representa apenas um protocolo, mas um conjunto de protocolos para os diferentes níveis do modelo OSI, onde cada protocolo foi escolhido considerando-se, dentre os protocolos existentes, aquele que melhor se adaptava para aplicações industriais. Por tratar-se de um conjunto de protocolos selecionados, MAP é chamado de um perfil (*profile*) para comunicação de sistemas de manufatura.

Experiências práticas com o protocolo MAP demonstraram que em função de sua complexidade, aplicações desenvolvidas para aquele protocolo demandavam uma grande quantidade de memória e tinham tempos de execução bastante longos e muitas vezes

inaceitáveis para as aplicações almeçadas. Em função disto, uma nova versão mais enxuta foi desenvolvida, a qual somente usa três níveis do modelo OSI, o nível físico (nível 1), o nível de enlace de dados (nível 2) e a camada de aplicação (nível 7). A este protocolo foi dado o nome de Mini-MAP (sendo que o protocolo MAP original também passou a ser conhecido por *Full MAP*). Especialmente em função das especificações de sua camada física, a qual propõe o uso de cabos coaxiais e cujo custo são altos para aplicações industriais a nível de chão-de-fábrica, os protocolos MAP e Mini-MAP não se tornaram tão populares.

3.3.4.2 - Protocolo Profibus

Profibus, uma sigla para *Process Field Bus (Barramento de Campo de Processos)* é um protocolo industrial baseado em barramentos seriais e que encontra-se tanto normalizado internacionalmente, continentalmente (norma europeia EN 50170) e nacionalmente (norma DIN alemã). Profibus representa na verdade um conjunto de três protocolos de comunicação denominados de Profibus-DP (*Decentralized Periphery* ou periferia descentralizada), Profibus-FMS (*Fieldbus Message Specification*) e Profibus-PA (*Process Automation*). A versão PA é voltada para aplicações em processos contínuos, enquanto que as versões DP e FMS são voltadas para as áreas de sistemas de manufatura e automação industrial em geral. Seguindo a proposta Mini-MAP, Profibus não define todas as camadas do modelo OSI limitando-se apenas às camadas 1, 2 e 7. Na camada 1, em suas versões DP e FMS Profibus permite o uso padrão RS-485 ou de fibras óticas. Profibus define dois tipos de dispositivos: dispositivos mestres são aqueles que podem iniciar comunicação, enquanto dispositivos escravos somente respondem a solicitações dos mestres. O acesso ao barramento ocorre através de passagem de permissão (*token passing*) entre os dispositivos mestres (vide figura 3.14). A tabela 2 apresenta as principais características dos protocolos da família Profibus.

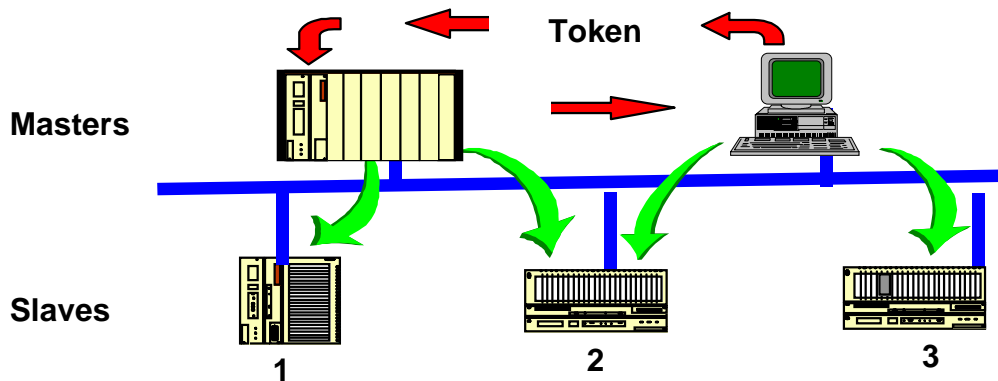


Figura 3.14 - Comunicação Profibus

TABELA 2 - Características dos protocolos da família Profibus.

	Profibus-DP	Profibus-FMS	Profibus-PA
Aplicação	Chão-de-fábrica	Células	Processos
Padrão	EN50170	EN50170	IEC 61158-2
Dispositivos	Dispositivos de campo digitais e analógicos, acionamentos	CLPs,	Dispositivos de campo digitais e analógicos,
Tempo de Reação	1 a 5ms	Menor que 60 ms	Menor que 60 ms

Distâncias	Até 23 km	Até 23 km	Até 1.9 km
Taxas de Transmissão	9.6 kbps a 12Mbps	9.6 kbps a 1.5Mbps	31.25 kbps

3.3.4.3 - Protocolo CAN

CAN é um barramento serial dedicado a dispositivos inteligentes ligados em rede, cuja área de aplicação principal é em sistemas embarcados para o setor automotivos e mais recentemente na área de automação industrial (CiA, 1999, BOSCH, 1991). Segundo o protocolo CAN qualquer dispositivo pode iniciar comunicação, ou seja, é um protocolo multi-mestre em que o acesso ao meio é feito usando-se a estratégia de acesso múltiplo com contenção e evitando-se colisões (vide seção 3.2.2). O protocolo permite a priorização no envio de mensagens, pois a cada mensagem é atribuído um identificador (de 11 bits no padrão CAN 2.0A e de 32 bits no padrão CAN 2.0B) e este é utilizado na resolução de colisões no acesso ao barramento. CAN caracteriza-se por soluções de baixo custo, especialmente em função da produção em larga escala de controladores CAN para o setro automobilístico. O protocolo permite taxas de até 1 Mbps a distâncias de 25m (distâncias de 5km também são possíveis com taxas de 10 kbps). CAN apresenta-se como uma solução interessante para uso em robôs industriais, em especial na interligação de sensores e atuadores.

3.3.4.4 - Protocolo Ethernet

O protocolo Ethernet é uma implementação do padrão IEEE 802.3. Este padrão especifica a camada física e a subcamada de controle de acesso ao meio (MAC), que utiliza o método CSMA/CD (vide seção 3.2.2). Os dados são transmitidos utilizando a codificação Manchester (vide figura 3.) com +0,85V representando nível lógico 1 e -0,85V representando o nível lógico 0, garantindo um nível médio de 0V.

Cada dispositivo Ethernet possui um endereço único de seis bytes, denominado endereço MAC. Os primeiros três bytes identificam o fabricante (REYNOLDS, POSTEL, 1994), enquanto os demais são atribuídos por este de forma única para cada dispositivo fabricado. Usualmente, estes endereços são escritos como uma seqüência de dois dígitos hexadecimais separados por dois pontos, na forma: aa:bb:cc:dd:ee:ff.

Existem, basicamente três tipos de Ethernet: *Thick Ethernet*, *Thin Ethernet* e Par trançado. Os dois primeiros utilizam um cabo coaxial, diferenciando-se entre si pelo forma de conexão dos *hosts* e pelo tipo de conector utilizado. *Thick Ethernet* utiliza uma conexão do tipo vampiro, onde um transceptor é acoplado, apresentando como vantagem o fato da rede não precisar ser interrompida para conexão de mais um *host*. *Thin Ethernet* utiliza conectores BNC tipo T que são inseridos no cabo, exigindo que o cabo seja cortado e a rede interrompida, e conectados ao *host*. É importante salientar, que o conector T deve ser conectado diretamente ao dispositivo Ethernet, sem a utilização de cabos de extensão. *Thick* e *Thin Ethernet* tem uma taxa de transferência de dados de 10Mbps e permitem um comprimento máximo de cabo de 500m e 200m, respectivamente, sendo por esta razão denominados 10base5 e 10base2. Utilizando-se repetidores, pode-se alcançar distâncias maiores. Por questões de temporização, o número de repetidores entre dois tranceptores é limitado a quatro. Assim, pode-se atingir uma distância máxima de 2,5km.

O terceiro tipo de Ethernet também opera a 10Mbps e utiliza um cabo formado por quatro pares trançados (sendo por isto denominado 10baseT) e conectores modulares RJ45, semelhante aos utilizados em telefonia. Apenas dois pares são utilizados para comunicação de dados, sendo os demais reservados para uso em telefonia, embora raramente sejam utilizados para tal. A tabela 3 mostra a pinagem do conector utilizado. Como se pode notar, é utilizada sinalização diferencial. Além disso, para redução de ruído, é importante que os condutores conectados aos pinos 1 e 2

formem um par trançado. De maneira análoga, os condutores conectados aos pinos 3 e 6 também devem formar um par trançado.

TABELA 3 - Pinagem do conector Ethernet 10baseT.

Pino	Sinal
1	Transmissão de dados (+)
2	Transmissão de dados (-)
3	Recepção de dados (-)
4	Reservado para telefonia
5	Reservado para telefonia
6	Recepção de dados (+)
7	Reservado para telefonia
8	Reservado para telefonia

Ao contrário dos tipos anteriores, que utilizam uma topologia de rede em barramento, a Ethernet 10baseT utiliza uma topologia em estrela. Assim, cada *host* é conectado ao *hub*, que é o dispositivo encarregado de implementar o CSMA/CD. A distância de cada *host* ao *hub* pode ser de até 100m.

Nos padrões 10base2 e 10base5, os dados são transmitidos e recebidos pelo mesmo meio físico, ou seja, o cabo coaxial. No entanto, na Ethernet 10baseT, existem pares de condutores independentes para transmissão e recepção de dados, possibilitando a operação em modo *full-duplex*. Já que a transmissão e a recepção são realizadas por canais diferentes, e desde que o *hub* seja compatível com o modo *full-duplex*, pode-se desabilitar a detecção de colisão nos *hosts*. Desta forma, pode-se transmitir e receber dados simultaneamente. Neste caso, o *hub* deve encarregar-se de resolver o problema da colisão.

Existe também o padrão 100baseTX, que permite transferências de dados a uma taxa de 100Mbps e utiliza cabeamento e conectores similares aos utilizados pelo padrão 10baseT. Na verdade, a maioria dos sistemas 10baseT instalados recentemente utiliza cabeamento e conectores **categoria 5**, o que significa que obedecem as especificações necessárias para operação no padrão 100baseTX. Assim, para operação a 100Mbps, bastaria trocar os *hubs* e as interfaces de rede, mantendo-se o mesmo cabeamento, que significa grande parte do investimento na implantação da rede. Atualmente está em desenvolvimento o padrão 1000baseT, que permitirá atingir uma taxa de transferência de dados de 1Gbps. A princípio, este padrão também deverá utilizar cabeamento categoria 5.

Os *hosts* em uma rede Ethernet enviam dados entre si utilizando um conjunto de protocolos de nível superior. Os pacotes destes protocolos são transmitido através da rede em pacotes Ethernet, sendo que cada protocolo opera de maneira independente dos demais, cooperando para a transferência dos dados. Com a grande disseminação da Internet, o conjunto de protocolos denominado TCP/IP (*Transfer Control Protocol/Internet Protocol*) tem sido uma escolha frequente para os protocolos de nível superior.

O protocolo IP tem seu próprio endereçamento, de 32 bits. O protocolo IP de um determinado *host*, tem conhecimento do seu próprio endereço IP e do endereço IP do *host* de destino dos dados. O seu próprio endereço Ethernet pode ser obtido a partir da interface de rede, mas o endereço Ethernet do *host* de destino não é conhecido. Este endereço precisa ser determinado a partir do endereço IP do *host* de destino. Isto é feito a partir de um protocolo denominado ARP (*Address Resolution Protocol*).

Convém salientar, que os protocolos Ethernet e TCP/IP não foram concebidos para aplicações em automação industrial, não apresentando algumas características desejáveis em

ambientes de controle em tempo real, como determinismo e segurança na transmissão dos dados. No entanto, Ethernet e TCP/IP são provavelmente as tecnologias de rede mais difundidas, permitindo uma grande escala de produção e disponibilidade, e por consequência, baixo custo, tornando-se uma alternativa bastante atrativa para interconexão de dispositivos de automação.

Por outro lado, a nova geração de protocolos IPv6 (IP versão 6), também conhecida como IPng (IP *next generation*) propõe-se a solucionar, pelo menos em parte, algumas das limitações do protocolo IP atual (IPv4), na medida em que prevê garantias níveis de qualidade de serviço (QoS) e de segurança, através do protocolo IPsec.

3.4 - SISTEMAS INTEGRADOS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Uma análise da evolução do estado da arte da área de automação industrial mostra que esta tem sido extremamente influenciada por avanços nas áreas de instrumentação, microeletrônica e informática. Sistemas de automação industrial modernos caracterizam-se pela presença cada vez maior de sistemas computacionais com arquiteturas de *hardware* e *software* distribuídas. Dispositivos microprocessados tornam os diversos componentes presentes no sistema de automação em unidades autônomas de processamento, as quais são capazes de interagir umas com as outras para, em colaboração, produzir produtos de alta qualidade, a custo e tempo de produção reduzidos. Esta tendência de desenvolvimento de sistemas de automação cujos componentes possuem elevado grau de autonomia e flexibilidade reflete-se em praticamente todas as sub-áreas dentro da área de automação industrial, através de novos conceitos de sensores e atuadores inteligentes, sistemas integrados de manufatura, robôs e máquinas inteligentes, etc. (GROOVER et al., 1986). O problema para os projetistas de produtos com estas tecnologias é fazer com que elas sejam compatíveis entre si, de forma que possam ser integradas em um único sistema de controle industrial. Assim, um dos principais problemas a serem enfrentados é o problema de *interface das informações*.

Estes sistemas distribuídos de automação são geralmente estruturados de forma hierárquica, constituindo a chamada *pirâmide de automação* (ver Figura 3.15). O nível mais baixo na hierarquia, denominado *chão-de-fábrica*, engloba os elementos diretamente acoplados aos componentes da planta industrial sendo automatizada e caracteriza-se por manipulação de informações como sinais de controle e status a elevadas taxa de processamento. À medida em que se sobe na hierarquia, tem-se que informações de mais alto nível, tais como estratégias de produção e dados gerenciais são manipuladas, sendo que geralmente quanto maior o nível de abstração menos críticos os requisitos temporais e maiores as constantes de tempo associadas aos processos envolvidos.

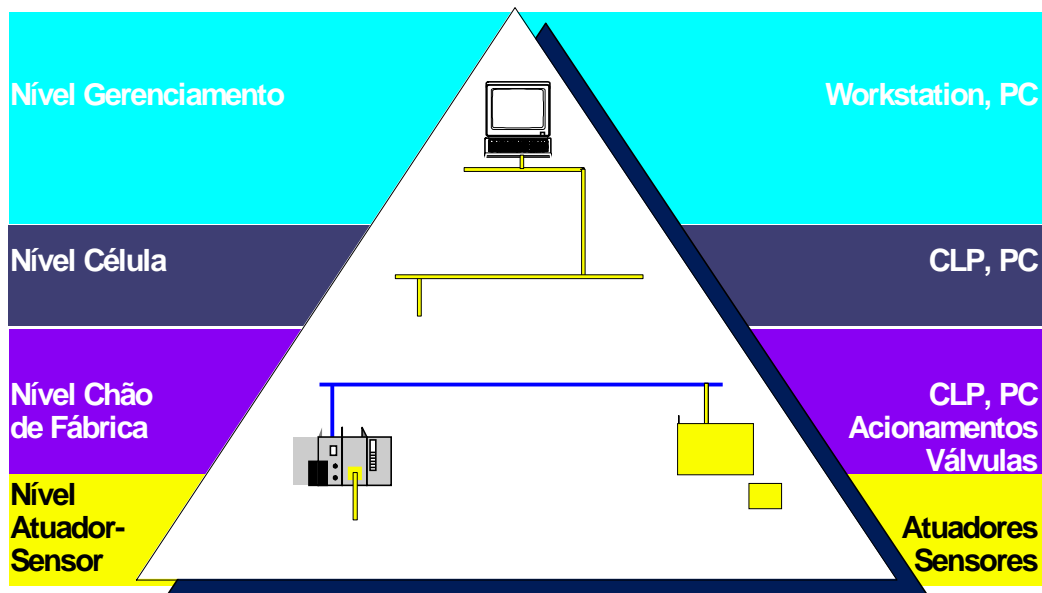


Figura 3.15 - Arquitetura distribuída de sistemas de automação industrial.

Como apresentado nas seções anteriores, a estrutura de uma rede de automação industrial é caracterizada pelo uso de diversos sub-sistemas de comunicação. Em geral, estes sub-sistemas são otimizados para aplicações específicas, como entrada/saída de dados nos níveis mais baixos da rede e transferências de arquivos por FTP (*File Transfer Protocol*) ou navegação na [WWW](#) (*World-Wide-Web*) nos níveis mais altos. Estes sub-sistemas possuem restrições de temporização diferentes, variando desde 10us, para o *jitter* de sincronização de um robô, até 30 segundos ou mais para a transferência de arquivos. Nos níveis mais baixo, a relação entre os dispositivos da rede tende a ser do tipo mestre-escravo, enquanto nos níveis mais elevados a relação tende a ser do tipo par-a-par.

Através do incremento gradual do uso da tecnologia Ethernet nas plantas industriais, a comunicação poderá ser padronizada consideravelmente. Atualmente, existem esforços (KLÜGER, 2000) no sentido de padronizar a comunicação industrial utilizando exclusivamente a tecnologia Ethernet.

3.5 - GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A tendência atual no gerenciamento de sistemas de automação é a utilização da tecnologia da Internet, em especial utilizando-se redes Ethernet/TCP/IP para comunicação entre máquinas e páginas *WEB* para a interface Homem-máquina. Protocolos padronizados pela Internet, tais como TFTP (*Trivial File Transfer Protocol*), SNMP (*Simple Network Management Protocol*) e SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*), são utilizados para comunicação de dados entre máquinas, que podem ser configuradas automaticamente através de protocolos como o DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*). A interface como usuário é feita utilizando-se o protocolo HTTP (*Hyper-Text Transfer Protocol*).

A interface com o usuário através de páginas *WEB*, é um meio simples para acesso a todos os dados disponíveis na rede de automação, independentemente da localização do usuário ou dos equipamentos sendo acessados. Adicionalmente, para visualizar estes dados, é necessário

apenas um computador convencional equipado com um navegador *WEB*, ou *browser*, sem a necessidade de *softwares* específicos. O próprio sistema de páginas *WEB* encarrega-se de fazer a interface com os aplicativos que utilizem outros protocolos (FTP, TFTP, SNMP, SMTP), dispensando o usuário de aprender a utilizar a interface de tais aplicativos. Usualmente, o sistema de páginas *WEB* faz isto utilizando uma interface para execução de programas externos denominada CGIs (*Common Gateway Interface*). Através da interface WWW, o usuário tem acesso aos seguintes serviços:

- ④ visualização de dados;
- ④ diagnóstico;
- ④ operação manual;
- ④ parametrização e configuração;
- ④ serviços de auxílio.

O protocolo DHCP é utilizado para passar informação de configuração para *hosts* em uma rede TCP/IP. Este protocolo consiste de dois componentes:

- ④ um protocolo para envio para cada *hosts* dos seus parâmetros específicos de configuração, obtidos a partir de um servidor DHCP;
- ④ um mecanismo para alocação automática de endereços de rede para os *hosts*.

Assim, utilizando-se o protocolo DHCP, as tarefas de configuração, alocação de endereço e nome para os dispositivos na rede podem ser feitas de maneira automática. O protocolo DHCP também permite que parâmetros de configuração como endereço de rede sejam definidos manualmente. A vantagem neste caso, está no fato de que a configuração de todos os *hosts* é realizada de forma centralizada, no servidor DHCP, evitando a necessidade de configurar-se cada *host* isoladamente.

Embora por enquanto o conceito de automação baseada em redes TCP/IP esteja sendo aplicado principalmente em intranets, é natural no futuro próximo, este conceito seja expandido para a Internet. As vantagens são claras: em poucos minutos, especialistas dos fabricantes poderão acessar dispositivos de automação com problemas e executar diagnóstico, e configurações.

A existência de uma estrutura de comunicação homogênea em uma rede automação industrial apresenta as seguintes vantagens:

- ④ simplifica as rotinas de *startup* e de manutenção;
- ④ melhora a interoperabilidade dos dispositivos de automação;
- ④ aumenta a confiabilidade da linha de produção;
- ④ aumenta a flexibilidade e reduz o ciclo de desenvolvimento de produtos;
- ④ simplifica as bases de dados;
- ④ melhora e aumenta os serviços de diagnóstico de processos e componentes;
- ④ fornece serviços de auxílio ao usuário.

3.6- REFERÊNCIAS

BOSCH, R. GmbH, *CAN Specification Version 2.0*, 1991.

CiA Draft Standards 301, *CANopen Application Layer and Communication Profile, Version 4.0*, 1999.

GROOVER, M., WEISS, M., NAGEL, R., ODREY, N., *Industrial Robotics: Technology, Programming, and Applications*, 1 ed., McGrawHill, New York, 1986.

IEEE Std. 802.4- 1982, *Token-passing Bus Access Method and Physical Layer Specifications*, 1982.

IEEE Std.1284-1994, *Standard Signaling Method for a Bi-directional Parallel Peripheral Interface for Personal Computers.*, 1994.

IEEE Std 802.3- 1985, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.*, 1985.

KLÜGER, P., "IDA - Interface for Distributed Automation Standardization of the Automation Network", In: *Proceedings of the 6th IFAC Symposium on Robot Control*, Vienna, pp. S1-S4, 2000.

NOF, S. Y.(editor), *Handbook of industrial robots*, 2 ed., John Wisley & Sons, New York, 1999.

PROFIBUS: Technical Overview <http://www.profibus.com/data/technic/index.html>, 2000.

REYNOLDS, J., POSTEL, J., *Assigned Numbers*, STD 2, RFC 1700, ISI, 1994.

SARGENT, M., SHOEMAKER, R. L., *The Personal Computer from the Inside Out.*, 3 ed., Addison-Wesley, 1995.

SITE, <http://www.vita.com>, 2000.

TANEMBAUM, A., *Redes de Computadores*, Tradução da Segunda Edição Americana, Editora Campus, Rio de Janeiro,1994.