

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ADEQUAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA REDE LOCAL "DIN 19241"

PARA APLICAÇÕES NA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA

TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA,  
COMO PARTE DO PROGRAMA COOPERATIVO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENG. MECÂNICA UFSC-RWTH AACHEN

ORIENTADOR : PROF. CARLOS ALBERTO SCHNEIDER, DR. -ING.

COORIENTADOR : PROF. TILO PFEIFER, DR. -ING., DR. H.C.

HARI BRUNO MOHR

FLORIANÓPOLIS, FEVEREIRO DE 1989

ADEQUAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA REDE LOCAL "DIN 19241"  
PARA APLICAÇÕES NA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA

HARI BRUNO MOHR

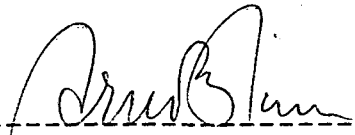
ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA

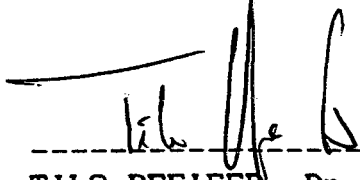
E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA.



CARLOS A. SCHNEIDER, Dr. Ing.  
Orientador

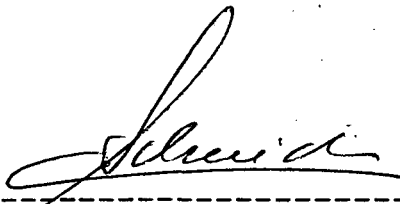


ARNO BLASS, Ph. D.  
Coordenador do Curso

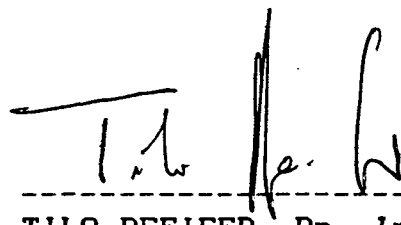


TILO PFEIFER, Dr. Ing.  
Coorientador

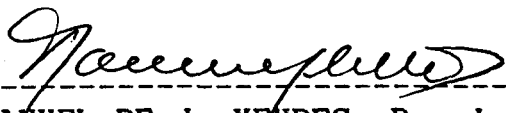
BANCA EXAMINADORA



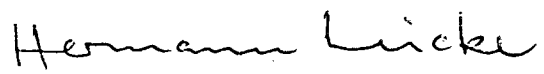
CARLOS A. SCHNEIDER, Dr. Ing.  
Presidente



TILO PFEIFER, Dr. Ing., Dr.H.C.



MANUEL DE J. MENDES, Dr. Ing.



HERMANN H. A. LUCKE, Dr. Ing.



JONI DA SILVA FRAGA, Dr. Ing.

## AGRADECIMENTOS

- Ao Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC por ter possibilitado a realização deste curso de pós-graduação.
- Ao Prof. Carlos Alberto Schneider pelo apoio e orientação na realização do curso.
- Ao Prof. Tilo Pfeifer pelo apoio e orientação na realização deste trabalho, especialmente durante o período de trabalho junto ao WZL da RWTH-Aachen.
- Ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD) pelo apoio oferecido.
- À CAPES pela ajuda financeira recebida durante o curso.
- Aos colegas Hermann e Alberto Alvares pelas sugestões e discussões realizadas.
- Aos colegas do LABMETRO/CERTI e WZL, não citados nominalmente, mas que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE	Pag.
1. REDES LOCAIS NA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA .....	1
1.1 A EVOLUÇÃO DA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA .....	1
1.2 REQUISITOS DE COMUNICAÇÃO EM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA A NÍVEL DE PROCESSO .....	4
1.3 PADRONIZAÇÃO DE REDES LOCAIS E SUA UTILIZAÇÃO NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL .....	10
1.4 PROPOSTA DE TRABALHO.....	16
 2. O SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS PDVnet.....	 19
2.1 CARACTERÍSTICAS DEFINIDAS PELA NORMA DIN 19241 .....	19
2.1.1 Características gerais .....	20
2.1.2 Estrutura das mensagens .....	21
2.1.3 Protocolo de transmissão .....	22
2.1.4 Funções implementadas e o tipo de estação .....	24
2.1.5 Detecção e recuperação de erros .....	26
2.1.6 Modo de endereçamento .....	27
2.2 O SISTEMA "PDVnet" UTILIZADO .....	28
2.2.1 Características gerais .....	28
2.2.2 Hardware e software do sistema .....	29
2.2.3 Interfaces do usuário .....	29
2.2.4 Software aplicativo .....	29
2.2.5 Integração de controles nas estações .....	30
2.3 TESTES PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO .....	34
2.3.1 Ciclo da rede .....	34
2.3.2 Tempo de transmissão de programas (upload e download) ...	37
2.3.3 Tempo de transmissão de mensagens .....	41

3. UTILIZAÇÃO DE FIBRAS ÓPTICAS COMO MEIO DE TRANSMISSÃO .....	44
3.1 CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES ÓPTICOS .....	44
3.1.1 Transmissores ópticos .....	44
3.1.2 Detectores ópticos .....	45
3.1.3 Fibra óptica .....	46
3.1.4 Conectores .....	48
3.1.5 Acopladores .....	49
3.1.6 Chaves ópticas .....	50
3.2 TOPOLOGIAS DE REDES LOCAIS COM FIBRA ÓPTICA .....	51
3.2.1 Barra linear com derivadores passivos .....	51
3.2.2 Estrela passiva .....	53
3.2.3 Estrela ativa .....	54
3.2.4 Anel ativo .....	55
3.3 REDE PDVnet IMPLANTADA COM FIBRA ÓPTICA .....	57
3.4 CONCLUSÕES .....	59
4. INTERLIGAÇÃO ENTRE UNIDADES COM CNC E REDES LOCAIS .....	61
4.1 MODOS DE INTERLIGAÇÃO .....	61
4.1.1 Estação da rede ligada ao CNC por meio de interface serial .....	62
4.1.2 Estação da rede acoplada diretamente ao CNC .....	64
4.2 MODOS DE OPERAÇÃO .....	65
4.2.1 Transferência de programas, subprogramas, dados de ferramenta e parâmetros entre unidades de supervisão e CNCs .....	65
4.2.2 Monitoração de alterações de estado do CNC e MF .....	66
4.2.3 Informações do operador e controle de produção .....	67
4.2.4 Operação remota .....	68

4.3 UNIDADES COM CNC INTERLIGADAS COM ESTAÇÕES DA REDE PDVnet .....	68
5. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA ADEQUAÇÃO DE REDES	
LOCAIS PARA APLICAÇÕES NA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA .....	72
5.1 REQUISITOS .....	72
5.1.1 Segurança na transmissão das informações .....	72
5.1.2 Interfaces e protocolos existentes nas unidades a interligar .....	73
5.1.3 Tempo de resposta .....	73
5.1.4 Tráfego de informações na rede .....	74
5.1.5 Custos .....	75
5.2 ANÁLISE DOS ASPECTOS DE COMUNICAÇÃO EM UMA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA .....	75
5.2.1 Características de operação de uma célula de referência .	76
5.2.2 Considerações sobre funções e características de comunicação de cada unidade da célula de referência .....	78
5.2.3 Análise da adequação de uma rede PDVnet para a CFM .....	85
6. ESTAÇÃO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E DIAGNÓSTICO .....	88
6.1 OBJETIVOS .....	88
6.2 METODOLOGIA .....	89
6.3 FORMAS DE OPERAÇÃO .....	90
6.3.1 Determinação do perfil do tráfego .....	90
6.3.2 Monitoração do tráfego .....	91
6.4 EAVD - ESTAÇÃO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E DIAGNÓSTICO DE UMA REDE LOCAL PDVnet .....	92
6.5 ASPECTOS COMPLEMENTARES .....	98

7. ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO PDVnet PARA A AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA .....	100
7.1 ATENDIMENTO À NORMAS INTERNACIONAIS .....	100
7.1.1 Relação com o modelo básico de referência ISO/OSI .....	100
7.1.2 Relação com MAP .....	102
7.2 IMPLANTAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO PARA INTERLIGAR UNIDADES DE AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA .....	103
7.2.1 Computador Central .....	103
7.2.2 ECR - Estação Central da Rede .....	106
7.2.3 Terminal de operação .....	108
7.2.4 Unidades com CNC .....	110
7.2.5 Computador tipo PC .....	111
7.2.6 Unidades de aquisição e controle .....	112
8. CONCLUSÕES .....	115
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	117

## GLOSSÁRIO

ACK	- Reconhecimento
AMT	- Acoplador ao Meio de Transmissão para a rede PDVnet
CA	- Cabeçalho gerado pela camada Aplicação
CC	- Computador Central da rede PDVnet
CE	- Cabeçalho gerado pela camada Enlace
CH	- Cabeçalho gerado pela camada Física
CIM	- Computer Integrated Manufacturing
CFM	- Célula Flexível de Manufatura
CIF	- Controlador de Interface da rede PDVnet
CLP	- Controlador Lógico Programável
CN	- Comando Numérico
CNC	- Controle Numérico Computadorizado
CP	- Cabeçalho gerado pela camada Apresentação
CQD	- Controle de Qualidade
CR	- Cabeçalho gerado pela camada Rede
CR	- Conversor de Rede
CRC	- Clyclical Redundance Check
CS	- Cabeçalho gerado pela camada Sessão
CT	- Cabeçalho gerado pela camada Transporte
DIANA	- Software para diagnóstico e análise da EAVD
DNC	- Comando Numérico Distribuído
EAVD	- Estação de avaliação e desempenho para a rede PDVnet
ECP	- Estação de Conversação Paralela do sistema PDV
ECR	- Estação Central da Rede PDVnet
EGT	- Estação geradora de tráfego
EM	- Estação de Medição



EMDES - Estação de monitoração e desempenho

EPA - Enhanced Performance Architecture

ER - Estação de Rede

H - Distância de Hamming

IEC - International Electrotechnical Commission

IMAC - Interface Modular de Aquisição e Controle

IUS - Interface do Usuário

I/O - Unidades de entrada/saída

ISD - Interface Serial Digital do sistema de transmissão PDV

ISO - International Standards Organization

M - Estação Monitora do sistema de transmissão PDV

MAP - Manufacturing Automation Protocol

NACK - Não reconhecimento

OSI - Open Systems Interconnection

PC - Computador Pessoal compatível com o IBM-PC

PDV - sistema de transmissão de dados segundo norma DIN 19241

PDVnet - rede local PDV implementada pelo WZL-RWTH-Aachen

RO - Receptor Óptico

Rx - Terminal de Recepção de sinais

SFT - Sistema Físico de Transmissão

TO - Transmissor Óptico

TER - Terminal de Operação

Tx - Terminal de Transmissão de sinais

T\_Tx - Tempo para transmissão entre usuário e estação de rede local

T\_Rx - Tempo para transmissão entre estação de rede local e usuário

T\_Rede - Tempo para transmissão entre duas estações de rede local

UAM - Unidade de Acesso ao Meio de transmissão

UF - Unidade de fabricação

## RESUMO

### ADEQUAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA REDE LOCAL "DIN 19241" PARA APLICAÇÕES NA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA

Foram analisadas as possibilidades de utilização de fibras ópticas como meio de transmissão em redes locais e implantado um sistema PDVnet, com topologia em forma de anel, utilizando fibras ópticas como meio de transmissão.

São apresentados diversos modos de operação e formas de interligação entre unidades com CNC e redes locais, e como exemplo é descrita a integração de 2 CNC com a rede PDVnet.

É apresentada uma metodologia para a análise da adequação de redes locais para a automação da manufatura. Para avaliar a adequação da rede PDVnet para a automação da manufatura foi feita uma análise do fluxo de informações existente numa célula flexível tomada como referência. Com base no tráfego previsto e em resultados de testes de tempos de transmissão efetuados com o sistema PDVnet foram determinados os tempos necessários para as comunicações na célula usando o sistema disponível.

Para o diagnóstico de falhas e avaliação de desempenho de redes locais são apresentadas as características necessárias em uma estação de avaliação de desempenho e diagnóstico e como exemplo é descrita a EAVD implantada para a rede PDVnet.

Diversas unidades, típicas da automação da manufatura, foram interligadas por uma rede PDVnet (DIN 19241). Para a transferência de programas entre o computador central e unidades com CNC foi implantado um terminal de operação.

## ZUSAMMENFASSUNG

### ANPASSUNG UND BEWERTUNG EINES PDVbus-SYSTEMS (DIN 19241)

#### FÜR DIE FERTIGUNGSAUTOMATISIERUNG

Die Möglichkeiten, Lichtwellenleiter als Übertragungsmedium in Localen Netzen einzusetzen wurden analysiert; ein PDVbus-System mit Lichtwellenleiter und Ring Struktur wurde danach aufgebaut.

Es werden verschiedene Betriebs und Ankopplungsarten zwischen Maschinen mit CNC und Netzwerke beschrieben, und als Beispiel wird die integration von zwei CNC und PDVbus System dargestellt.

Bei der Bewertung des PDVbus-Systems für die Fertigungsautomatisierung wurde eine Analyse von dem Datenverkehrs einer Fertigungszelle, die als Referenz angesehen wurde, ausgeführt. Aufgrund dieser Ergebnisse und die Zeiten, die für die Nachrichtenübertragung mit dem PDVbus benötigt wurden, wurden die Zeiten für den Datenverkehr in dieser Fertigungszelle, mit dem vorhandenen System, ermittelt.

Die Merkmale von eine Station für die Fehlererkennung und die Bewertung vom Netzwerker wurden beschrieben und eine Station für den PDVbus wurde entwickelt und in Betrieb genommen.

Verschiedene Einheiten, mit Einsatz in der Fertigungsautomatisierung wurden mit einen PDVbus vernetzt. Für die Übertragung von Programmen zwischen ein Leitrechner und Einheiten mit CNC Steuerungen wurde eine Bedienungstation realisiert.

## ABSTRACT

### EVALUATION AND INSTALLATION OF A "DIN 19241" NETWORK FOR MANUFACTURING AUTOMATION

The possibilities to use fiber optics as transmission medium of local network were analysed and a PDVnet with ring structure was implemented.

The types of interconnections of CNC units with networks, their operation modes and the integration of two CNC with the PDVnet are described.

The analysis of the information exchange in a flexible manufacturing cell, taken as reference, was performed to evaluate the adequacy of a PDVnet for manufacturing automation. From this analysis and the results of the message transmission time required by the installed PDVnet, the time for communications in the cell was estimated.

The description of the characteristics of a station to detect faults and to evaluate a network performance is made and, as an example, a station implemented on PDVnet is presented.

Many units used in the manufacturing automation were integrated with a PDVnet (DIN 19241). To perform the upload and download of programs between the central computer and the units with CNC an operation terminal was installed.

# 1. REDES LOCAIS NA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA

## 1.1 A EVOLUÇÃO DA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA

A evolução constante da tecnologia dos microprocessadores aliada a uma tendência de redução de seus custos possibilitam o seu uso em escala crescente no controle de processos produtivos. O controle de processos contínuos, que passou por uma fase de centralização com o surgimento dos primeiros computadores, tende a uma fase de descentralização com a difusão dos microprocessadores e microcontroladores.

Na manufatura, o surgimento dos microcomputadores foi o fator essencial para a automação computadorizada de diversas unidades isoladas /1,2,3/. Houve até uma mudança na concepção das máquinas e equipamentos de produção. Os comandos numéricos evoluíram para comandos numéricos computadorizados (CNC) nos quais foram incorporadas poderosas funções para a edição manual de programas que podem incluir até a simulação da trajetória da ferramenta. O desenvolvimento de programas de comando numérico passou da fase de programação manual ao sistema de programação "offline" em computadores de grande porte e atualmente é feita crescentemente em microcomputadores do tipo PC-AT. Diversos níveis de controle numérico distribuído (DNC) estão em operação ou em implantação /4,5,6/ e a evolução para as células flexíveis de fabricação também já é uma realidade em alguns casos /7,8,9,10/.

Um elemento importante da manufatura em metal-mecânica é o controle dimensional /11/. Os prejuízos oriundos da constatação tardia de que um produto acabado está fora da especificação geométrica tem estimulado a medição durante o processo produtivo. A medição durante o processo da manufatura é um fator de redução de custos na medida em que se detecta

tendência de erro antes que se ultrapassem os limites de tolerâncias. O controle dimensional durante o processo, feito por instrumentos inteligentes (computadorizados) é utilizado para fazer uma realimentação no sistema de fabricação e conseguir um aprimoramento do próprio processo /12,13/. Hoje instalações pilótos em centros de pesquisa com unidades já aplicadas na produção mostram claramente a tendência intensiva de medição durante o processo produtivo /14,15,16,17/. A figura 1.1 mostra a tendência existente no controle de qualidade dimensional /18/.

A aplicação destes e de outros desenvolvimentos resultaram em "ilhas" de automação na manufatura /19,20,21/.

Para realizar a integração da medição no controle do processo produtivo é necessária uma realimentação das unidades de supervisão para as de fabricação. Esta ligação entre as diversas unidades de fabricação e unidades de supervisão com as centrais de informações deve ser feita por meio de redes locais para obter um sistema de comunicação flexível /22,23,24,25/.

As tendências atuais em termos de manufatura mostram um mercado consumidor que impõe uma produção cada vez mais diversificada e prazos de entrega reduzidos, fazendo com que os lotes e tempos de produção se tornem cada vez menores. Um aumento na oferta exige um nível crescente de qualidade e decrescente de preços dos produtos.

Para atender a tais características do mercado o processo de manufatura passou a exigir:

- controle e alocação otimizada dos meios de produção para conseguir melhor qualidade, reduzindo os custos e tempos de produção;
- unidades e sistemas de fabricação mais versáteis (reprogramáveis e reconfiguráveis) para atender a pequenos lotes, sem dispensar muito tempo na mudança da programação da produção;

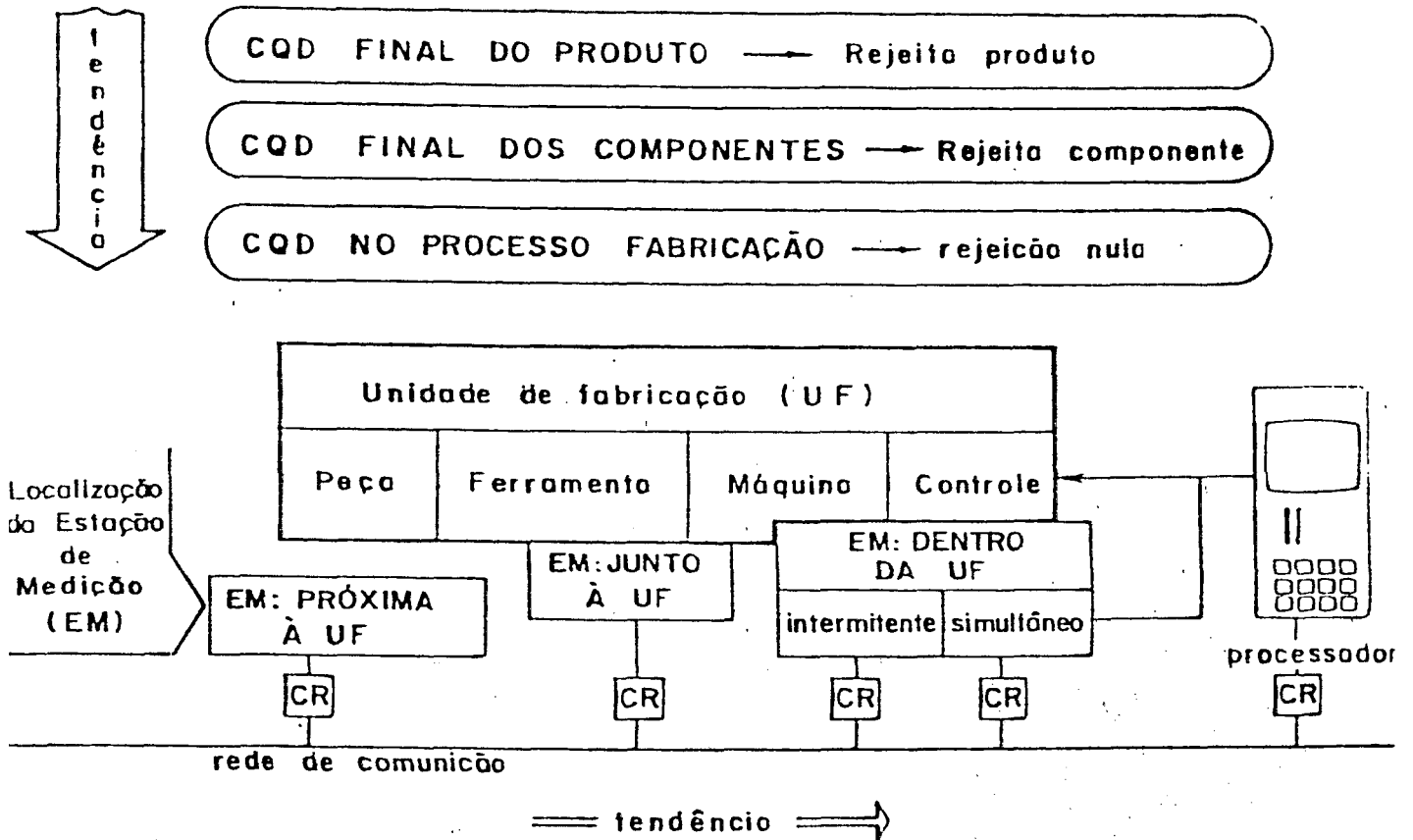


Fig. 1.1 - Tendências no controle de qualidade dimensional /18/

- utilização de manipuladores para automatizar a produção /26/;
- controle de qualidade feito de forma a auxiliar na otimização do processo de manufatura até conseguir uma operação com refugo zero. O controle de qualidade deve atuar como um sensor no controle adaptativo do processo de produção;
- controle do fluxo de materiais e dos procedimentos de fabricação, visando otimizar o seu uso, ou até introduzir novas técnicas de produção como o "Just in Time" /27/;
- interligação entre as diversas ilhas automatizadas existentes na empresa para aumentar a eficiência na coleta e troca de informações;
- interligação e integração entre as diversas áreas da empresa cujas ações interferem com a manufatura, conforme mostra a figura 1.2

/28,29,30/.

Para atender as exigências acima é necessário, antes de tudo, que haja um sistema de comunicação bastante versátil para interligar as diversas áreas da empresa, com requisitos de comunicação específicos, envolvidas no processo da manufatura.

## 1.2 REQUISITOS DE COMUNICAÇÃO EM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA A NÍVEL DE PROCESSO

A automação do processo produtivo normalmente requer a interligação de diversas estações de trabalho computadorizadas a uma estação de supervisão

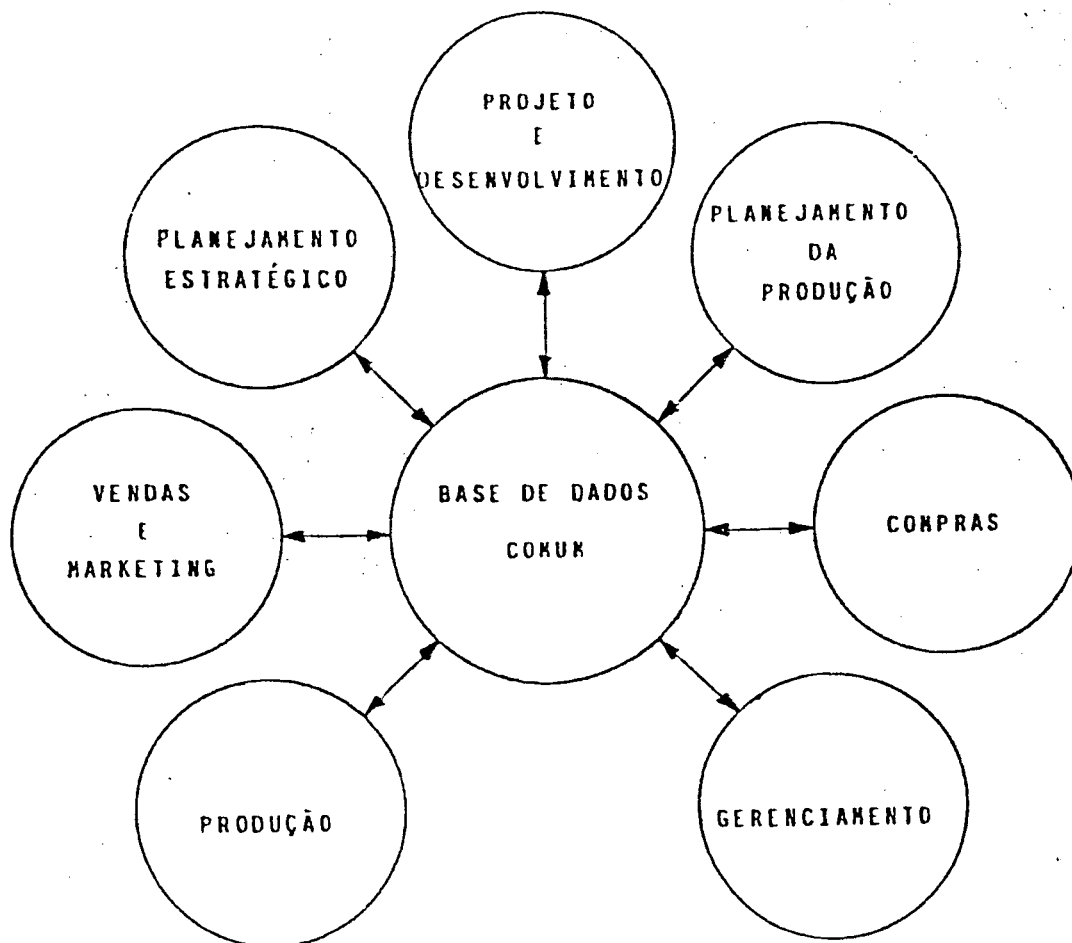


Fig. 1.2 - Manufatura integrada por computador



/31,32/. Esta unidade de supervisão da produção também deve estar ligada ao setor de projetos, que por sua vez deve dispor de informações das áreas de planejamento da empresa. Há portanto uma necessidade de uma base de dados (fig. 1.2) comum que possibilite a integração de todos os setores (CIM - Computer Integrated Manufacturing) /12/.

A estrutura empresarial pode ser caracterizada por um sistema hierarquizado e dividido em 3, 4 ou 5 níveis /33,34,35/. A figura 1.3 mostra as principais características de comunicação do nível superior (administração da empresa) e do nível inferior (controle de processos) da estrutura de controle numa empresa. A característica predominante junto ao controle de processos é a transferência de mensagens curtas com alta

CARACTERÍSTICA \ NÍVEL	1	2 3 4	5
	CONTROLE DE PROCESSOS	ADMINIST. DA EMPRESA	
NÚMERO DE ESTAÇÕES	ALTO 50 - 500	BAIXO 1 - 50	
TEMPO ENTRE TRANSMISSÕES	SEGUNDO - MILLISEGUNDO	SEGUNDO - HORA	
QUANTIDADE DE DADOS (BYTE)	POUCOS 1 - 128	MUITOS 100 - 10000	
VIDA ÚTIL DOS DADOS	CURTA MILLISEGUNDO - MINUTO	LONGA SEGUNDO - ANOS	
COMUNICAÇÃO NO SENTIDO HORIZONTAL	RARO	FREQUENTE	
TRANSFERÊNCIA DE PROGRAMA	NÃO	SIM	
TRANSFERÊNCIA DE ARQUIVOS GRAFICOS E DADOS	NÃO	SIM	
AQUISIÇÃO DE DADOS DE SENSORES	SIM	NÃO	
DADOS PARA ATUADORES	SIM	NÃO	

Fig.1.3 - Características da comunicação na automação integrada

frequência, entre um número elevado de estações. Junto administração há a predominância da transferência de mensagens longas (arquivos) entre um número menor de estações.

A integração destes diversos níveis, com investimentos e custos operacionais reduzidos, está sendo realizada por meio de redes locais. Foram desenvolvidos diversos tipos de redes locais para atender as diferentes necessidades de comunicação (fig. 1.3) nos vários níveis da hierarquia de controle de uma fábrica. /21,36,37/. Para atender estas características diferenciadas podem ser utilizadas duas ou mais redes (fig. 1.4) interligadas por meio de repetidores (repeater), pontes (bridge), roteadores (router) ou comportas (gateway) /21,38,39,40,41,42/.

As redes locais para o controle de processos na automação industrial apresentam algumas características comuns com as redes locais para a automação de escritórios, entre elas:

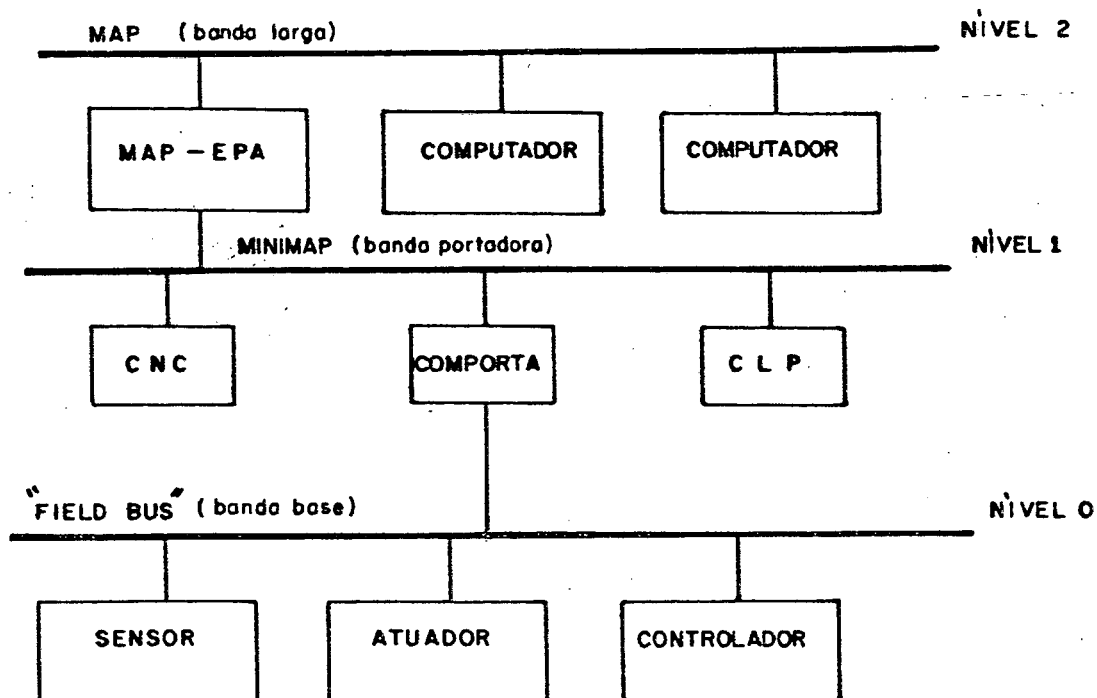


Fig. 1.4 - Hierarquia de redes de comunicação numa fábrica

- distância de transmissão está abaixo de 10 km, normalmente fica na faixa de 1 a 2 km;
- taxa de transmissão de 50 kbit/s a 10 Mbit/s;
- transmissão serial;
- baixa taxa de erros;
- número de estações inferior a 256;
- possibilidade de conectar e desconectar estações durante a operação normal da rede;
- topologia em forma de anel, barramento ou estrela;
- meio de transmissão: par trançado, cabo coaxial ou fibra óptica.

A maioria das redes existentes no mercado procuraram atender a demanda existente na automação de escritórios /38/. A grande maioria destas redes usam o protocolo de comunicação CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), com o qual se iniciaram os desenvolvimentos de redes locais /43,44/.

Os seguintes aspectos tecnológicos básicos diferenciam as redes locais para aplicações industriais das demais redes:

a) Tempo de acesso ao meio físico

Esta é a característica que, fundamentalmente, diferencia as redes para aplicações industriais das demais. O tempo de acesso ao meio físico em muitas aplicações industriais deve ser determinístico para viabilizar aplicações em tempo real.

O protocolo CSMA/CD apresenta um comportamento não determinístico, pois as colisões sobre o meio de transmissão aumentam a medida que o tráfego na rede aumenta /45,46,47/.

O método de acesso com passagem de ficha (token passing) é feito

seqüencialmente a todas as estações, podendo ser determinado um tempo máximo entre duas oportunidades consecutivas de transmissão para cada estação /48,49/.

O método de gerenciamento de uma rede, por uma estação central deixa o sistema dependente desta estação mas é a configuração usual dos sistemas de controle na maioria de suas aplicações. Este tipo de gerenciamento também garante um tempo entre transmissões consecutivas a qualquer estação da rede /48,50,51/ e segue a prática atual de fazer um controle distribuído com uma supervisão centralizada.

#### b) Confiabilidade

Em aplicações industriais onde são transmitidos muitos códigos de comandos, leitura/comando de medidores e atuadores, um erro em um bit qualquer pode ter conseqüências fatais. A transferência de programas para máquinas com comando numérico, por exemplo, exige um sistema bastante confiável, pois são transmitidos códigos de comandos cuja mínima alteração pode produzir danos de elevado custo. Desta forma tem sido dado um destaque especial para o fator segurança nos sistemas de transmissão.

Para aumentar esta confiabilidade nas mensagens transmitidas normalmente é usado um teste cíclico de redundância (CRC - Cyclical Redundance Check) /49,52,53/. Este CRC pode ser colocado no final de um bloco de 128 ou até de 1024 byte ou estar colocado dentro de uma mensagem após cada 2 byte de dados. Define-se distância de Hamming (H) de um CRC como sendo o número mínimo de bits que devem estar alterados em uma mensagem para que o CRC não consiga detectar esta mudança. Alguns protocolos possuem distância de Hamming de 1, outras de 2 e as mais seguras possuem H=4 /54,55/. Em sistemas que necessitem de uma operação

continua pode ser utilizado um meio de transmissão redundante, como também estações de controle redundantes /56,57/.

c) Resistência ao meio ambiente

Devido as características do ambiente industrial, a presença de interferências eletromagnéticas, provocadas principalmente pelos acionamentos de motores elétricos de grande porte ou outras fontes chaveadas (estações de solda, conversores estáticos) , não podem ser desprezadas na escolha e instalação de uma rede de comunicação.

Para a escolha do meio de transmissão e do protocolo de comunicação a ser implementado na rede estas características devem ser consideradas. O meio de transmissão deve possuir uma boa resistência mecânica e deve estar eletricamente isolado /31,58,59/.

d) Tipo de mensagens e volume de informações

Nas aplicações mais próximas ao controle de processo normalmente são enviadas mensagens curtas, como:

- ligar ou desligar alguma unidade;
- fazer leitura de um medidor;
- verificar o estado de uma chave ou rele;
- alterar o estado de um atuador.

Estas operações normalmente podem ser feitas com um único código acrescido dos respectivos dados, quando existirem. Como consequência pode haver uma baixa taxa de transmissão de dados, mas um elevado número de mensagens transmitidas.

Para dispositivos programáveis encontrados no ambiente industrial (CNCs, CLPs, computadores de controle) normalmente é necessário o envio de programas no início da produção de um lote. Não foram encontradas

informações estatísticas sobre o tamanho e a frequência de carga de programas para CNCs, mas em alguns casos analisados os programas não ultrapassam 10 kbyte e dificilmente são utilizados mais de 3 programas por unidade de fabricação durante um turno de trabalho, na fase de produção.

Existem diversas redes proprietárias, voltadas ao controle de processo, desenvolvidas por grandes empresas que atuam no setor /31,58,60/. Estas redes normalmente usam um protocolo específico estabelecido pelo próprio fabricante e não permitem a interligação de equipamentos de outros fabricantes. Desta forma o usuário fica na total dependência de um único fornecedor, mas já existem diversas iniciativas para a padronização de sistemas de comunicação /61/.

### 1.3 PADRONIZAÇÃO DE REDES LOCAIS E SUA UTILIZAÇÃO NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

As exigências de comunicação entre unidades para a integração flexível dos sistemas de automação, descritas nos itens anteriores, evidenciam a necessidade de uma padronização de redes locais. Entre as diversas iniciativas /61/ existentes para a definição destas normas destacam-se as seguintes:

- a) - em 1975 um grupo da IEC iniciou seus trabalhos para a normalização de redes de controle de processos. (IEC/SC 65C/WG6 - International Electrotechnical Commission /Technical Committee for Industrial Process Measurements and Control/Working Group 6 - "PROcess data HighWAY - PROWAY"). Foram definidas três versões (Proway A, B e C) /55/.
- b) - em 1977 a ISO (International Standards Organization) iniciou um

trabalho que, em 1983, culminou com a definição de um padrão para interconexão de sistemas abertos conhecido como modelo OSI (Open Systems Interconnection). Este padrão obteve uma aceitação mundial, e também no Brasil é base de um projeto de norma equivalente /62,63/. O modelo OSI estabeleceu uma estrutura em 7 camadas, como mostra a figura 1.5. Os serviços de uma camada são oferecidos à camada superior, de forma que qualquer camada dispõe do conjunto de serviços oferecidos pela camada imediatamente inferior. Somente camadas adjacentes comunicam-se diretamente entre si.

A figura 1.6 apresenta a seqüência de envelopamentos feitos para enviar uma mensagem de uma estação para outra com a implementação dos 7 níveis especificados pelo modelo ISO/OSI.

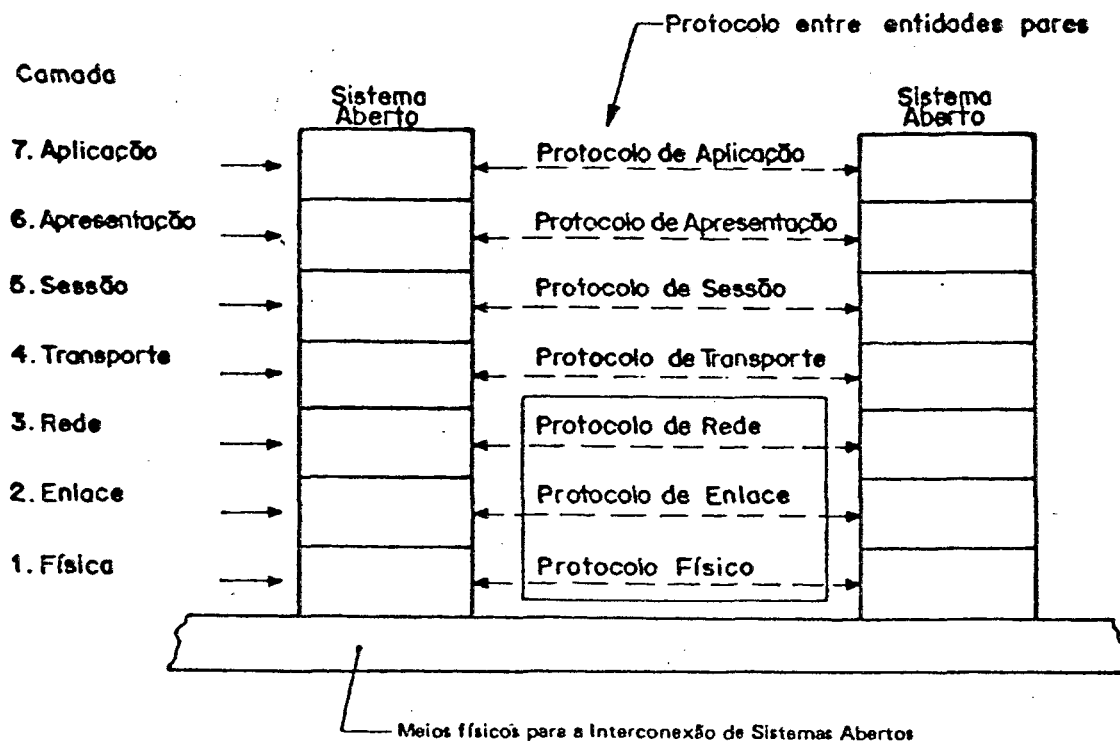


Fig. 1.5 - Modelo básico de referência ISO/OSI /69/

Se for utilizado o modelo ISO/OSI completo, o tempo de transmissão para fazer o envelopamento destes dados na origem e novamente abrir no destino, além do tempo gasto para transmitir o grande número de dados dos cabeçalhos acrescentados aos dados do usuário, pode comprometer aplicações em tempo real.

- c) - na Alemanha foi publicado em 1978 o projeto de um sistema de transmissão de dados como parte de um projeto de pesquisa, sobre controle de processos por meio de computador, em que participaram diversas empresas e universidades alemãs. Este projeto do sistema de transmissão de dados passou à categoria de norma DIN em 1984/85. Este sistema, é conhecido na Europa como rede "PDVnet", e se destina a

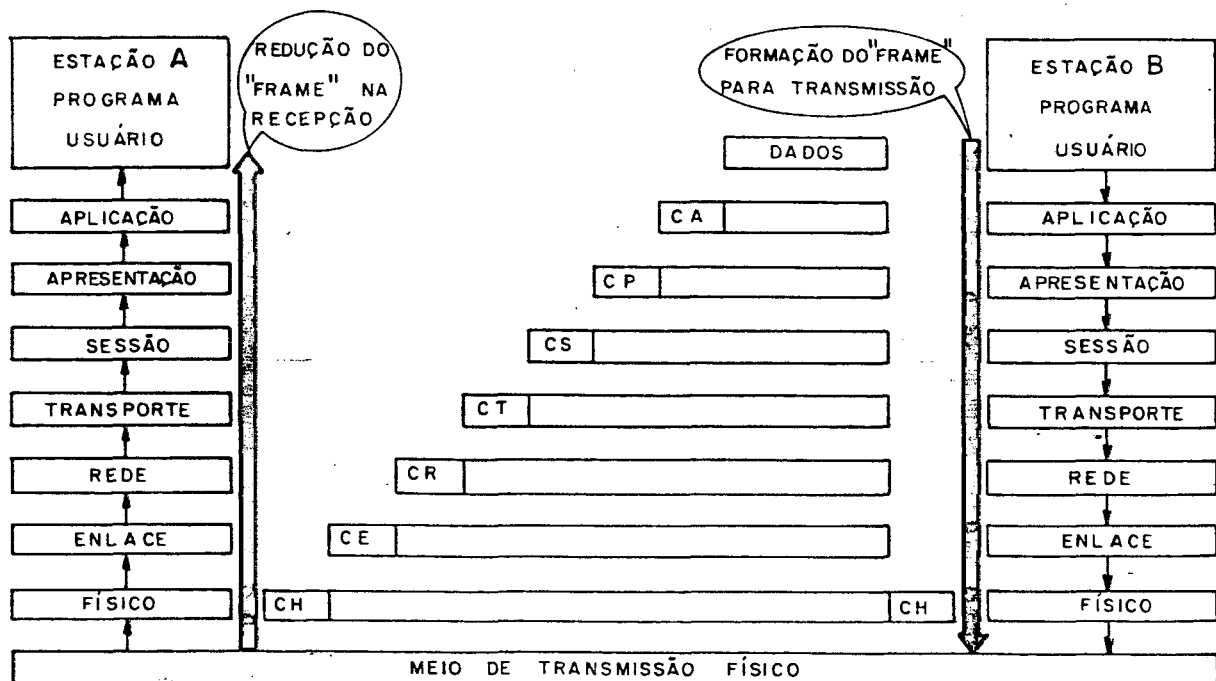


Fig. 1.6 - Envelopamento das mensagens no modelo ISO/OSI



aplicações próximas ao controle de processos, bem como a interligar unidades simples de entrada e saída de dados /36/.

- d) - o "IEEE" (Institute of Electrical and Electronics Engineers) iniciou em 1980 o projeto conhecido como "802", que definiu uma série de normas para as camadas 1 e 2 do modelo de referência OSI, e continua com atividades na definição de novos padrões para as mesmas camadas em diferentes aplicações como mostra a figura 1.7.
- e) - sentindo a necessidade de uma ação mais rápida e objetiva, a General Motors criou em 1980 um grupo de trabalho interno, que baseado nos padrões OSI/ISO especificou o protocolo MAP (Manufacturing Automation Protocol) /64,65,66,67/. Em abril de 1987 foi publicada a versão 3.0

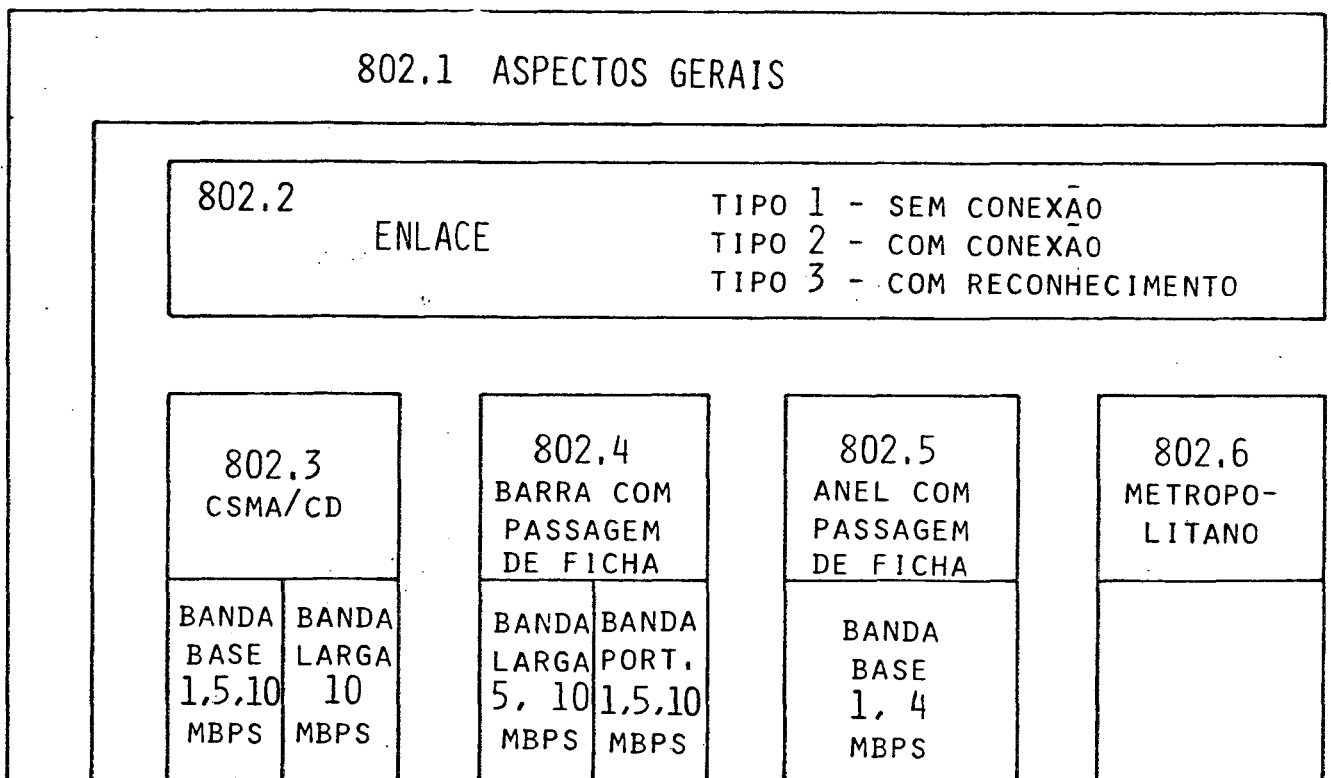


Fig. 1.7 - Especificações do comite IEEE 802

do MAP que deverá permanecer pelos próximos 6 anos para garantir a compatibilidade aos que optarem por esta versão. Esta iniciativa teve uma repercussão mundial mas ainda está sendo questionada pelos altos custos de cada estação /68,69/. A especificação MAP (fig. 1.8) usa como referência o modelo ISO/OSI para a definição dos diversos níveis da rede.

Para atender a necessidade de comunicação na área de engenharia de uma empresa (fig. 1.4), MAP especifica um sistema físico com banda portadora e um sistema em banda larga, este para integrar serviços de vídeo e áudio com uma ou mais redes, num mesmo meio de transmissão.

Para aplicações voltadas ao controle da manufatura com tempos críticos foi definida uma versão MAP/EPA (Enhanced Performance Architecture) para conseguir tempos de resposta menores e interligar segmentos MAP com MiniMap. A versão mais simplificada é conhecida como

ESPECIFICAÇÃO NÍVEL	TOP	MAP	MAP/EPA	MINI MAP
7 APLICAÇÃO	ACSE FTAM VTS	FTAM RS511	RS511	
6 APRESENTAÇÃO	ISO DIS 8822		NBS - TS1	
5 SESSÃO	ISO IS 8326 8327 (X 215)			
4 TRANSPORTE	ISO IS 8072 8073 (X 214)		CLASSE 4	
3 REDE	ISO IS 8473 (X 213)		SEM CONEXÃO	
2 ENLACE	LLC 802.2 TIPO 1 MAC 802.3	LLC 802.2 TIPO 1 E 3 MAC 802.4	LLC 802.2 TIPO 3 MAC 802.4	LLC 802.2 TIPO 3 MAC 802.4
1 FÍSICO	802.3 CSMA/CD BANDA BASE	802.4 TOKEN BANDA PORTADORA BANDA LARGA	802.4 TOKEN BANDA PORTADORA	

Fig. 1.8 - Especificação MAP versão 3.0

MiniMAP e implementa somente as camadas 1, 2 e 7 para conseguir um desempenho melhor em aplicações em tempo real (fig. 1.8). Para evitar os tempos gastos nos envelopamentos (overhead), das camadas 3 a 6 do modelo ISO/OSI, normalmente dispensáveis na automação da manufatura, tanto MiniMAP (fig. 1.8) quanto o PDVnet definem um sistema em que a camada de aplicação é colocada diretamente sobre a camada de enlace.

- f) - na França existe um projeto, iniciado em 1983, denominado FIP (Flux d'Informations Processus) para a definição de um "Fieldbus" /70,71/.
- g) - na Europa foi iniciado em 1987 o projeto EUREKA-FELDBUS com a participação de 17 empresas de 6 países (França, Alemanha, Itália, Noruega, Inglaterra e Finlândia) /72/.
- h) - com o patrocínio do Ministério de Ciência e Tecnologia da Alemanha (BMFT) e coordenado pelo Centro de Tecnologia da Associação de Engenheiros (VDI/VDE), diversas empresas alemãs estão desenvolvendo, desde 1987, o projeto do PROFIBUS (PROcess Field BUS) /37,64,73/.

Além da complementação existente entre redes locais (LAN) e redes de curta (SAN) e longa distância (WAN, CAN, MAN), diversas redes locais também possuem características complementares entre si, como ilustra a figura 1.9 /74/. MAP se destina principalmente a interligar as unidades dos níveis superiores (3,4 e 5) de uma estrutura empresarial, enquanto que as aplicações típicas do PDVnet e Fieldbus são nos níveis mais próximos ao processo /65/.

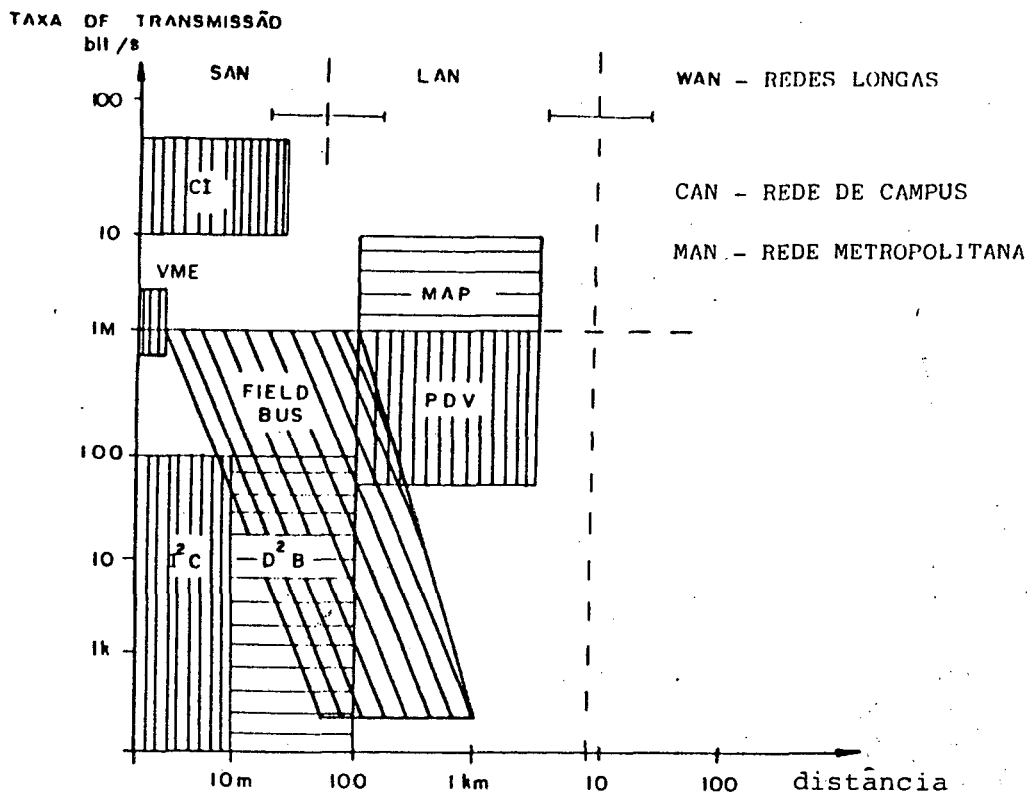


Fig. 1.9 - Sistemas de transmissão seriais

#### 1.4 PROPOSTA DE TRABALHO

A integração de unidades computadorizadas para a automação de um sistema de manufatura exige uma rede local para a interligação das unidades de produção, estações de controle e unidades de entrada/saída de dados com uma estação de supervisão.

As máquinas com CNC são as unidades de produção que prioritariamente devem ser interligadas com as estações de supervisão por meio de redes locais. As unidades com CNC tradicionalmente construídas com entradas de programas via leitora de fita perfurada atualmente já apresentam uma opção de entrada/saída de programas e dados via interface serial. Para a sua integração em sistemas flexíveis de manufatura por meio de redes locais é necessário uma profunda alteração nos modos de entradas/saídas de programas

e dados (dados de ferramentas, dados de máquina, estados da máquina) cujas opções deverão ser analisadas.

Para conseguir isolação elétrica e imunidade a interferências eletromagnéticas as fibras ópticas tem sido utilizadas como ligações ponto a ponto em diversas aplicações industriais. Pretende-se avaliar a sua utilização como elemento de transmissão em redes locais para aplicações industriais.

Na escolha de uma rede local para sistemas de automação da manufatura é necessário que sejam analisadas diversas características da rede local e da aplicação específica. Será proposta uma metodologia para fazer esta avaliação.

Para as fases de instalação, expansão e de diagnóstico de falhas em uma rede local usada na automação industrial é necessário uma estação de diagnóstico para agilizar a identificação de falhas nas operações das estações da rede e do sistema usuário, ao passo que na fase de operação normal da rede uma estação de avaliação de desempenho fornece informações estatísticas sobre a real utilização da rede.

Na Alemanha foi desenvolvido, e normalizado, um sistema de transmissão de dados /36/ para aplicações na automação a nível de controle de processos. Pretende-se avaliar e promover a adequação deste sistema para a automação da manufatura. Concretizando-se esta adequação, a aplicabilidade racional significa um maior campo para a rede PDVnet, o que se reflete numa ampliação do mercado e conseqüentemente numa redução de custos.

Visando estes objetivos o trabalho de tese proposto /75/ tem como metas específicas:

- analisar a utilização de fibras ópticas como meio físico em redes locais para aplicações industriais;

- estabelecer formas de integração de unidades com CNC ao ambiente de redes locais para a automação da manufatura;
- estabelecer uma metodologia para fazer uma análise da adequação de redes locais para a automação da manufatura;
- estabelecer uma metodologia para a avaliação de desempenho e diagnóstico de falhas em redes locais para a automação industrial;
- adequar a rede PDVnet disponível para aplicações na automação da manufatura.

As seguintes condições foram predominantes na definição deste objetivo:

- cooperação existente entre a UFSC-EMC e a RWTH-WZL;
- trabalhos existentes para a normalização do sistema de transmissão de dados PDVnet;
- aceitação Européia do sistema;
- previsão do lançamento de um circuito integrado com a função de controlador de enlace;
- previsão de um baixo custo por estação.

A viabilização e operacionalização do sistema experimental proposto com base numa rede PDVnet, foi obtida através do programa de cooperação entre o Laboratório de Máquinas-Ferramenta (WZL) da Universidade Técnica de Aachen e o Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.

## 2. O SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS PDVNET

Um amplo programa de desenvolvimento /76,77,78,79/ realizado na Alemanha, de 1972 a 1981, em controle de processos por meio de computador, deu também início à definição e estruturação de um sistema de transmissão de dados para controle de processos. Em 1978, um dos 20 grupos de trabalho que participaram deste programa publicou o projeto do sistema de transmissão de dados "PDVnet", /79/. A sigla provém do nome do programa "Prozesslenkung mit DatenVerarbeitungsanlagen" (controle de processos com sistemas de processamento de dados). A partir da referida publicação, uma comissão formada pelo órgão de normalização da Republica Federal da Alemanha elaborou a norma DIN 19241 /36/.

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DEFINIDAS PELA NORMA DIN 19241

Esta norma atualmente consta de três partes /36/. A primeira especifica as características físicas e elétricas da Interface Serial Digital (ISD) (fig. 2.1). A segunda parte especifica as estruturas das mensagens e os elementos do protocolo de transmissão. A terceira parte define o controle do meio de transmissão e a troca de mensagens num sistema centralizado.

A parte fundamental deste sistema é o Controlador de Interface (CIF), ao qual podem ser acoplados elementos/meios de transmissão (fibra óptica, cabo coaxial, par trançado, etc) e interfaces do usuário (serial, paralela, etc) para atender às aplicações específicas do usuário, conforme mostra a figura 2.1.

Neste item descreve-se as características do sistema de transmissão de dados PDVnet necessárias ao entendimento dos capítulos seguintes.

### 2.1.1 Características gerais

As principais características do sistema de transmissão de dados PDVnet são:

- aplicação: industrial (próxima ao processo);
- acesso ao meio físico: controlado por uma estação mestre;
- endereçamento: até 255 estações com 256 subendereços;
- tamanho das mensagens: 2 ou 4 byte e blocos de 2 a 256 byte;
- sem tratamento de erro;
- CRC: de 1 byte (a cada informação de 2 byte segue um CRC);
- meio de transmissão: não especificado (típico: cabo coaxial);
- velocidade de transmissão: de 50 kbit/s até 1 Mbit/s;
- distância de transmissão: até 3 km;

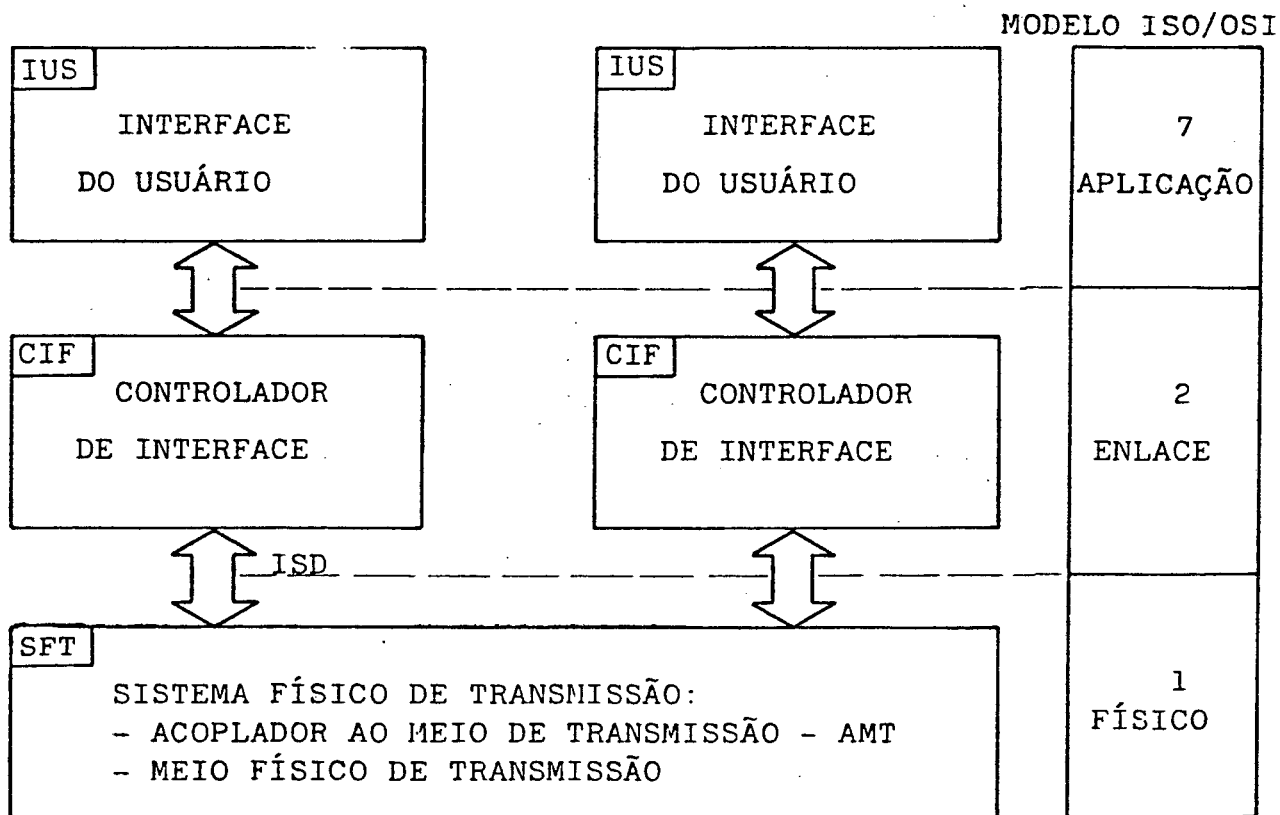


Fig.2:1 - Estrutura do sistema de transmissão de dados PDVnet



- isolação Indutiva com transformador de pulso;
- com reconhecimento imediato;
- ISD (Interface Serial Digital) normalizada;
- diversos tipos de estações;
- operações especiais (leitura e escrita direta, mensagem curta, etc. ).

TIPO DE MENSAGEM	FORMATO NA ISD
MENSAGEM DE COMANDO	EFS
MENSAGEM COM 2 BYTE DE DADOS	EFS DDS
MENSAGEM COM 4 BYTE DE DADOS	EFS DDS DDS
MENSAGEM COM NÚMERO VARIÁVEL DE DADOS (BLOCO)	EFS F <sub>1</sub> F <sub>2</sub> S DDS... DDS
MENSAGEM CÍCLICA CURTA	E
CODIFICAÇÃO: E - ENDEREÇO DA ESTAÇÃO FONTE OU DESTINO F - TIPO DE MENSAGEM S - SEGURANÇA - CRC D - DADOS (NÚMEROS, CARACTERES, ETC.) F <sub>1</sub> - NÚMERO DE BYTE DO BLOCO (ATÉ 256) F <sub>2</sub> - SUBENDEREÇO	

Fig. 2.2 - Formato das mensagens no protocolo de transmissão PDVnet

### 2.1.2 Estrutura das mensagens

Os campos que contêm as informações em cada mensagem são formados por 8 bit (byte), que são codificados e denominados de acordo com seu conteúdo conforme mostra a figura 2.2.

As mensagens são compostas de blocos com 3 byte, que possuem 2 byte de

informação e um byte de segurança. Este byte de segurança é um código de redundância cíclica (CRC).

Para as comunicações que transferem um número elevado de dados, foi definida uma mensagem do tipo bloco que pode transferir até 256 byte (além dos byte de CRC). Para muitas aplicações na automação, que necessitam apenas da transferência de alguns dados, foram definidas duas mensagens que transmitem 2 e 4 byte de dados. A mensagem de comando é utilizada para controlar as operações na rede em que não há transferência de dados.

### 2.1.3 Protocolo de transmissão

As mensagens são trocadas em forma de chamada e resposta, (fig. 2.3). A cada chamada corresponde uma resposta, com exceção das operações especiais descritas a seguir. Se num intervalo de tempo pré-determinado não houver uma resposta, a chamada é repetida.

Para a realização de chamadas a outras estações foram definidas 4 operações especiais que não seguem o ciclo normal (fig. 2.3) de mensagens definido anteriormente. São elas:

- a) chamada geral - A chamada geral (difusão) é dirigida a todas as estações e não possui resposta. Ela é identificada pelo endereço de chamada geral.
- b) conversação paralela - A conversação paralela possibilita a troca de informações entre duas estações sem a intermediação da estação central. Uma estação pode solicitar autorização para uma conversação paralela ou a estação central pode conceder esta permissão no ciclo normal da rede.
- c) transferência da função de controle - A transferência da função de controle só pôde ser feita para uma estação com a função de controle implementada. Esta transferência pode se dar de duas formas:

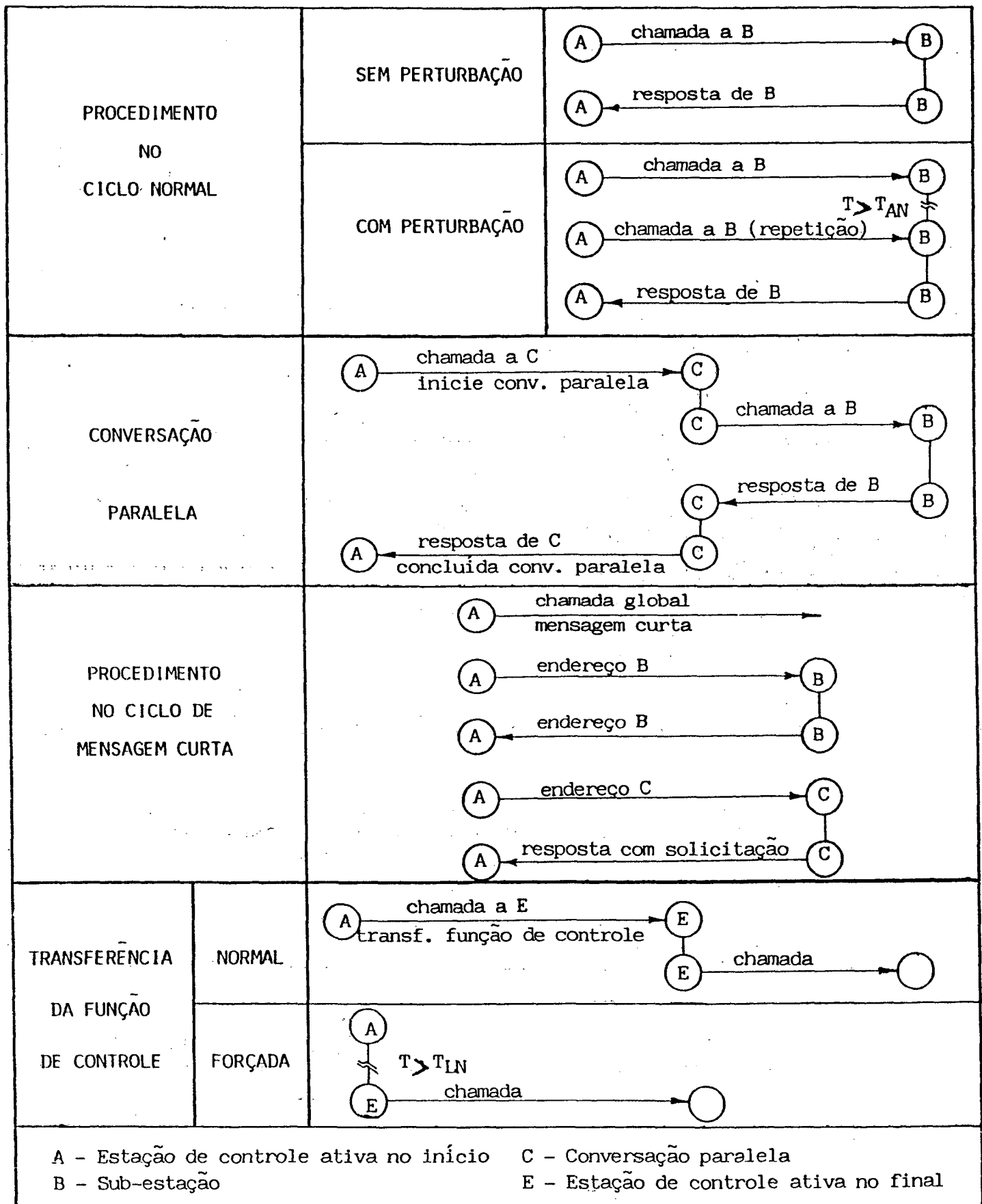


Fig.2.3 - Mecanismos de comunicação do protocolo PDVnet

- por delegação da estação central ativa: A estação central pode ativar uma estação central passiva fazendo com que esta passe a desempenhar a função de controle através de uma mensagem com a função TFC (transfere função de controle).
- automático : Cada estação com função de controle passiva possui uma função de supervisão que faz com que a estação assuma o controle após um determinado tempo de inatividade da rede.

d) ciclo curto - O ciclo curto foi previsto para casos de emergência (tratamento rápido de solicitações das estações). O início desta operação é comunicado a todas as estações com uma chamada geral com código de controle de início de ciclo curto. Após esta chamada geral, a estação central só envia o endereço da estação, sem byte de segurança. Se a estação não possui solicitação, ela responde só com o endereço e nos demais casos, com uma resposta que contenha a sua solicitação (fig. 2.3).

#### 2.1.4 Funções implementadas e o tipo de estação

O sistema PDVnet define os seguinte tipos de funções:

##### a) funções de transmissão e recepção

Estas duas funções são as mais próximas do nível físico e fazem a transmissão, recepção e a inserção e decodificação do byte de segurança.

##### b) funções do protocolo

As funções normais do protocolo são codificadas no campo "F" das mensagens e são classificadas segundo sua finalidade em:

- funções normais de controle de transmissão;
- funções normais de transferência de dados;
- funções normais de reação a chamadas.

c) funções implantadas nas estações

Com base nas funções normais do protocolo são definidas diversas

funções das estações entre as quais:

- (HOE) ESC - escutar mensagens destinadas à própria estação;
- (ANT) RSP - responder;
- (AUF) CHG - chamar;
- (ASP) BLS - bloquear solicitação;
- (BBS) COS - confirmar solicitação;
- (BZW) RES - recusar solicitação.

O número e o tipo de funções implementadas numa estação caracterizam a sua finalidade. A combinação de diversos tipos de funções implementadas gera diversos tipos de estações.

Nas figura 2.4 (a e b) estão representados os principais tipos de estações, que são classificadas de acordo com as funções existentes,

em:

- a) Monitora (M): só recebe informações e não toma parte na troca de informações.
- b) Estação com Conversação Paralela (ECP): Estas podem receber temporariamente o controle da rede para enviar mensagens a outras estações.
- c) Estação da Rede sem conversação paralela (ER): Podem enviar e receber mensagem da estação central
- d) Estação de Controle (EC): Faz somente o controle da rede sem processar as informações (fig. 2.4(d)).
- e) Estação Central da Rede (ECR): Faz o controle da rede e troca informações com qualquer estação da rede (fig. 2.4(c)).

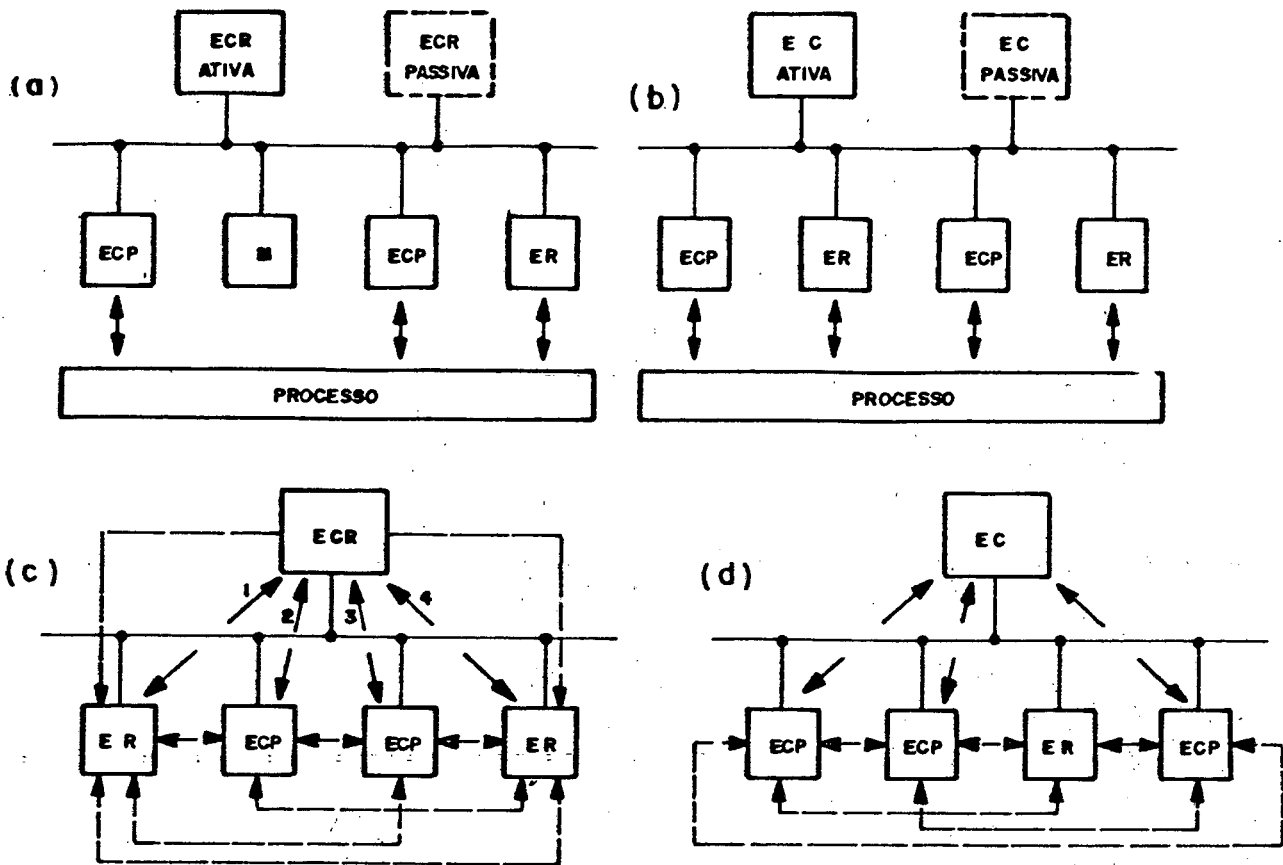


Fig.2.4 - Tipos de estações e controle de uma rede PDVnet

### 2.1.5 Detecção e recuperação de erros

Para garantir a segurança dos dados que são transmitidos existe um sistema de detecção de erros que é feito em dois níveis:

#### a) Detecção de erros a nível físico

O acoplador ao meio de transmissão (AMT) controla os sinais recebidos do meio físico e informa ao controlador de interface sobre a qualidade dos sinais. O AMT evita que a estação transmita continuamente (Watchdog). Ele controla o tempo de transmissão e interrompe caso este

ultrapasse o valor máximo permitido.

#### b) Detecção de erros a nível de protocolo

A nível de protocolo não há recuperação (ou recobrimento) de erros, estes apenas são detectados por meio de uma redundância com codificação CRC inserida na mensagem (1 byte). Toda mensagem que contiver um CRC errôneo é declarada inválida e não é quitada. Para cada 2 byte de dados é inserido um byte de CRC. Isto gera uma distância de Hamming de 4, /52,80/ e significa que o código CRC neste caso detecta todos os erros com menos de 4 bit alterados. As mensagens que tiverem um número ímpar de bits alterados na transmissão também são detectadas em sua totalidade /50/.

Após o envio de uma mensagem, a estação espera um determinado tempo para receber a resposta correspondente e caso isto não aconteça, a mensagem é repetida. Os tempos definidos no protocolo são:

- TAB - tempo para resposta de leitura de estado, e ciclo curto;
- TAN - tempo para resposta de solicitação;
- TQV - tempo para conversação paralela;
- TLN - tempo após chamada ou resposta até uma nova chamada.

Os tempos são escalonados de forma a não criar conflitos pela transmissão simultânea de várias estações e devem manter a seguinte relação entre si:

$$TAB < TAN < TQV < TLN$$

#### 2.1.6 Modo de endereçamento

Na chamada o endereço (E) representa a estação à qual se destina a mensagem, e na resposta, representa a origem da mensagem. Existe um

endereço global pelo qual são endereçadas todas as estações (difusão).

Se o campo E (endereço) não for suficiente para endereçar todos os sistemas ou equipamentos ligados nas estações pode-se utilizar parte dos campos F e D (fig. 2.2) para um endereçamento mais detalhado. Desta forma o campo F2, numa mensagem com comprimento variável, pode conter um subendereço ou um índice para endereçamento de subsistemas.

Para as operações de leitura direta e escrita direta nas chamadas, os campos D1 e D2 representam um endereço de 16 bits da estação endereçada pelo campo E. Na função leitura direta de bloco os campos D3 e D4 indicam o número de byte a serem lidos a partir do endereço especificado por D1 e D2.

## 2.2 O SISTEMA "PDVnet" UTILIZADO

### 2.2.1 Características gerais

O sistema PDVnet utilizado para desenvolver as implementações e realizar os testes foi desenvolvido pelo WZL /81/. No seu desenvolvimento foram adotadas as seguintes diretrizes:

- implantação de acordo com a norma DIN 19241;
- disponibilidade física da interface serial digital (ISD) definida pela norma;
- estrutura modular do hardware;
- custos reduzidos para interligar estações simples;
- aplicações junto ao processo (chão de fábrica);
- permitir ligação direta com o processo;
- estações com condições de controlar processos simples;
- possibilidade de implantação de software aplicativo;
- aplicação em sistemas com controle centralizado e descentralizado.



### 2.2.2 Hardware e software do sistema

A inexistência de um circuito integrado que implementasse o protocolo de transmissão forçou a realização do controle do protocolo por meio de software. Como elemento central foi utilizado um microprocessador 6809 da Motorola. Este controle do protocolo por software limitou a máxima taxa de transmissão no meio físico em 200 kbit/s.

Pela simples troca de uma memória (EPROM do sistema), o hardware único, tem condições de formar diversos tipos de estações e também permite a instalação de software específico do usuário (EPROM do usuário) /81/.

A disponibilidade de uma ISD possibilita a interligação com outros sistemas baseados na mesma norma, e o acoplamento de diversos meios de transmissão.

### 2.2.3 Interfaces do usuário

As estações da rede podem atuar diretamente sobre entradas e saídas de dados, fazer o controle de processos simples ou implementar um protocolo de comunicação com o dispositivo usuário (fig 2.5).

Cada estação dispõe de uma interface paralela que pode ser utilizada para diversas aplicações. Existe ainda a possibilidade de anexar interfaces específicas como mostra a figura 2.6. A interface mais utilizada é a serial, mas também podem ser acoplados outros tipos como:

- IEEE 488 ou GPIB;
- entradas e saídas analógicas ou digitais.

### 2.2.4 Software aplicativo

O software aplicativo é específico para cada estação, e é dedicado ao controle das interfaces do usuário. O microprocessador que controla a estação da rede também pode realizar o controle de processos simples. Este software está implantado em uma memória EPROM, permitindo a sua alteração independente do software do protocolo de transmissão. Este software aplicativo pode implantar protocolos de comunicação para interligar estações da rede com unidades do usuário como descrito em 3.3.2.

#### 2.2.5 Integração de controles simples nas próprias estações da rede

A disponibilidade da unidade central de processamento (CPU) do CIF para fazer o processamento juntamente com a possibilidade de acoplar interfaces específicas aos nós das estações da rede PDVnet, aqui descrita, permite que transdutores, atuadores e controles simples sejam integrados nas próprias estações da rede. A seguir serão exemplificadas algumas aplicações voltadas para a automação da manufatura. As interfaces específicas necessárias para tais aplicações são:

- interface com conversores análogo/digitais para monitoração de grandezas através de transdutores que fornecem uma tensão analógica proporcional;
- interface com entradas e saídas digitais.

O software do usuário que gerencia o controle destas interfaces pode ter as seguintes características:

- ser carregado a partir do computador central (CC);
- ser gerado por meio de um interpretador residente na estação;
- estar implementado em funções de controle na estação.

No carregamento de programas a partir do computador central (CC) são enviados programas em linguagem de máquina executáveis na estação. A sua

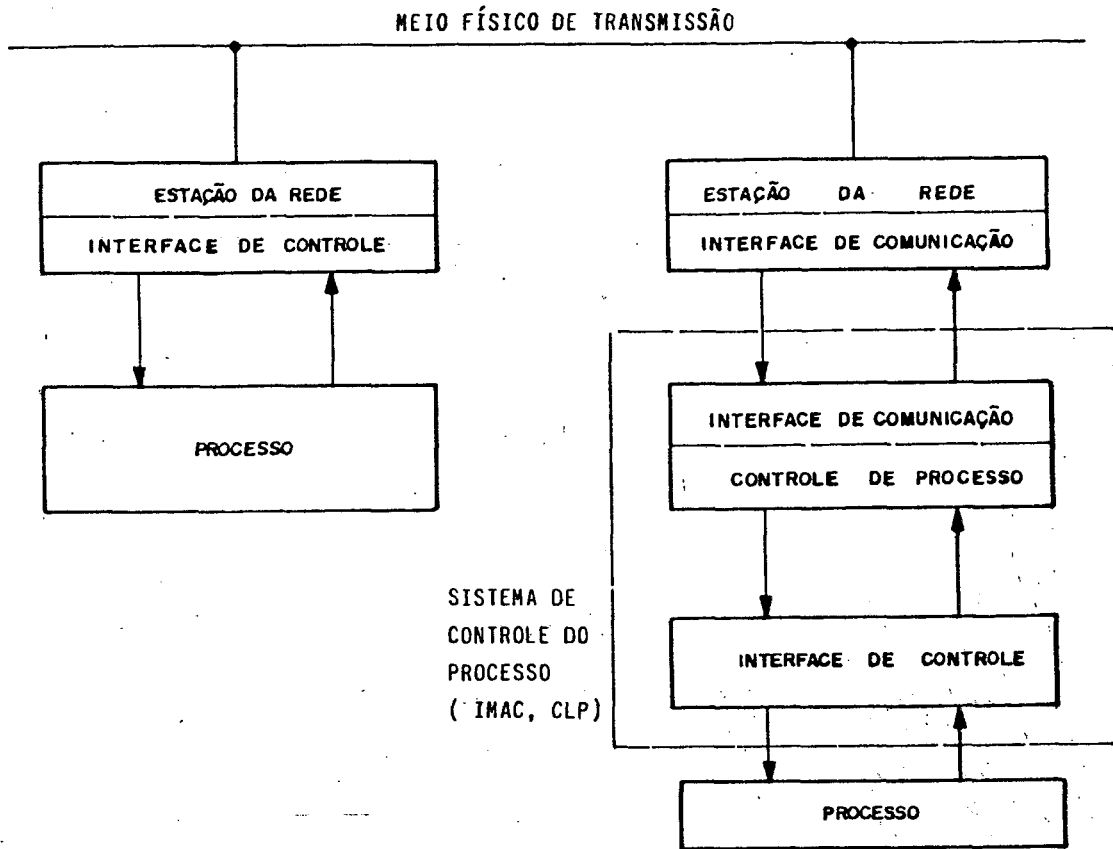


Fig. 2.5 - Modos de interligação entre a rede e o processo

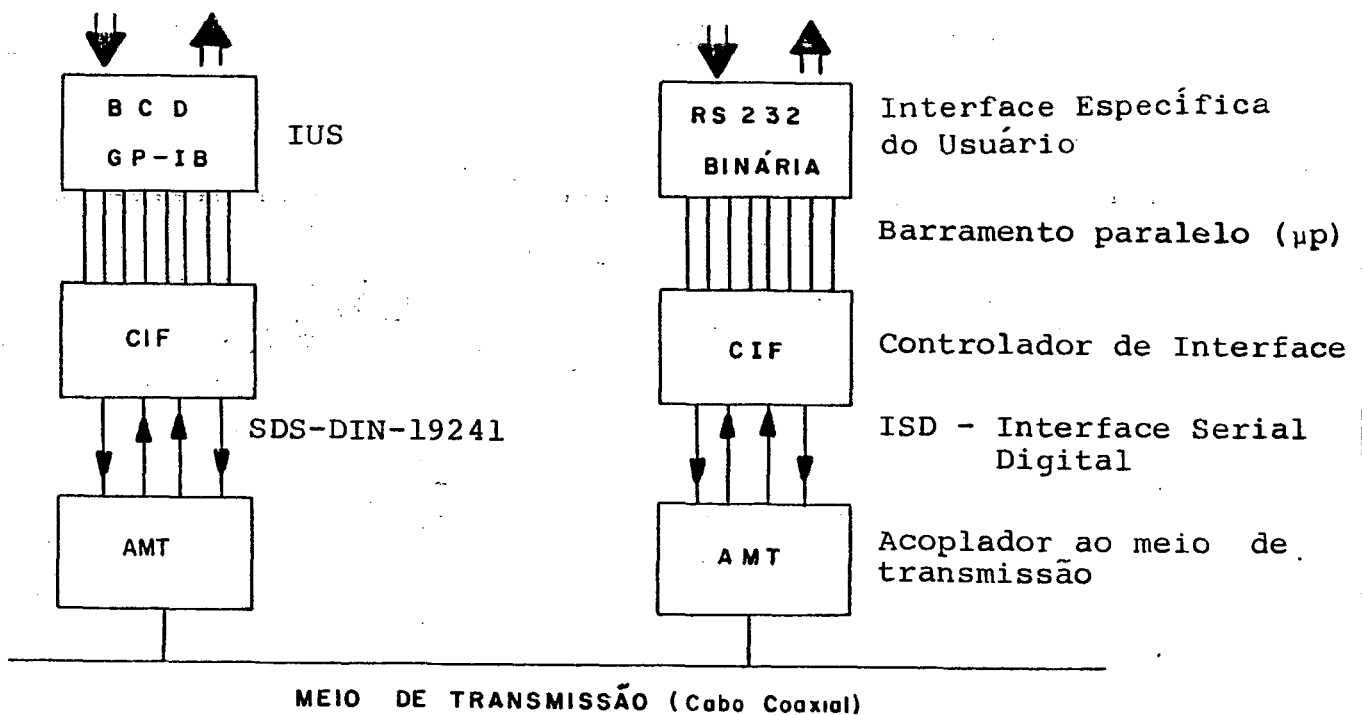


Fig. 2.6 - Estrutura de uma estação com interfaces específicas

inicialização pode ser automática com o término da transferência ou controlada pelo computador central (CC).

Um interpretador residente na estação da rede permite o envio de códigos de comando. Estes códigos são definidos na própria implementação do interpretador.

As funções de controle podem ser colocadas em módulos residentes nas estações (em EPROM) e podem ser ativadas ou controladas por meio de tabelas de parâmetros, que podem ser acessados localmente ou a partir do CC. Como exemplos típicos de utilização de entradas digitais na automação da manufatura podem ser citados:

- monitoração do estado de sensores do tipo liga/desliga;
- detecção de presença, ou não, de peças;
- informações para sincronização de um sistema de transporte;
- detecção de passagem/chegada de peças/estrados num sistema de transporte;
- monitoração de um sistema de segurança;
- leitura de instrumentos digitais.

As saídas digitais também tem diversas aplicações na automação da manufatura, as mais comuns estão:

- controle de mecanismos de segurança;
- acionamento de sistemas de transporte;
- acionadores de um sistema de alimentação automático;
- acionamento de sistema de limpeza, sinalização, ou atuadores.

A figura 2.7 apresenta o esquema de um conjunto de transdutores/atuadores que podem ser monitorados/controlados pela própria estação da rede PDVnet por meio de saídas/entradas analógicas ou digitais.

Para a automação da manufatura, onde a coleta de dados e a

necessidade de controles simples é freqüente, a possibilidade de integração destas funções na própria estação da rede é de grande utilidade, pois a própria estação da rede passa a operar como coletor de dados ou unidade de controle, reduzindo sensivelmente os custos.

Como exemplo de utilização de uma estação junto a uma máquina-ferramenta podem ser citadas as seguintes operações:

- transmissão e recepção de programas por meio de uma interface serial;
- coleta de dados de produção por meio de um terminal de vídeo conectado a outra interface serial da estação;
- monitoração de alarmes e status da máquina por meio de interfaces específicas;
- monitoração de temperatura, e outras grandezas, por meio de software

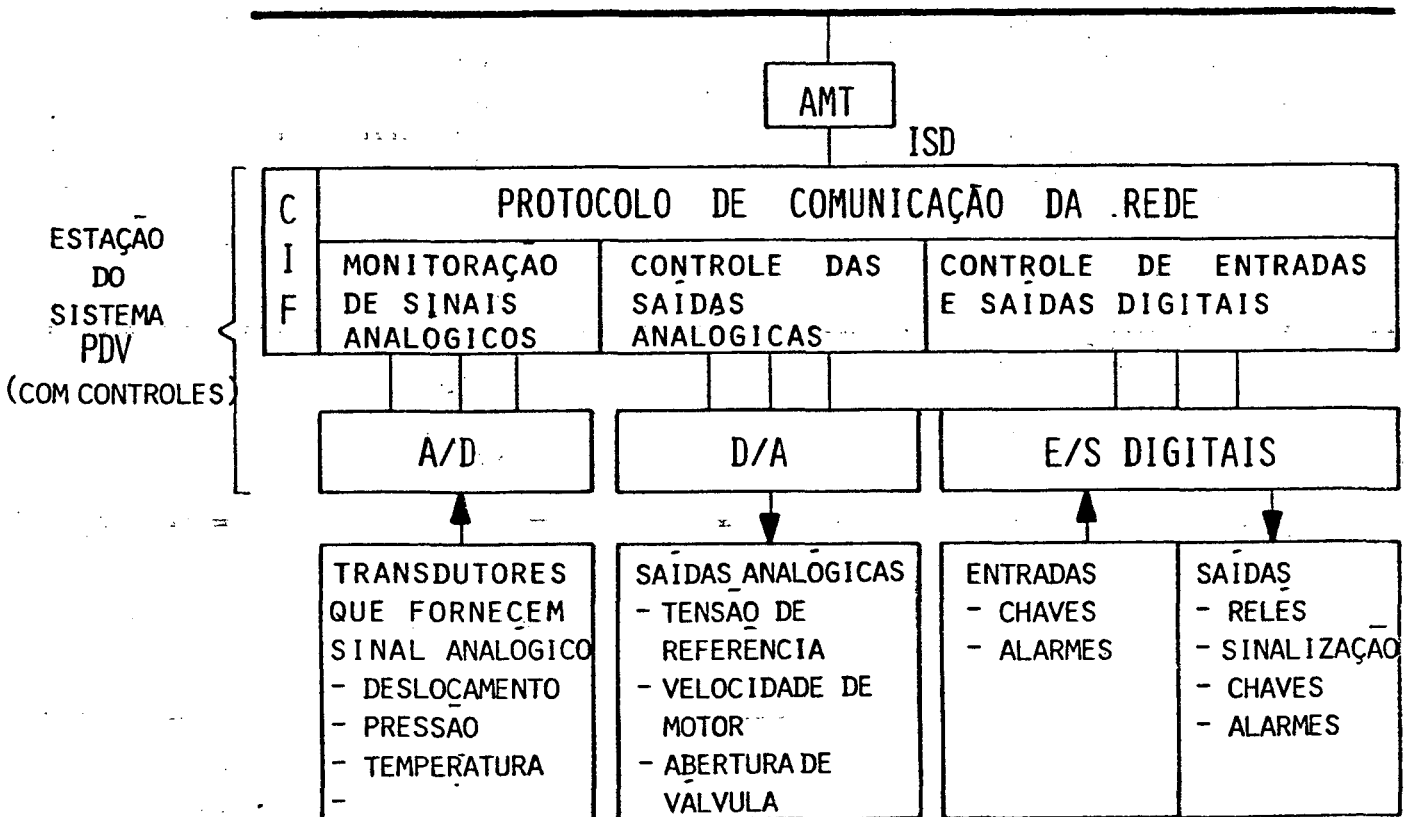


Fig. 2.7 - Integração de controles simples nas estações da rede

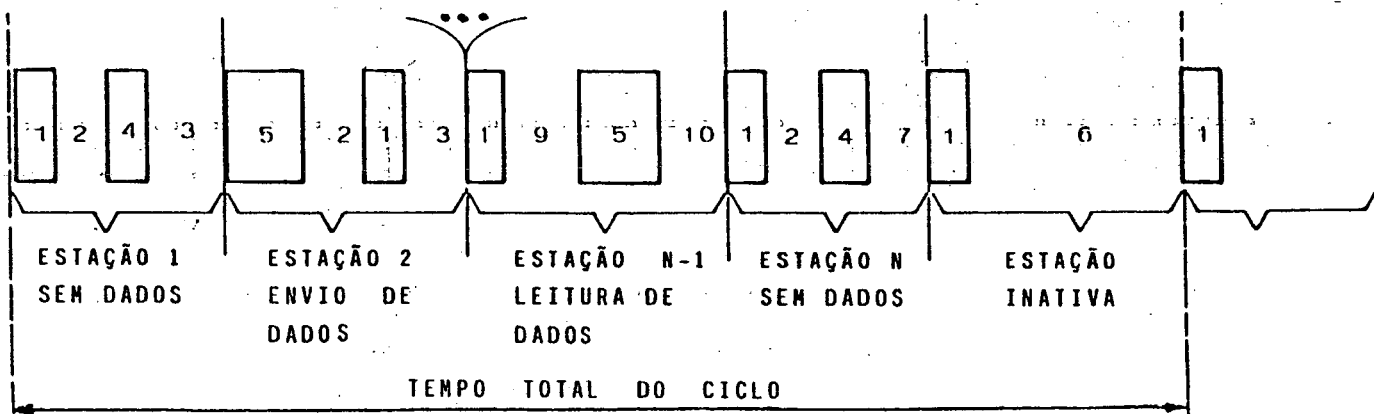
implantado no CIF para que valores fora da faixa de operação especificada sejam enviados para a central como sinais de alarme.

## 2.3 TESTES PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

O desempenho de uma rede local PDVnet pode ser caracterizado por alguns fatores básicos como o ciclo da rede, o tempo para a transmissão de mensagens e o tempo para a transmissão de programas, os quais serão analisados a seguir.

### 2.3.1 Ciclo da rede

O controle de acesso ao meio de transmissão, feito por uma estação



#### DESCRIÇÃO CÓDIGOS/VARIÁVEIS:

- 1 - TCHA - tempo da chamada ou resposta (EFS)
- 2 - TREA - tempo de reação da estação chamada;
- 3 - TPRO - tempo de processamento;
- 4 - TRES - tempo da resposta sem dados (EFS);
- 5 - TRED - tempo de resposta ou chamada com dados;
- 6 - TLAT - tempo de latência;
- 7 - TFCI - tempo de atualização da tabela do sistema no fim do ciclo;
- 8 - TPRE - tempo de envio do preâmbulo;
- 9 - TPRE - tempo de preparação de resposta com dados;
- 10 - TPDA - tempo de processamento dos dados.

Fig. 2.8 - Seqüência de mensagens e tempos durante um ciclo da rede

central, por meio de chamadas e respostas (polling) /49/ ou pelo método de passagem de ficha /39/, caracteriza um sistema de controle com a existência de um ciclo. Este ciclo da rede é o tempo decorrido entre duas oportunidades sucessivas de transmissão.

Na figura 2.8 estão representados os principais fatores e tempos determinantes deste ciclo na rede PDVnet. O ciclo, evidentemente, depende do número de estações ativas e inativas, bem como, do tráfego de informações existente na rede.

A relação entre o ciclo da rede, o número de estações, o tráfego na rede e a taxa de transmissão no meio físico está representada na figura 2.9. Para o cálculo destes valores foi considerado que o número máximo de estações era igual ao número de estações ativas (não havia latência como

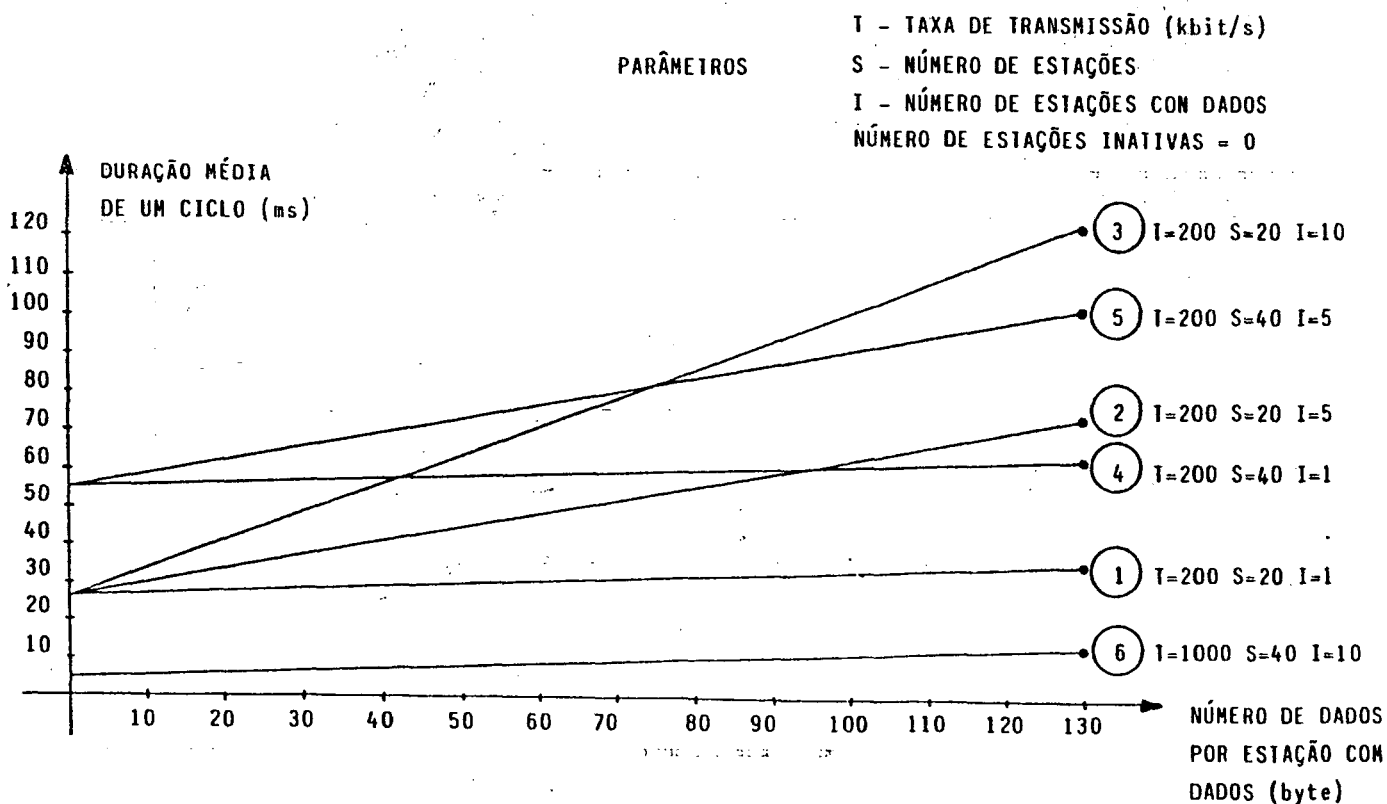


Fig. 2.9 - Ciclo da rede em função do número de estações, tráfego na rede e taxa de transmissão

consequência de chamadas a estações inativas). A curva "6" com taxa de transmissão de 1Mbit/s foi obtida considerando-se tempos (tempo de reação das estações de 5 us !) citados na bibliografia /50/.

Para o cálculo das demais curvas foram utilizados valores medidos nas estações da rede utilizada. O grande aumento no ciclo da rede com o aumento do número de dados se deve, principalmente, ao tempo gasto na transmissão com "handshake" entre a ECR e o CC. Na figura 2.10 estão representados os valores do ciclo da rede medidos com diversas configurações. O número máximo de estações disponíveis limitou este levantamento em sete estações ativas. Para um número de estações ativas inferior a seis o período de latência é maior que o tempo de gerenciamento da comunicação com as estações ativas. Este tempo de latência pode ser evitado quando todas as

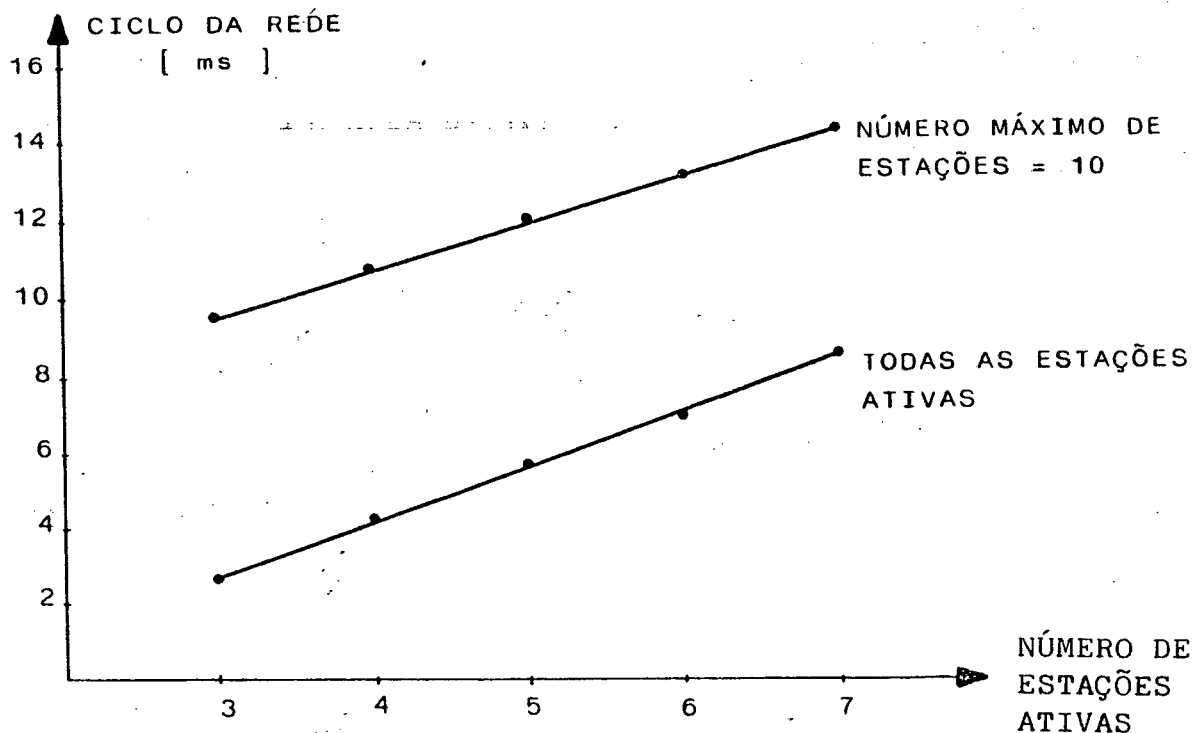


Fig. 2.10 - Influência do tempo de latência com um número reduzido de estações



estações estão ativas e se na inicialização da ECR for alterado o número máximo de estações (de 100 para o número real existente no sistema). Uma alteração no tipo de tratamento dado às estações inativas poderia diminuir a influência deste tempo na medida em que for feito uma chamada a alguma inativa após um determinado número de ciclos. Na figura 2.11 pode ser vista a seqüência de troca de informações de gerenciamento com 4 estações ativas respondendo às chamadas e o tempo de latência após a chamada à uma estação desligada (offline). Neste caso, a latência é maior que o tempo de chamada e resposta às 4 estações.

### 2.3.2 Tempo de transmissão de programas (upload e download)

Uma das necessidades mais comuns de comunicação na automação da manufatura é o envio/recepção de programas para CNCs. Foram feitos diversos ensaios para determinar o tempo necessário para a transmissão de programas, de diversos tamanhos e sob diversas condições, entre o computador central e uma estação da rede. Como a rede possui um comportamento cíclico e determinístico, o aumento de carga na rede, no tamanho dos programas transmitidos ou no número de estações, é proporcional a este incremento.

Na figura 2.12 estão representados os tempos necessários para fazer a carga e descarga de programas (upload e download). Neste caso também pode ser visto a enorme influência do tempo de latência. Com apenas uma estação inativa ou com 50 estações inativas o acréscimo de tempo é praticamente o mesmo. Se houver só uma estação inativa esta é tratada praticamente como uma estação ativa, pois após a chamada a todas as estações ativas é chamada a única estação inativa existente. Os tempos consideram a inicialização, transmissão propriamente dita e a conclusão entre a estação da rede e o computador central. Falta portanto acrescentar o tempo de leitura ou

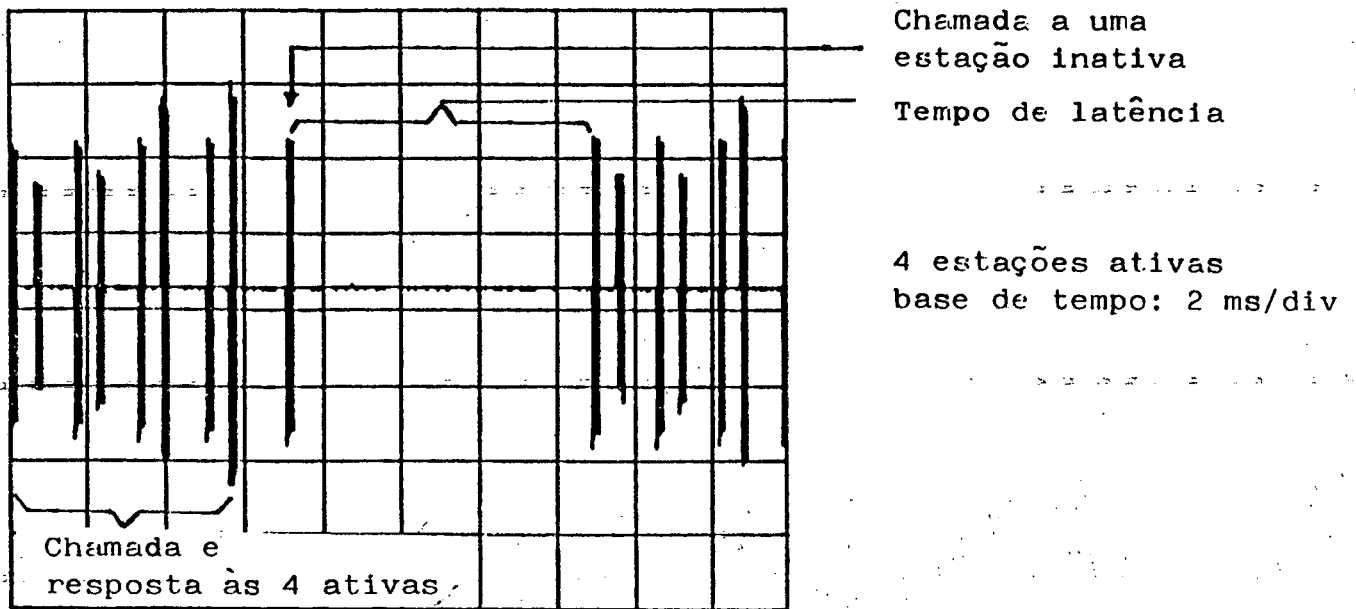


Fig. 2.11 - Seqüência de troca de informações de gerenciamento e tempos de reação das estações

gravação dos arquivos e o tempo necessário ao operador para transferir o programa da estação da rede para o CNC. Os tempos de leitura e gravação de arquivos não foram incluídos, pois há uma dependência muito grande do tipo e configuração de computador central utilizado (PC-XT/AT, 4 ou 8 MHz) e também do tipo de memória utilizada (disquete ou disco rígido). Utilizando um PC-XT 4,77 MHz o tempo para download aumenta de 438 ms para 3077 ms se for incluído o tempo de acesso ao disquete. No caso do "upload", o tempo passou de 1385 ms para 11457 ms. O tempo de acesso a disco flexível é relativamente grande e para a maioria das aplicações se torna necessário a instalação de um computador com disco rígido, que possui um tempo de acesso bem menor, além da grande capacidade de armazenamento. O aumento significativo no tempo de leitura de um programa de uma estação da rede (upload) com 7 estações ativas e o número máximo de estações igual a 8, em relação a um sistema com o número máximo de estações igual a 7 e todas

ativas, se deve principalmente ao tempo de latência introduzido no ciclo da rede pela estação inativa (fig. 2.10). Devido ao pequeno número de estações, esta diferença ( 71%) é bastante significativa. O aumento de 12% no tempo de "upload" com uma geração de tráfego de 5 byte é bastante influenciado pelo tempo de transmissão deste tráfego entre a ECR e o computador central.

Para levantar a causa desta diferença de comportamento foi realizado um teste em que foi feita a transmissão de mensagens de diferentes tamanhos

Condição: Programa: 1 kByte	UPLOAD		DOWNLOAD	
	tempo de transmissão [ms]	acrécimo	tempo de transmissão [ms]	acrécimo
Estações ativas 7 Número máximo 7 Tráfego ger. 0	1385		438	
Estações ativas 7 Número máximo 8 Tráfego ger. 0	2372	71%	498	14%
Estações ativas 7 Número máximo 50 Tráfego ger. 0	2519	82%	516	18%
Estações ativas 7 Número máximo 100 Tráfego gerado 0	2759	99%	527	20%
Estações ativas 7 Número máximo 7 Tráf. ger. 5 byte	1550	12%	695	58%
Estações ativas 7 Número máximo 7 Tráf. ger. 50 byte	1627	17%	748	71%
Estações ativas 7 Número máximo 7 Tráf. ger. 124 byte	1712	23%	850	94%

Fig. 2.12 - Tempo de transmissão de um programa entre o computador central e uma estação da rede sob diversas condições

sob diversas condições entre a ECR e o computador central. A figura 2.13 apresenta alguns resultados deste teste, onde pode ser visto que o tempo para escrever na ECR aumenta, de uma forma que pode ser considerada normal, com o aumento do número de dados escritos na ECR em ambas as condições mostradas.

Número de dados	Máximo de estações = 6		Máximo de estações = 100	
	Ler	Escrever	Ler	Escrever
1 byte	21 ms	21 ms	34 ms	25 ms
5	24	21	43	25
10	30	21	54	26
20	41	22	80	29
40	57	22	126	30
50	68	24	152	32
100	114	28	268	34
122	135	30	313	36

Fig. 2.13 - Tempos de leitura e escrita na estação central da rede

A leitura da ECR apresenta um aumento bastante maior que a escrita em todas as condições. As rotinas usadas, no computador central, para a leitura e escrita são as mesmas descartando assim a sua influência. A enorme diferença existente nas leituras da ECR com um número máximo de estações fixado em 6 e 100 permite concluir que esta diferença de comportamento se deve ao software existente na ECR. Uma análise detalhada deste software poderá levantar as causas e alterações para evitar esta disparidade.

### 2.3.3 Tempo de transmissão de mensagens

Além da transferência de programas, a automação da manufatura necessita de uma troca constante de informações da estação de supervisão com o processo através de transdutores e atuadores.

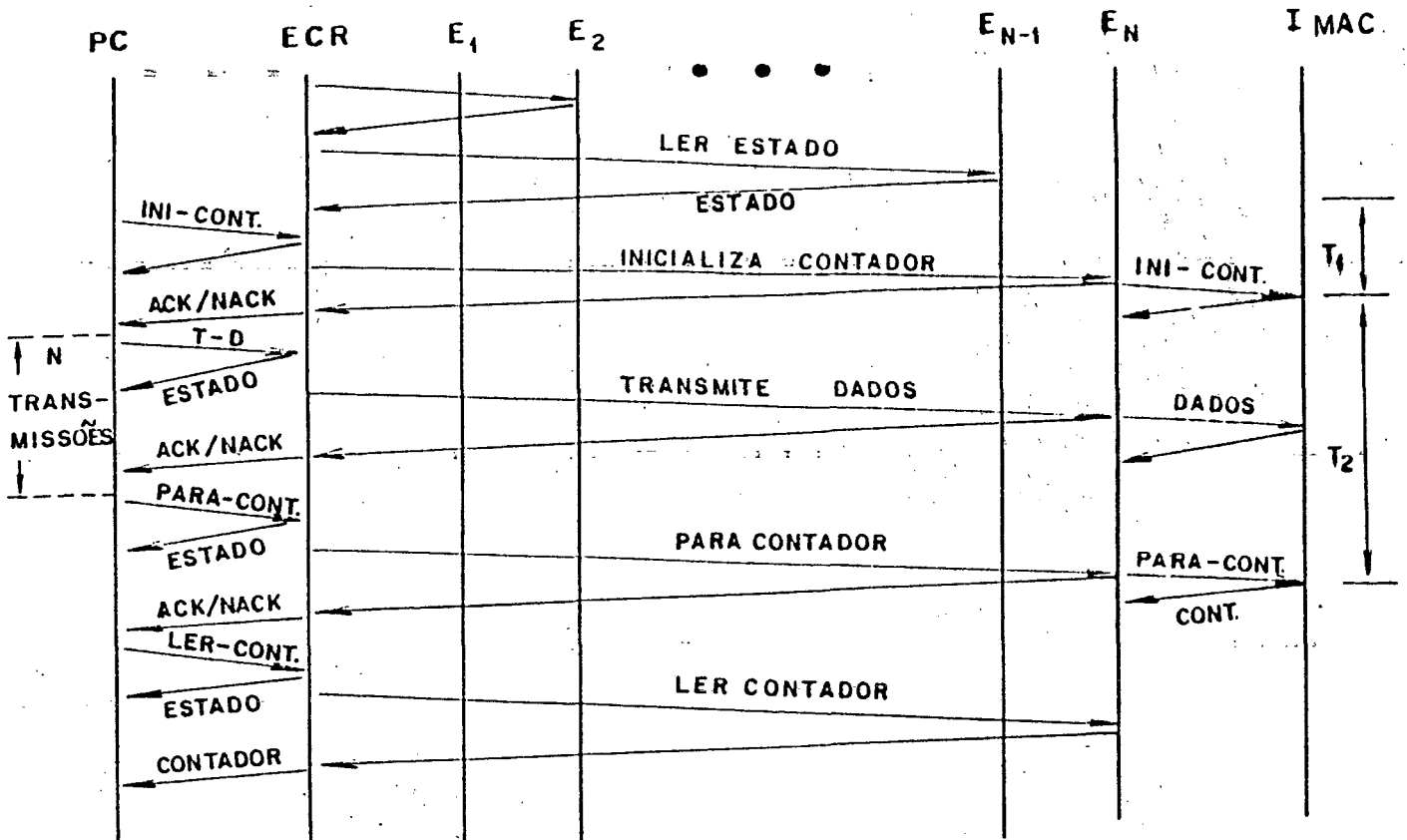


Fig. 2.14 - Determinação do tempo de transmissão de uma mensagem do computador central até um sistema usuário

Foi implementado um sistema de teste para avaliar o tempo necessário para uma atuação do computador central sobre um transdutor/sensor ligado num sistema com controle independente (fig. 2.5) e interligado com uma estação da rede.

O ciclo da rede é variável, conforme descrito em 2.3.1 e como consequência também o tempo necessário para uma transmissão entre o

computador central e qualquer estação é variável.

Na figura 2.14 está esquematizado a seqüência de transmissões utilizadas para fazer esta avaliação. Uma estação da rede interligada com uma IMAC (Interface Modular de Aquisição e Controle), na qual foi instalado um módulo RTC (relógio, temporizador e contador) foi utilizado como elemento central desta avaliação. Após a inicialização do contador é enviado uma ou mais mensagens para a estação e em seguida é lido o tempo

número máximo de estações estações ativas	7	8	50
	7	7	7
Tipo de mensagem	tempo médio por mensagem [ ms ]		
leitura de estado	26	36	39
escrita direta 1 byte	22	26	26
escrita direta 2 byte	22	25	26
escrita direta 4 byte	22	25	26
escrita direta 5 byte	22	22	26
escrita direta 10 byte	22	22	25
escrita direta 20 byte	22	22	27
escrita direta 50 byte	22	28	28
escrita direta 122 byte	22	28	28
leitura direta 1 byte	22	28	30
leitura direta 5 byte	25	39	42
leitura direta 10 byte	30	44	50
leitura direta 20 byte	41	66	71
leitura direta 50 byte	70	127	132
leitura direta 122 byte	138	264	270

Fig. 2.15 - Tempos para a transmissão de mensagem entre o computador central e uma unidade usuária

decorrido. Na figura 2.15 estão tabelados os tempos médios para diversas condições de operação. Há um aumento desproporcional para a realização das leituras diretas com 50 ou mais dados.

Comparando as três colunas pode ser verificado que a existência de uma estação inativa produz um aumento considerável no tempo de envio de uma mensagem, enquanto que o aumento deste número acima de 1 pouca influência tem.

### 3. UTILIZAÇÃO DE FIBRAS ÓPTICAS COMO MEIO DE TRANSMISSÃO

Para a transmissão de sinais elétricos por meio de fibras ópticas são necessários três elementos essenciais, que são o transmissor, a fibra e o receptor (fig. 3.1), envolvendo também outros componentes como conectores, chaves ópticas e acopladores direcionais, cujas características principais são descritas a seguir.

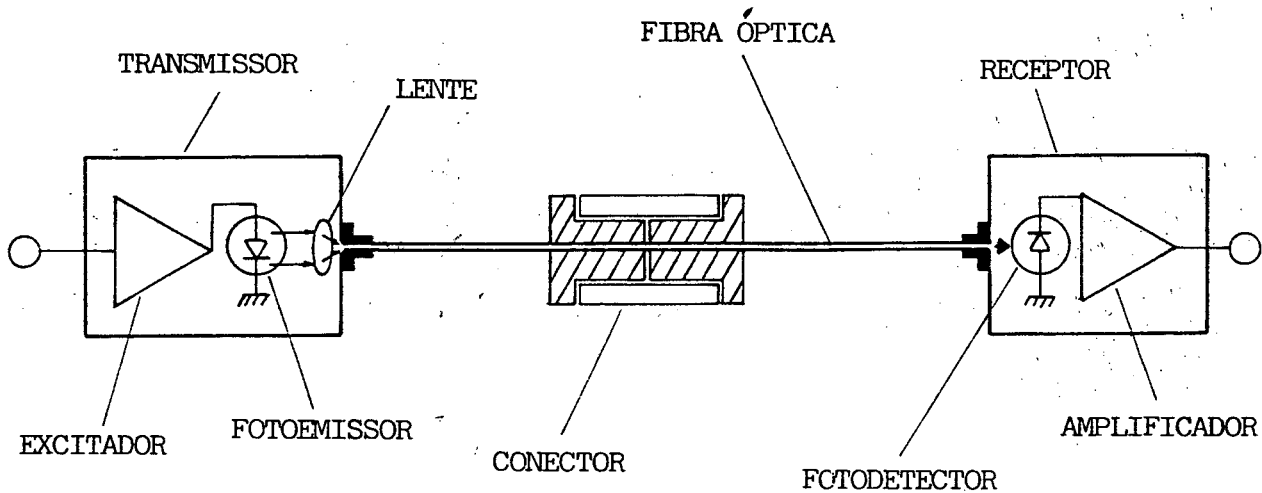


Fig. 3.1 - Elementos de um sistema de transmissão por meio de fibras ópticas

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES ÓPTICOS

##### 3.1.1 Transmissores ópticos

Os transmissores utilizados com fibras ópticas têm por finalidade básica a transformação do sinal elétrico em sinal óptico para o posterior acoplamento deste sinal a uma fibra óptica. O elemento fundamental do transmissor é o emissor de luz, mas além deste é necessário um excitador e podem existir lentes para melhorar o acoplamento entre emissor e fibra



(fig. 3.1). Os emissores ópticos normalmente utilizados são: o LED (Light Emitter Diode) e o diodo LASER (Light Amplifier with Stimulation of Emitter Radiation) /82,83/ cujas principais características são apresentadas na figura 3.2.

Fotoemissor	VANTAGENS	DESVANTAGENS
LASER	luz monocromática feixe estreito maior acoplamento alta taxa de modulação	potência baixa sensível à temperatura exige excitador complexo menor vida útil
LED	potência mais elevada custo reduzido longa vida útil	amplo limite espectral feixe de luz largo acoplamento fraco menor taxa de modulação

Fig. 3.2 - Características dos emissores ópticos

### 3.1.2 Detectores ópticos

Os detectores ópticos transformam o sinal óptico vindo da fibra em sinal elétrico e normalmente são responsáveis pela limitação da velocidade

CARACTERÍSTICAS	FOTODETETOR TIPO	
	PIN	APD
Tensão de polarização  V	10	100-300
Possui ganho	não	sim
Sensibilidade  uA/uW	5	15
Tempo de ligação  ns	1	2
Custo relativo	baixo	alto

Fig. 3.3 - Características dos detectores ópticos /86/

de transmissão. Na maioria dos receptores ópticos existe um amplificador junto ao detector /83,84,85/. O acoplamento entre fibra e detector não é tão crítico quanto a conexão entre emissor e fibra, pois os detectores normalmente possuem grandes regiões ativas /86/. Os detectores ópticos mais utilizados são o fotodiodo PIN e o fotodiodo com avalanche (APD), cujas principais características estão relacionadas na figura 3.3.

### 3.1.3 Fibra óptica

A fibra óptica compõe-se basicamente de um núcleo e de uma casca de sílica concêntricos entre si. O núcleo possui um índice de refração maior do que a casca e com isto possibilita a obtenção de reflexão total de raios luminosos que incidem sobre esta superfície de separação com um ângulo de incidência maior que o ângulo crítico /87,88/.

A luz que é transmitida por uma fibra óptica normalmente é composta por ondas de diferentes frequências e também pode propagar-se de diversos modos por uma fibra. Estes grupos com frequências diferentes propagam-se a velocidades diferentes na fibra produzindo uma dispersão material do sinal. A transmissão por modos diferentes ocasiona uma diferença no comprimento do percurso e com isto uma dispersão modal do sinal, isto é, uma deterioração do sinal.

As fibras ópticas, cujas principais características estão mostradas na figura 3.4, são classificadas em 3 tipos: com índice degrau, com índice gradual e fibras monomodo.

As fibras com índice degrau possuem núcleos de 50 a 100  $\mu\text{m}$ , uma atenuação de 5 a 30 dB/km e são geradas por um processo de fabricação mais simples que as demais. Nestas fibras se propagam diferentes modos que produzem uma dispersão modal maior do sinal, limitando assim sua taxa

máxima de transmissão. A largura de faixa pode chegar até a 60 Mbit/s.km .

As fibras com índice de refração gradual produzem menos dispersão modal e com isto possibilitam maiores taxas de transmissão. Para produzir um núcleo com a variação do índice de refração desejado, as restrições impostas ao processo de fabricação são maiores. As dimensões típicas destes núcleos são de 50 a 100  $\mu\text{m}$  e as atenuações estão na faixa de 3 a 10 dB/km . A largura de faixa pode chegar até a 600 Mbit/s.km.

As fibras monomodo possuem dispersão bastante baixa e com isto atingem altas taxas de transmissão com atenuações reduzidas (2 a 5 dB/km). As pequenas dimensões exigidas para o núcleo destas fibras (2 a 10  $\mu\text{m}$ ) fazem com que o processo de fabricação seja bastante complexo. O acoplamento mecânico destas fibras entre si, bem como o acoplamento da luz emitida por um transmissor a este tipo de fibra, estão sujeitos a tolerâncias bastante estreitas. Estas fibras possuem uma largura de faixa que pode ultrapassar os 10 Gbit/s.km.

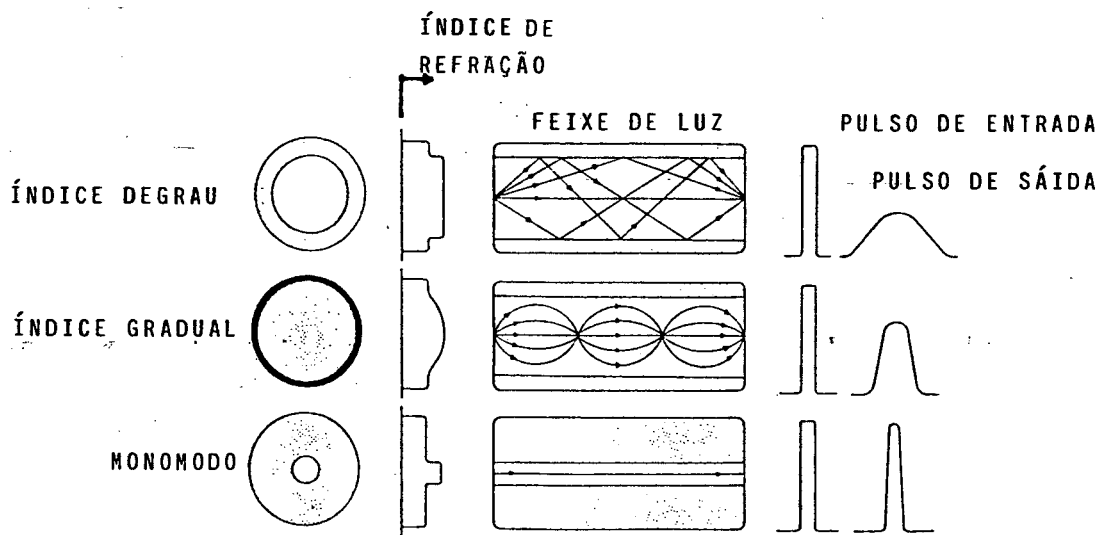


Fig. 3.4 - Tipos e características das fibras ópticas /88/

### 3.1.4 Conectores

Além da atenuação provocada pela própria fibra óptica, devem ser consideradas as atenuações introduzidas pelas conexões (fig. 3.1) e a perda que ocorre no acoplamento da luz proveniente do emissor à fibra óptica. Na interconexão de duas fibras ópticas existem vários fatores que podem causar perdas no sinal óptico. Diferenças no diâmetro da fibra, no índice de refração ou na variação do índice de refração de fibras com índice gradual são causas de perdas em uma conexão. Mesmo na conexão de duas fibras com o mesmo diâmetro e mesmas características ópticas existem diversos fatores físicos da conexão mecânica que causam atenuação no sinal transmitido, conforme mostra a figura 3.5. Recentemente foi lançada uma ferramenta para fazer a crimpagem de fibras ópticas produzindo emendas com perdas da ordem de 0.1 dB /89/. Os conectores disponíveis no mercado, contudo, ainda produzem perdas de 1 a 2 dB /87/.

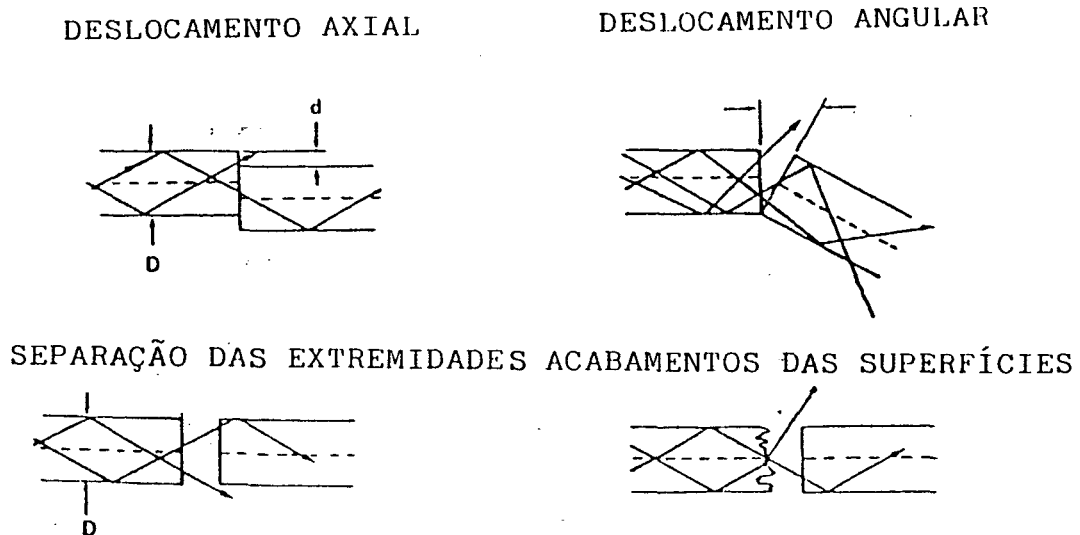


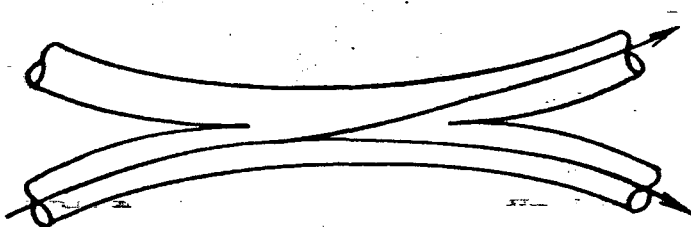
Fig. 3.5 - Causas de atenuação devido a conexão mecânica entre duas fibras ópticas

### 3.1.5 Acopladores

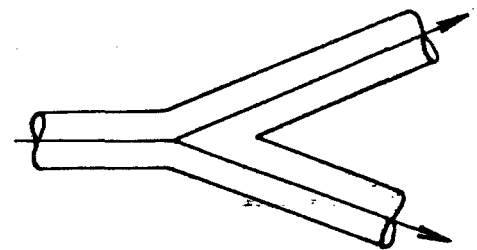
Acopladores ópticos são elementos que fazem a interligação de duas ou mais fibras ópticas entre si, possibilitando a troca de energia entre as mesmas. O modo de conexão entre as fibras define a característica de diretividade e acoplamento existente entre os diversos ramos das fibras /87/.

Os acopladores passivos (fig. 3.6) separam um feixe óptico em dois ou mais feixes, ou juntam dois ou mais feixes em um único, sem a utilização de elementos ativos. Foram desenvolvidos acopladores passivos denominados de estrelas, que distribuem um sinal incidente em diversas saídas. As estrelas passivas que operam pelo princípio transmissivo possuem  $N$  (2, 4, 8, 16, 32 ou 64) entradas e  $N$  saídas, enquanto que as que operam de modo reflexivo usam a transmissão bidirecional sobre a mesma fibra /87/.

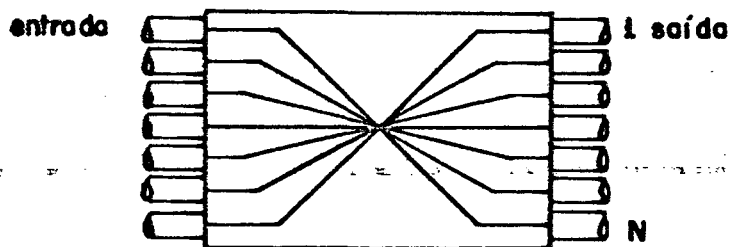
Acopladores ativos são construídos com transmissores e receptores



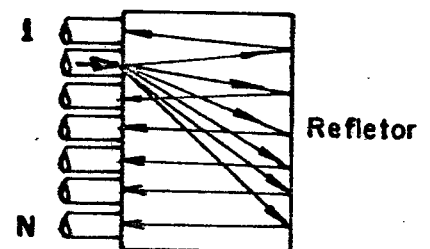
a) Acoplamento por fusão



b) Bifurcamento



c) Estrela transmissiva



d) Estrela reflexiva

Fig. 3.6 - Acopladores ópticos passivos

ópticos. O sinal óptico incidente é inicialmente convertido em sinal elétrico nos receptores e conduzido para os diversos canais de saída onde os transmissores ópticos fazem novamente a conversão para sinal óptico.

### 3.1.6 Chaves ópticas

Estão sendo desenvolvidas chaves ópticas integradas de modo semelhante ao dos circuitos elétricos tradicionais. Estas chaves ópticas podem desviar um feixe óptico sem fazer uma atuação mecânica. Seu funcionamento se baseia no princípio de que o índice de refração de um cristal se altera quando submetido a um campo elétrico /89/. Com a alteração do índice de refração pode ser feita a condução do feixe óptico para duas saídas distintas de acordo com um sinal de comando aplicado (fig. 3.7). O comando destas chaves é feito por um sinal elétrico externo com frequências de até 1 GBit/s /89,90/.

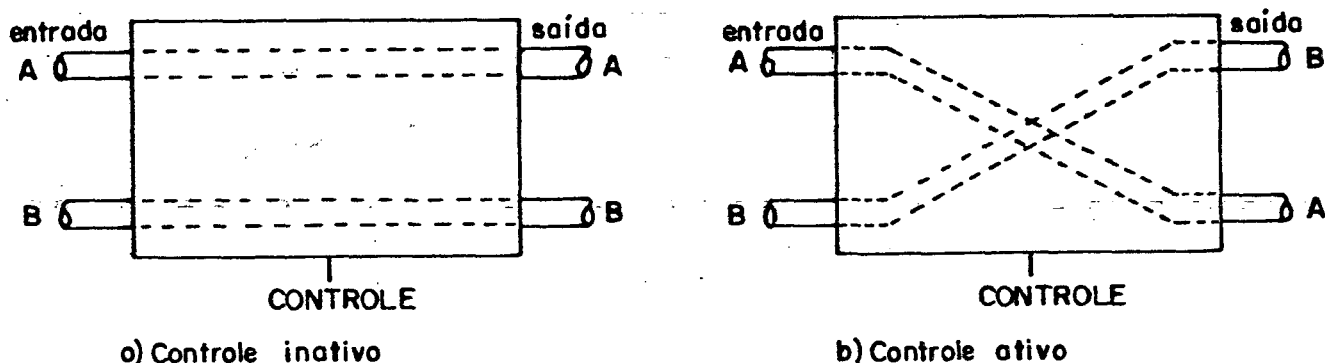


Fig. 3.7 - Chaves ópticas

### 3.2 TOPOLOGIAS DE REDES LOCAIS COM FIBRA ÓPTICA

A utilização de fibras ópticas em redes de transmissão de dados próximo ao nível de controle, se fundamenta nas principais características das fibras ópticas que são: imunidade eletromagnética e isolação elétrica. Outras características como: baixa atenuação na fibra, pequeno peso e volume e alta taxa de transmissão normalmente não são relevantes em aplicações a nível de controle.

Para aplicações em redes locais a fibra óptica possui o grave inconveniente de não ser possível uma derivação simples, como se faz num cabo coaxial, devido a reduzida potência do sinal transmitido e as reduzidas dimensões da fibra. Devido a esta característica, as topologias de rede normalmente usadas com fibras ópticas diferem das utilizadas com cabos coaxiais.

#### 3.2.1 Barra linear com derivadores passivos.

Neste tipo de estrutura a transmissão é feita somente por elementos passivos. Cada nó possui uma unidade de acesso ao meio de transmissão, e a transmissão de sinais no meio físico é realizada de forma bidirecional numa única fibra óptica (fig. 3.8).

As topologias passivas proporcionam implementações com níveis de confiabilidade elevados, pois não utilizam elementos ativos em série com o meio de transmissão. A quebra de uma fibra ou falha em um acoplador óptico provoca o particionamento do sistema em duas redes independentes.

Um dos aspectos desfavoráveis do uso de barras com derivações passivas é o número limitado de conexões devido a perda nos acopladores ópticos. Na barra linear as derivações são formadas por acopladores do tipo

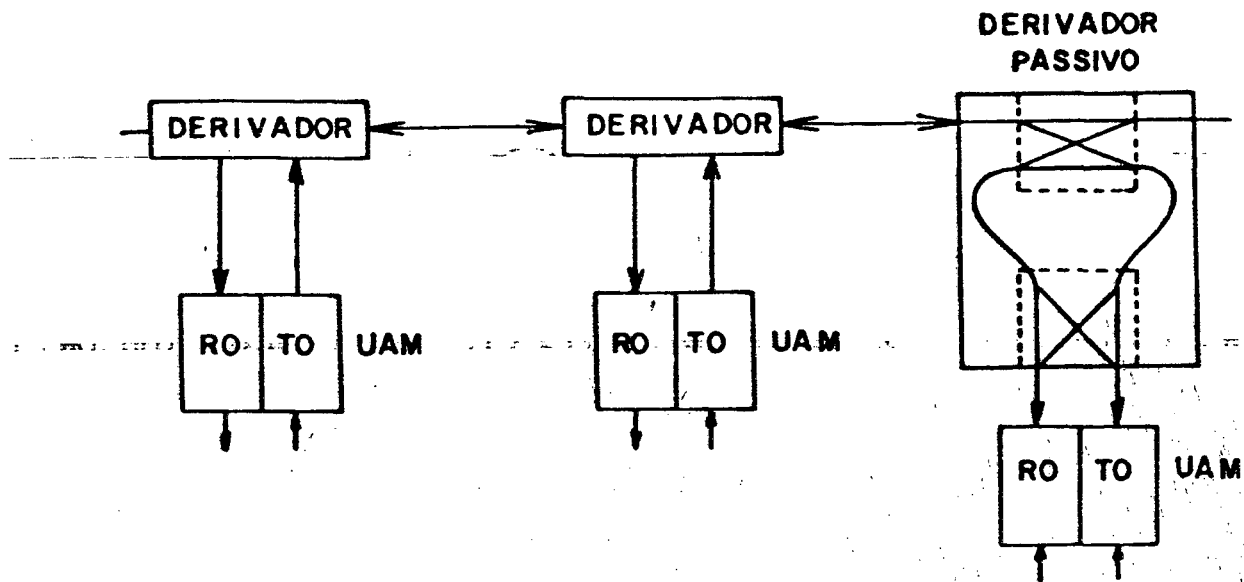


Fig. 3.8 - Topologia em barra linear com derivação passiva

estrela 2x2 interligados. Considerando-se acopladores comerciais com taxa de divisão de 50% tem-se que a perda causada por cada derivação instalada em série com o meio é de 4 dB. Nas extremidades da rede é possível utilizar acopladores do tipo "Y", com menor perda, para aumentar o número de derivações em um sistema. Todavia ao serem consideradas as perdas nas fibras, nos conectores e emendas não é possível ultrapassar a uma dezena de estações interligadas.

Outro problema inerente a redes em barra com derivações passivas é a larga faixa de variação de potência de sinais ópticos nos receptores. Tal característica aumenta a complexidade dos receptores que devem ser projetados e construídos com uma ampla faixa dinâmica. Essa dificuldade pode ser contornada através de técnicas de sintonia da rede. Tais técnicas consistem em ajustar a potência nos transmissores e inserir atenuadores em série com os receptores de forma a tornar a faixa de variação da potência



óptica a mais estreita possível. Isto, porém, implica numa maior complexidade da instalação e a inserção de novas estações pode exigir paradas para procedimentos de ajuste de sintonia. Outras formas de ligação da topologia em forma de barra (barra simples em U, barra dupla) apresentam, basicamente, as mesmas restrições da barra linear.

### 3.2.2 Estrela passiva

A topologia em forma de estrela com acoplamento passivo apresenta a vantagem de não usar elementos ativos /91/, mas possui o inconveniente de ter um elemento centralizador e que exigirá uma grande quantidade de cabos a partir deste ponto central (fig. 3.9).

Do ponto de vista de confiabilidade as topologias passivas são mais adequadas. Dentre estas destaca-se a estrela passiva permitindo implementações na qual a falha em um cabo provoca o isolamento de uma única estação. Embora o acoplador estrela represente um ponto de falha generalizado do sistema, sua característica passiva e a possibilidade de construção robusta garantem altos níveis de confiabilidade à rede.

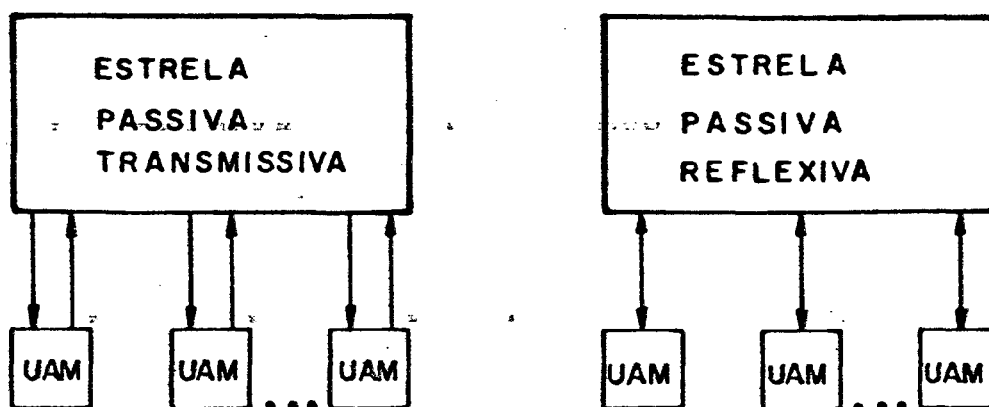


Fig. 3.9 - Topologia em forma de estrela com elementos passivos

As estrelas passivas operam basicamente de forma transmissiva ou reflexiva conforme ilustra a fig. 3.6. Na utilização de estrelas reflexivas a conexão com as Unidades de Acesso ao Meio de transmissão (UAM) é feita por uma única fibra (fig. 3.9). Nas UAM são necessários acopladores direcionais que aumentam as perdas nos enlaces. O aumento do custo causado pelos acopladores direcionais e pela necessidade de receptores mais sensíveis em geral não justifica o uso do acoplador reflexivo. Mesmo exigindo uma fibra duplex, os sistemas com acopladores transmissivos apresentam menor custo.

A topologia com estrela passiva transmissiva usa um acoplador NxN como elemento central e que faz a difusão dos sinais para todas as estações. Cada nó possui uma UAM local com dois pontos de terminação óptica, sendo a conexão ao acoplador NxN feita através de cabos duplex de fibras ópticas. Os transmissores das UAM são ligados as N entradas do acoplador e os receptores as suas N saídas. O sinal óptico transmitido por cada UAM é dividido no acoplador e entregue as saídas. O acoplador NxN é construído de forma a apresentar boa uniformidade na divisão da potência.

### 3.2.3 Estrela ativa

Esta topologia utiliza um acoplador do tipo estrela ativo como elemento central da rede (fig. 3.10). Cada um dos nós é conectado a uma UAM local, que por sua vez é ligada ao acoplador por meio de um cabo duplex de fibras ópticas. O acoplador tem a função de regenerar e distribuir sinais ópticos. Embora o aspecto físico da topologia seja o de uma estrela, pode-se considerar essa implementação um caso particular de barramento linear, no qual o barramento propriamente dito é extremamente curto e os cabos de derivação são extremamente longos. Estas topologias em forma de

estrela não seguem a filosofia das redes locais que é de reduzir as necessidades de cabos de transmissão e ter facilidades de expansão.

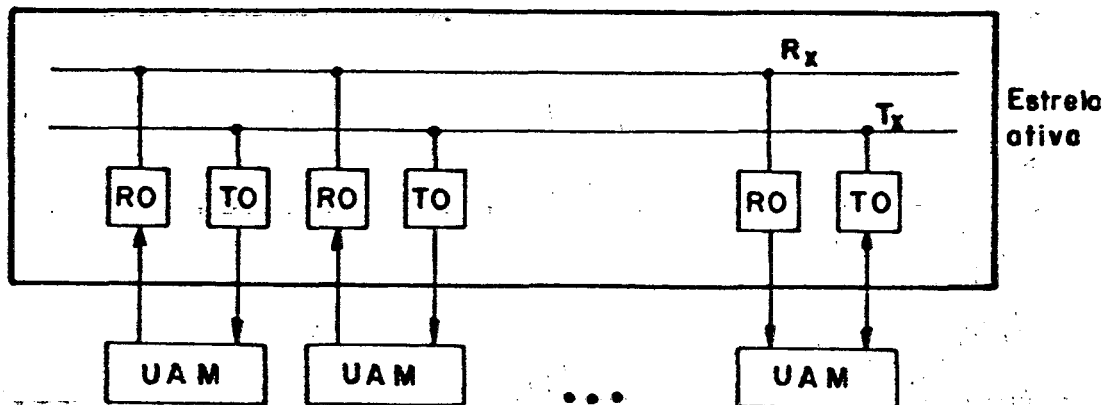


Fig. 3.10 - Topologia em forma de estrela com elemento central ativo

### 3.2.4 Anel ativo

A topologia em forma de anel ativo difere fundamentalmente da topologia em barra linear, sendo entretanto uma das implementações com fibras ópticas mais utilizada para redes locais. A transmissão é feita por um anel óptico unidirecional de uma única fibra, no qual são instalados as UAMs.

O sistema em forma de anel faz uma transmissão ponto a ponto entre cada estação, e desta forma evita a derivação nas fibras. Para manter a integridade do anel é necessário que todas as estações permaneçam ligadas para fazer a retransmissão dos sinais. Isto pode ser evitado se for usado uma chave óptica que automaticamente faz o "bypass" na UAM quando a mesma estiver desligada (fig. 3.11 a ). Desta forma pode-se admitir até 3 UAM adjacentes desenergizadas. Além das chaves ópticas, com um custo elevado, esta solução requer receptores com maior sensibilidade e também uma faixa

dinâmica mais elevada para conseguir detectar os sinais no caso de haver 3 estações adjacentes desenergizadas. Também pode ser utilizado um chaveamento eletrônico para garantir a continuidade do anel, evitando a utilização de chaves ópticas, como mostra a figura 3.11(b). Neste caso o sinal óptico é convertido em sinal elétrico em cada uma das estações e novamente transmitido em forma de sinal óptico.

Esta topologia traz consigo a vantagem de atingir distâncias maiores para a rede, pois de uma estação a outra existe uma transmissão ponto a ponto. Em cada estação existem elementos ativos que fazem a conversão de sinais ópticos para elétricos e destes novamente para ópticos.

Cada nó possui somente dois pontos de terminação óptica e a implementação não é tolerante a falhas nas UAMs ou fibras ópticas, pois uma falha única interrompe o funcionamento do sistema como um todo. Este tipo de acoplamento apresenta as seguintes vantagens:

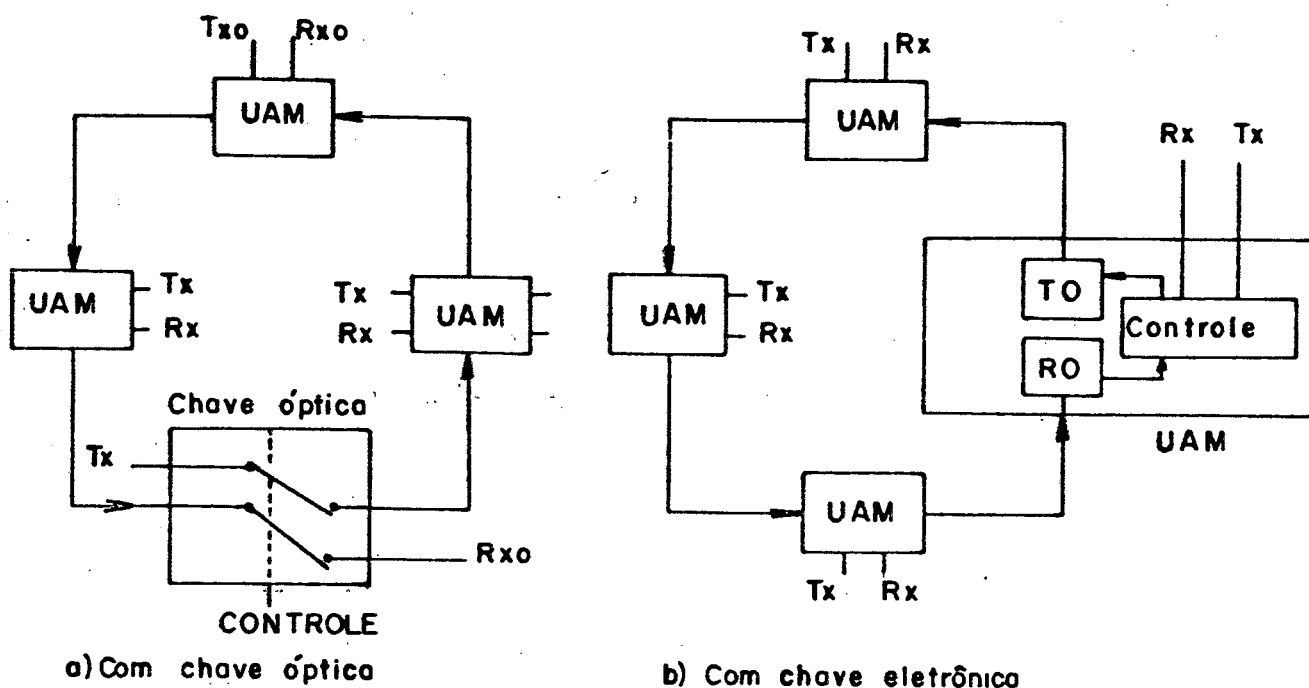


Fig. 3.11 - Topologia em forma de anel ativo

- os sinais são regenerados em cada derivador;
- permite um número elevado de acopladores em série;
- formar redes com grandes distâncias.

Como desvantagens deste sistema de acoplamento podem ser citados:

- atraso devido ao chaveamento elétrico;
- necessidade de garantir a continuidade do anel em caso de desligamento de alguma estação;
- o sistema de transmissão possui componentes sujeitos a interferências eletromagnéticas.

### 3.3 REDE PDVnet IMPLANTADA COM FIBRA ÓPTICA

Na realização de um sistema PDVnet com fibra óptica foi utilizado o hardware disponível, CIF (Controlador de Interface) e AMT (Acoplador ao

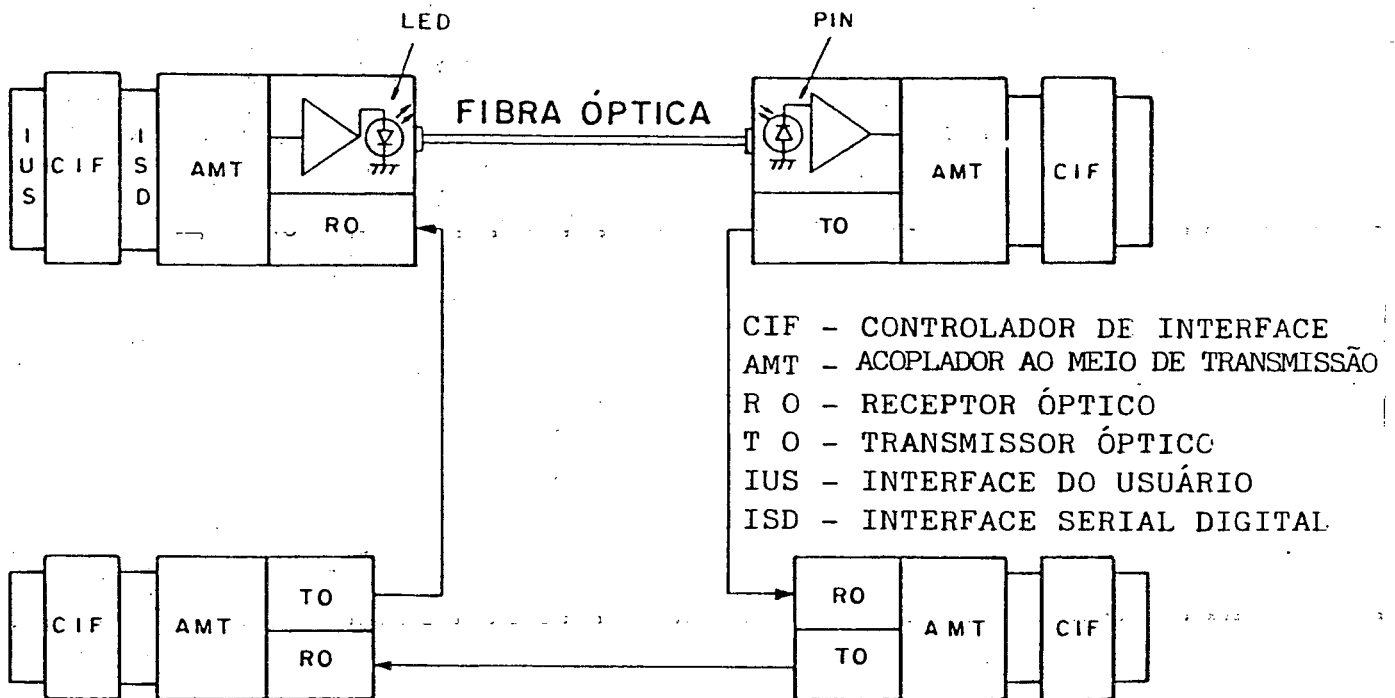


Fig. 3.12 - Estrutura em anel para utilização de fibra óptica como meio físico de transmissão

Meio de Transmissão), e foi alterado o projeto do AMT para fazer a transmissão por meio de fibra óptica. Fica portanto a possibilidade de escolher entre o uso de cabo coaxial ou fibra óptica pela simples troca de um "jumper". A figura 3.12 mostra a estrutura em anel utilizada para a realização de um sistema de transmissão PDVnet com fibra óptica pois a topologia em forma de estrela possui restrições devido ao alto custo do acoplador, da instalação dos cabos e pelo reduzido número de conexões possíveis em cada acoplador passivo tipo estrela /91,92/.

A unidade central da estação é o Controlador de Interface (CIF) que faz todo o controle do protocolo da rede e possui a interface ISD (Interface Serial Digital) e um barramento "EUROBUS" (onde podem ser ligadas as interfaces específicas do usuário - IUS). O AMT faz a

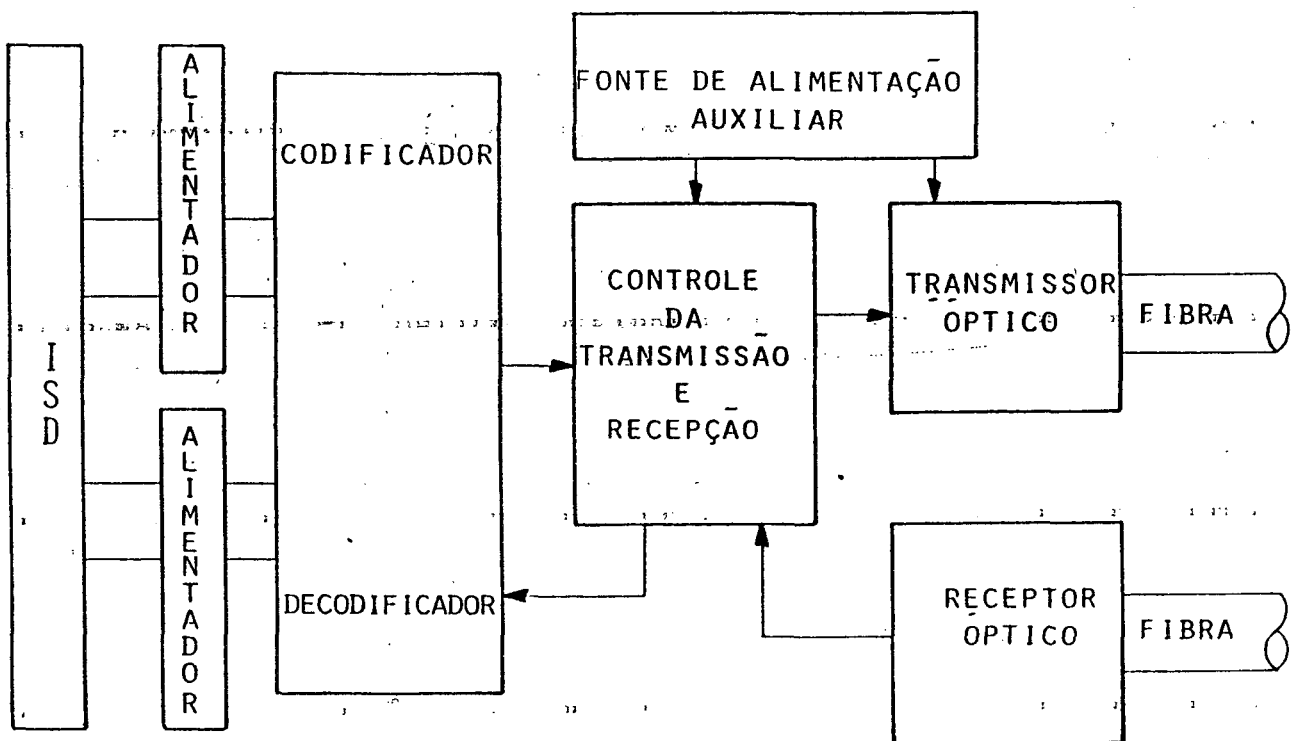


Fig. 3.13 - Estrutura do AMT para transmissão por meio de fibras ópticas

codificação dos sinais a serem enviados pelo Transmissor Óptico (TO) e decodifica os sinais recebidos do Receptor Óptico (RO).

A figura 3.13 mostra a estrutura de um AMT para transmissão por meio de fibra óptica. Para garantir a continuidade do anel foi prevista a instalação de uma fonte de alimentação auxiliar que permite o desligamento da estação do usuário sem interromper o funcionamento da rede. A instalação desta fonte auxiliar de energia além de possuir um custo bem menor que as chaves ópticas permite que diversas estações fisicamente adjacentes no anel sejam desativadas, além de exigir uma faixa dinâmica menor para os receptores ópticos.

O controle da transmissão e recepção implementado (fig. 3.13) faz com que todo o sinal incidente numa estação seja imediatamente retransmitido, evitando desta forma o tempo de reconhecimento e armazenamento do sinal, que poderia causar problemas em aplicações em tempo real /93/.

Para aplicações em redes locais, a distância entre estações normalmente não ultrapassa a 500 m. No mercado já existem inúmeros conjuntos de transmissão (transmissor, fibra e receptor) que possuem este alcance /94,95,96,97/.

Na implantação experimental foi utilizado um conjunto de fibra, transmissor e receptor de baixo custo /96/. Esta fibra é feita de plástico, que tem elevado índice de atenuação e dispersão, e passa a ter um alcance de 50 m entre estações. Este conjunto pode ser facilmente substituído por outro, com fibras de menor atenuação e transmissores mais potentes, com alcance maior.

### 3.4 CONCLUSÕES

A utilização de fibras ópticas para transmissão de dados em aplicações

industriais ainda está bastante restrita devido aos elevados custos da fibra óptica e especialmente de seus acessórios /87,98,99/. Com a crescente utilização da fibra no setor das telecomunicações, seus preços estão sendo reduzidos gradativamente e, com isto, o número de aplicações tem se elevado nos últimos anos.

A estrutura em forma de anel apresenta a vantagem de ter um grande alcance pois cada estação funciona como um retransmissor e desta forma se consegue facilmente interligar unidades que estejam bastante afastadas entre si.

A utilização de fibras ópticas na topologia em anel, com elementos ativos fazendo a retransmissão dos sinais, ainda apresenta um alto custo dos componentes ópticos e a inserção destes elementos ativos em série com a rede como fatores que têm preterido a sua utilização. O uso de chaves ópticas é uma alternativa para garantir a continuidade do anel em caso de falta de energia em alguma estação /100,101/. Por serem elementos de lançamentos recentes seus custos ainda são muito elevados. A utilização de redes locais com fibra óptica na automação da manufatura, onde diversas estações estão bastante próximas entre si, tem no custo dos componentes ópticos e nas características mecânicas das fibras ópticas elementos que ainda contra-indicam a sua utilização.



## 4. INTERLIGAÇÃO DE UNIDADES COM CNC ATRAVES DE REDE LOCAL

Além da entrada manual de programas, via teclado do painel de operação, os CNCs mais antigos já dispunham de uma leitora de fita de papel perfurada para fazer a entrada de programas. Os CNCs atuais em sua maioria já possuem uma interface serial para fazer a comunicação com microcomputadores e desta forma arquivar os programas em disquete ou disco rígido.

Para permitir a interligação dos CNCs mais antigos com microcomputadores pode ser utilizado a interface existente entre a leitora de fita e a unidade central do CNC, normalmente referenciada como interface BTR (Behind Tape Reader) /17/.

Os CNCs atuais, genericamente, ainda não preveem a possibilidade de serem interligados com unidades supervisoras por meio de redes locais. As diversas possibilidades com suas vantagens e desvantagens serão analisadas a seguir.

### 4.1 MODOS DE INTERLIGAÇÃO

Existem basicamente duas formas de interligação dos CNCs com uma rede de comunicação (fig. 4.1). Na versão mais simples a estação da rede (ER) pode ser vista como uma unidade isolada ligada ao CNC por meio de uma interface serial (fig. 4.1 a,b,c). Uma versão mais sofisticada pode ser prevista com a integração da estação da rede local, como uma interface, no próprio CNC (fig. 4.1 d). A seguir são descritas as características de cada uma destas opções.

#### 4.1.1 Estação da rede ligada ao CNC por meio de interface serial

A ligação entre CNC e estação da rede por meio de uma interface serial, cujas taxas de transmissão normais são de até 19200 bit/s, se caracteriza como uma ligação de transmissão lenta. Por outro lado, atualmente, o único mecanismo de segurança existente nestas transmissões é a utilização de um bit de paridade. Este é um método bastante ineficaz e deve ser substituído por outro método de controle de integridade dos dados transmitidos.

O controle de carga e descarga de programas atualmente é feito sob comando do operador usando os comandos do painel do CNC, e este não tem condições, entre outras, de enviar o nome do programa desejado a partir do painel do CNC.

Além da transferência de programas torna-se necessário a transferência

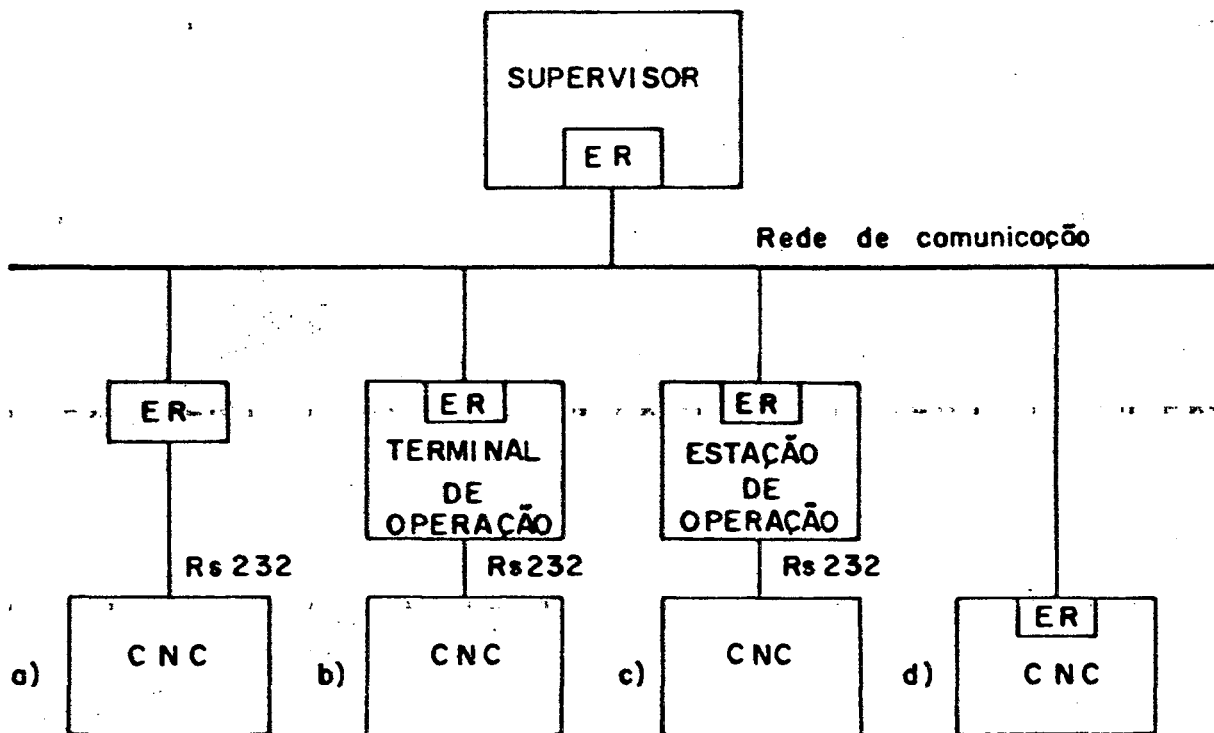


Fig. 4.1 - Modos de interligação entre CNCs e estações de redes locais

de dados de ferramenta, estados da máquina e um controle de produção para possibilitar uma integração da manufatura /102/.

Estas diversas necessidades que se apresentam exigem a definição de um protocolo de comunicação entre a estação da rede e o CNC. A base de um protocolo deste tipo pode ser um quadro com o seguinte formato:

CONTROLE	FUNÇÃO	NÚMERO DE BYTES	INFORMAÇÃO	CRC
----------	--------	-----------------	------------	-----

O campo CONTROLE especifica o conteúdo do quadro (conexão, confirmação, informação, tipo de comando, etc.) enquanto que o campo FUNÇÃO identifica o tipo de informação contido no campo de dados (INFORMAÇÃO). NÚMERO DE BYTES especifica a dimensão do campo INFORMAÇÃO, sendo este utilizado para a transferência da informação propriamente dita (programas, parâmetros, comandos).

Para garantir a integridade da informação é necessário que se use um método eficiente como o CRC, pois a paridade, normalmente existente nas interfaces seriais, não detecta qualquer alteração de um número par de bits /52,80/.

A inexistência de um protocolo de comunicação entre os CNCs atuais e as estações de redes locais torna necessário a instalação de um terminal de operação (fig. 4.2 a) que permite ao operador fazer a solicitação de carga e descarga de programas. Com a utilização de sub-endereços o terminal de operação pode ser utilizado para atender a diversos CNCs. Este terminal de operação pode ter uma memória RAM de grande capacidade, mapeada para os diversos CNCs, para onde os programas necessários podem ser enviados com uma certa antecedência, durante a usinagem da última peça de um lote anterior. As funções deste terminal de operação também podem ser ampliadas para possibilitar a troca de informações com o operador e também fazer um

controle da produção. Neste caso será designado de estação de operação (fig 4.2 b) pois deverá fazer parte do processamento localmente.

A troca de informações entre as estações de operação e a estação supervisora se constituirá num mini-correio. Deve ser avaliada a possibilidade de armazenar todas as informações enviadas, ou somente as mais relevantes, para que se tenha um histórico das informações solicitadas e recebidas. A realização de um controle de produção por meio de uma estação de operação será descrita em 4.2.

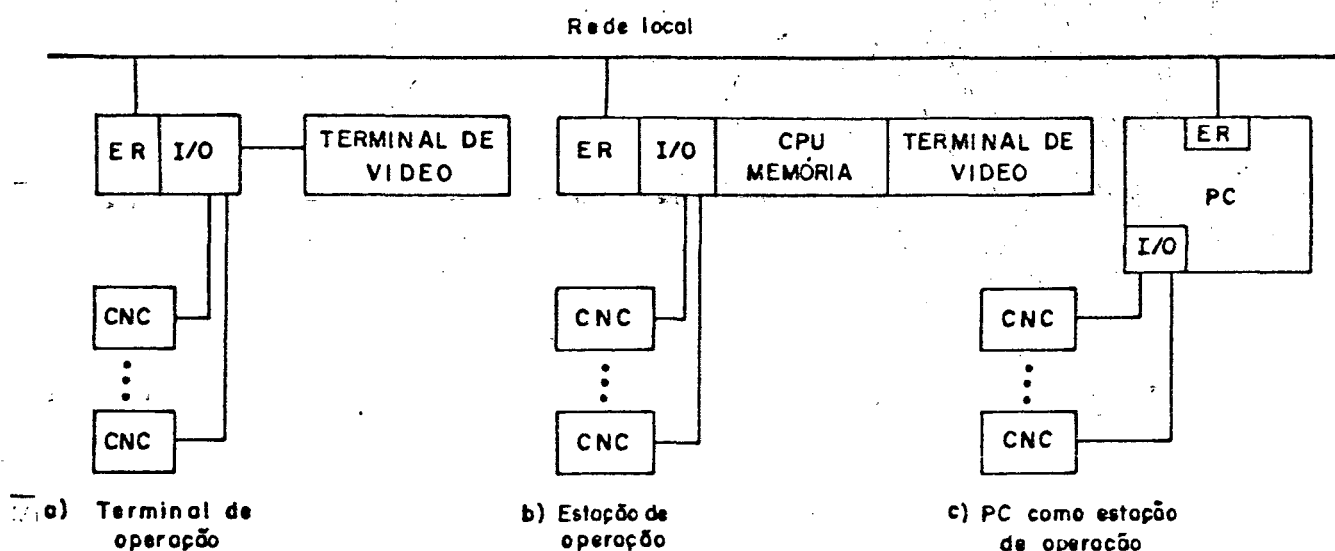


Fig. 4.2 - Configuração de um terminal e estação de operação

#### 4.1.2 Estação da rede acoplada diretamente ao CNC

Esta é a melhor forma de ligação entre redes locais e CNCs, contudo ainda existem alguns fatores que impedem a sua realização na atualidade. A estação da rede acoplada diretamente ao barramento do CNC (fig. 4.1 d) possibilita um acesso bem mais rápido ao meio de transmissão. O CNC e a estação da rede podem se comunicar de forma rápida e eficiente por meio de

uma memória compartilhada.

A indefinição nos padrões de redes locais faz com que esta solução seja impraticável no momento, pois cada CNC deveria dispor de uma interface e software específico para cada tipo de rede local. Com a definição e aceitação de um padrão de rede local para a automação industrial certamente surgirão CNCs com estações de rede integradas.

## 4.2 MODOS DE OPERAÇÃO

Existem diversos modos e níveis de integração de CNCs com redes locais, sendo os mais importantes analisados a seguir.

### 4.2.1 Transferência de programas, subprogramas, dados de ferramenta e parâmetros entre unidades de supervisão e CNCs.

A edição de programas de CN pode ser feita no próprio CNC ou em uma estação de edição offline. No primeiro caso, normalmente, se torna necessário o envio do programa testado e otimizado para uma biblioteca de programas. Os programas editados nas estações de edição offline devem ser enviados para os CNCs para serem testados e otimizados. Após a otimização devem ser enviados para a biblioteca de programas em unidades de armazenamento (disquete ou winchester).

A operacionalização desta transferência de programas, subprogramas e dados de ferramentas pode ser feito de duas formas distintas:

- a) Um terminal ou estação de operação instalado próximo as unidades com CNC pode ser utilizado para fazer as solicitações de programas para a biblioteca (fig. 4.2). No sistema de acesso às bibliotecas podem ser

utilizadas senhas para que somente operadores habilitados tenham acesso a determinados programas, ou um acesso livre para todos mas que registra um histórico de cada acesso feito a biblioteca. O programa solicitado via terminal/estação de operação é inicialmente transferido para a estação da rede ligada ao CNC. Esta transferência de programa ou dados pode ser efetuada atendendo a uma solicitação do operador da máquina ou por decisão do supervisor (manual ou automático) do sistema de manufatura. A conclusão do envio de um programa para a estação da rede é sinalizada para o operador da máquina que em seguida pode fazer a transferência do programa/dados entre a estação da rede e o CNC.

b) Para realizar a transferência automática de programas/dados para os CNCs é necessário que nos próprios CNCs seja instalado um software que permite fazer a solicitação ou o envio de programas por meio de uma identificação com o nome ou número do programa. Este software também deve conter um protocolo para fazer a transferência e identificação de programas/dados (download e upload). Neste caso poderá ser instalado um terminal de operação para que o operador de um conjunto de máquinas ou uma célula flexível de manufatura possa trocar informações com a supervisão (fig. 4.2).

#### 4.2.2 Monitoração de alterações de estado do CNC e MF

Para que a monitoração das alterações de estado dos CNCs e MFs seja realizada por uma estação de supervisão por meio de uma rede local é necessário que no CNC seja instalado um software para que determinadas alterações de estado sejam automaticamente enviadas para a estação da rede que as enviará à estação de supervisão.

A estação de supervisão deverá ter a possibilidade de programar quais as alterações de estado de cada CNC ou MF que devem ser comunicadas automaticamente em cada alteração ocorrida. Como exemplo de estados a serem monitorados podem ser citados:

- entrada/saída e número de estrado;
- modo de operação (manual, automático ...);
- eventos (início e fim de ciclo ou peça);
- edição ou correção de programas;
- número do programa em execução;
- alteração da correção da rotação do fuso ou velocidade de avanço;
- indicação de erros;
- operação (try-out, produção, manutenção).

#### 4.2.3 Informações do operador e controle de produção

As informações fornecidas pelo operador, através de sua identificação pessoal permitem fazer um controle efetivo do tempo de trabalho junto a máquina e da produção realizada neste período.

Para um controle da produção o operador deverá fornecer diversas informações para a estação de operação. Entre estas podem ser destacadas as seguintes:

- identificação pessoal;
- número do pedido ou peça;
- modo de operação;
- causa de parada;
- preparação para início ou fim de operação;
- reusinagem.

#### 4.2.4 Operação remota

A integração da manufatura por meio de computador exige que uma série de operações sejam feitas pela unidade de supervisão de forma remota. Entre estas operações podem ser destacadas as seguintes:

- envio/leitura de programas, subprogramas, parâmetros da máquina e dados de ferramentas;
- apagar programas e subprogramas;
- ler e alterar parâmetros da máquina;
- ler e alterar dados de ferramentas;
- setar modo de operação do CNC;
- leitura de estados e erros do CNC;
- setar e resetar erros e estados do CNC;
- controlar modo de operação das indicações de erro e estado (automático ou sob solicitação);
- iniciar e interromper a execução de determinado programa;
- indicar erros do sistema de supervisão no terminal/estação de operação.

#### 4.3 UNIDADES COM CNC INTERLIGADAS COM ESTAÇÕES DA REDE PDVnet

Os CNCs de um robô industrial IPSO, modelo V15, e de um centro de usinagem vertical BREVET, modelo CV 216, foram interligados com estações da rede PDVnet. Ambos os CNCs dispõem de uma interface serial para fazer a carga de programas a partir de um microcomputador. No CNC do robô a carga de programas só pode ser feita por meio de operação manual no APP (Aparelho de Programação Portátil) do robô, e também o CNC do centro de usinagem exige uma operação manual no painel para fazer a transferência de



programas. O envio de programas, a serem arquivados no PC, editados ou alterados em qualquer um dos dois CNC também é feito manualmente e não existe possibilidade de ser enviado o nome do programa a partir do CNC. Este nome deve ser fornecido via teclado do PC.

Cada um destes dois CNCs interligados com estações da rede possuem um protocolo de comunicação específico.

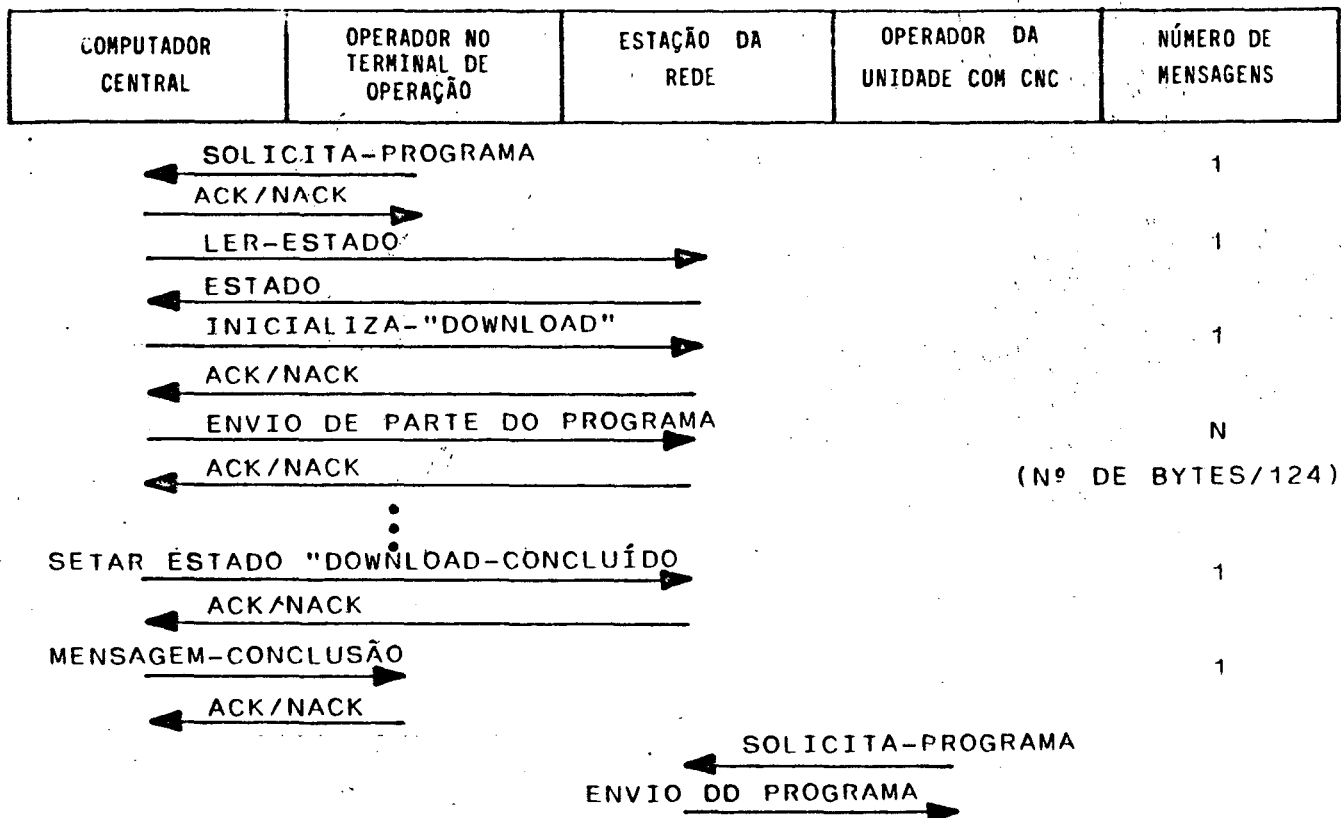


Fig. 4.3 - Sequência de mensagens/operações para buscar um programa do computador central até o CNC (download)

O gerenciamento das operações de transmissão de arquivos entre e a estação de supervisão e a estação da rede conectada ao CNC é feita a partir de um terminal de operação, enquanto que o operador da unidade de produção controla a transferência entre a estação da rede e o CNC.

Para carregar um programa do computador central, via rede PDVnet para o CNC, o operador solicita um download do programa desejado no terminal de operação e em seguida, no APP carrega o programa da estação da rede para o CNC (fig. 4.3). Para arquivar um programa editado ou alterado no CNC, o operador inicialmente envia o programa para a estação da rede e em seguida, a partir do terminal de operação, solicita um upload e informa o nome sob o qual o programa deverá ser arquivado (fig. 4.4).

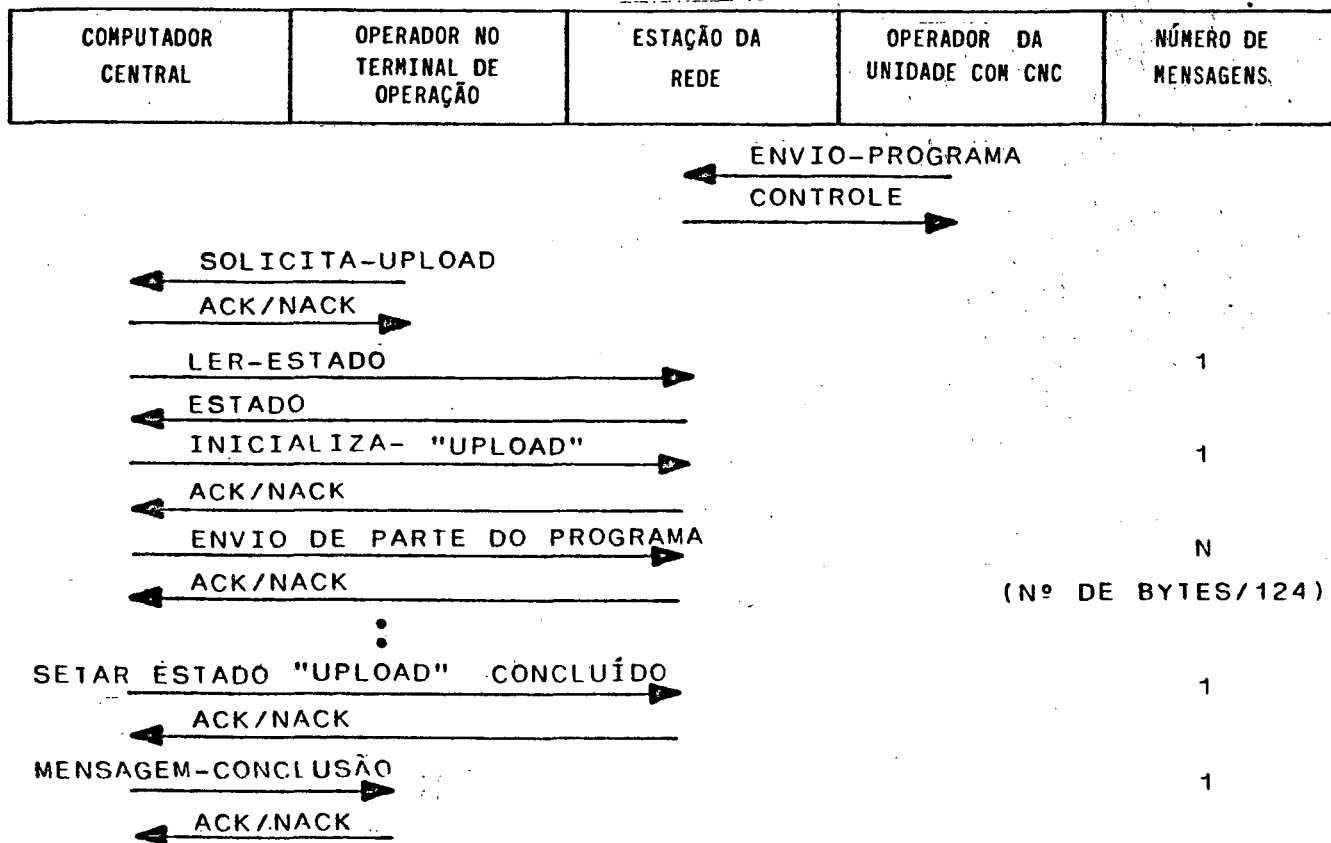


Fig. 4.4 - Seqüência de mensagens/operações para enviar um programa ao computador central (upload)

As figuras 4.3 e 4.4 mostram a seqüência de eventos para a transmissão de um programa do computador central para o CNC (download) e deste para o computador central (upload), respectivamente. Em ambos os casos a ação inicial deve partir do operador do CNC.

Tanto para upload como para download é feita uma leitura do estado da área de memória (buffer) para onde deve ser enviado/lido o programa. Se esta área estiver livre/ocupada é feita a inicialização para Download/Upload para em seguida ser transmitido/lido o programa, sendo então feita a conclusão. (fig 4.3 e 4.4).

## 5. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA ADEQUAÇÃO DE REDES LOCAIS PARA APLICAÇÕES NA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA

Após uma descrição sucinta dos diversos requisitos a serem analisados em redes locais para aplicações na automação da manufatura será analisado um exemplo de automação de uma célula flexível de manufatura.

### 5.1 REQUISITOS EXIGIDOS DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

#### 5.1.1 Segurança na transmissão das informações

Na automação da manufatura, como em muitas outras aplicações industriais, são transmitidos muitos códigos de comando cuja integridade deve ser mantida ao longo da transmissão.

Com a utilização de redes locais na automação de manufatura surgem dois sistemas de transmissão distintos onde a segurança da transmissão da informação deve ser garantida. O primeiro é a própria rede local e o segundo é a transmissão feita entre a estação da rede e a unidade usuária.

As redes locais usam, em sua maioria, o método do teste cíclico de redundância (CRC) para aumentar a confiabilidade das informações transmitidas. O CRC é colocado após a informação a ser transmitida e é calculado na transmissão e recepção em função da informação transmitida e recebida respectivamente, e de um polinômio característico. Em função do polinômio utilizado este método consegue detectar todas as alterações com até 2, 3 ou 4 bits alterados (distância de Hamming) e detecta parcialmente as alterações com um número maior de bits alterados. Para aplicações na automação da manufatura o protocolo de comunicação de uma rede local deve possuir distância de Hamming superior a dois /55/. Atualmente as

transmissões entre estações da rede e unidades usuárias usam a interface serial sem protocolos de comunicação padronizados e possuem apenas a opção de usar um bit de paridade por caracter. Para esta ligação é necessário a definição de um protocolo de comunicação conforme descrito em 4.1.

#### 5.1.2 Interfaces e protocolos existentes nas unidades a interligar.

As interfaces e protocolos de comunicação existentes na rede local devem atender as necessidades de comunicação exigidas pelas unidades do usuário que deverão ser interligadas com a rede. Se as interfaces ou os protocolos de comunicação não forem compatíveis entre si deve ser feito um levantamento das possibilidades de instalação de novas interfaces e/ou protocolos de comunicação nas unidades do usuário e estações da rede.

#### 5.1.3 Tempo de resposta

Os tempos de resposta em um sistema de comunicação, via rede local, se compoem de duas parcelas principais, que são o tempo de acesso e transmissão na rede e o tempo de tratamento das informações pelo usuário (fig. 5.1). Este último depende fundamentalmente do software aplicativo que está sendo executado, da interface existente com a estação da rede local, além do sistema operacional e do computador no qual está sendo executado.

O tempo necessário para transmitir uma informação de uma estação a outra em um rede local depende principalmente do protocolo de transmissão utilizado e do tráfego existente na rede. Para aplicações de controle em tempo real devem ser empregados protocolos que garantem tempos máximos de acesso ao meio de transmissão /38/.

Para cada sistema de automação da manufatura a ser implantado deve ser

feito o levantamento das condições de operação para determinar se existem e quais são os tempos de reação críticos. Nesta análise também devem ser incluídas previsões para futuras expansões.

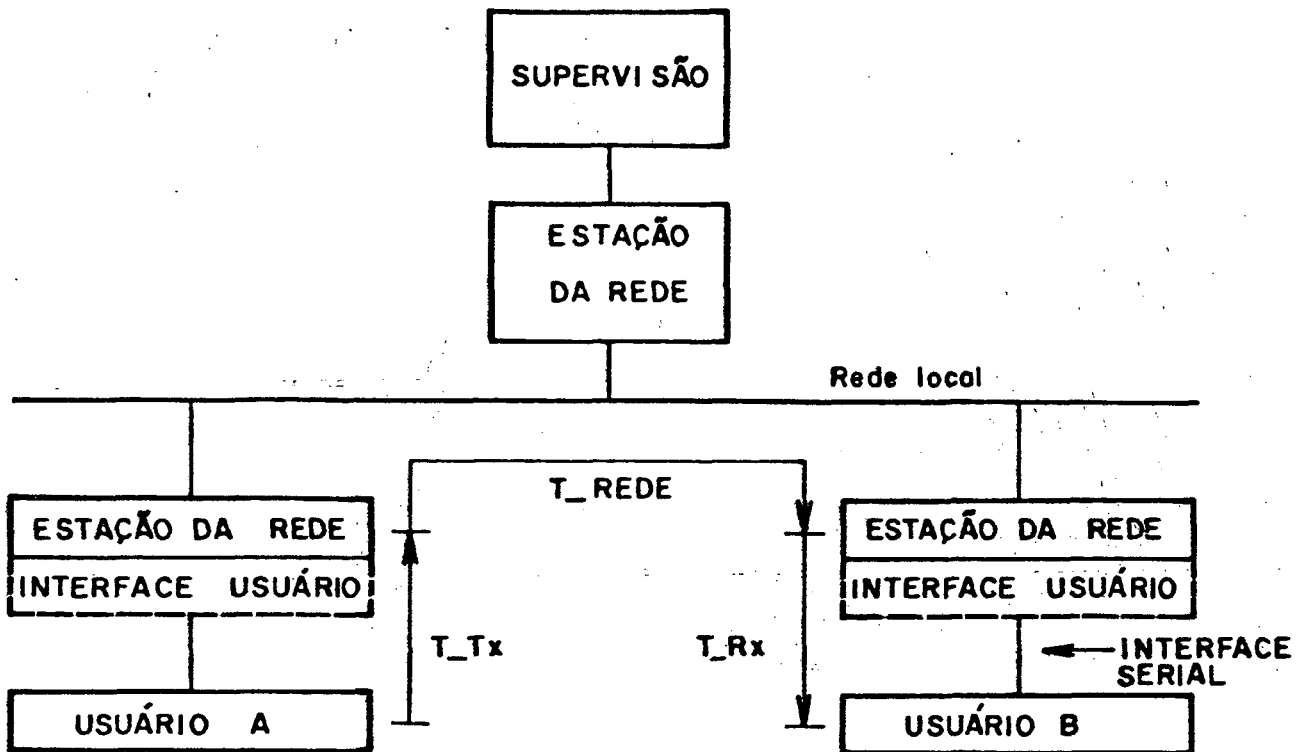


Fig. 5.1 -- Tempos na transmissão de mensagens entre usuários via rede local

#### 5.1.4 Tráfego de informações na rede

O tráfego gerado numa rede local em aplicações na automação da manufatura depende das características do sistema bem como de sua forma de operação, como mostra o exemplo descrito em 5.2. Para cada aplicação é necessário determinar as características da aplicação, que normalmente podem ser divididas em três fases bem caracterizadas como: inicialização, operação e especial. Na fase inicial são carregados os programas nas diversas estações e se caracteriza como uma fase de tráfego intenso mas sem tempos críticos. A fase de operação se caracteriza pelo processamento

normal do sistema enquanto que na fase especial são enquadradas todas as anomalias que podem ocorrer no sistema.

#### 5.1.5 Custos

Os principais elementos a serem considerados no levantamento dos custos de instalação de uma rede local para a automação da manufatura são:

- custo das estações da rede (hardware e software);
- software e hardware para interligar as estações da rede com as unidades do usuário;
- software específico para a camada de aplicação necessário para a operação da rede;
- desenvolvimento de software específico para a aplicação;
- treinamento de pessoal.

#### 5.2 ANÁLISE DOS ASPECTOS DE COMUNICAÇÃO EM UMA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

A operação de uma célula flexível de manufatura pode ser caracterizada por três fases:

- Inicialização: onde são enviados os programas e parâmetros para a preparação das diversas unidades da célula;
- Operação: onde desenvolvem-se as operações normais de produção da célula;
- Especial: quando ocorrem eventos especiais, tais como:
  - . alarmes em função de anomalias no processo;
  - . eventos previstos mas não rotineiros durante a fase de operação da célula;

- . testes e otimização de programas;
- . solicitação de alteração de parâmetros ou programas.

A frequência e o número de dados das comunicações nas fases de inicialização e operação podem ser determinados em função das características de operação da célula, enquanto que a ocorrência de comunicação na fase especial depende de eventos não rotineiros.

As necessidades de comunicação são específicas para cada célula em função de suas unidades e das características de operação da mesma. Para fazer uma análise mais detalhada será idealizada uma célula de referência cujas características estão descritas a seguir.

Para a previsão de tráfego foi idealizada uma célula conforme mostra a figura 5.2. A determinação do fluxo de informações desta célula será feito com base numa rede local genérica e posteriormente será feita uma análise da adequação da rede PDVnet para a interligação das unidades desta célula.

#### 5.2.1 Características de operação de uma célula de referência

A célula é controlada por um computador central que está interligado com as diversas unidades da célula por uma rede local. Um terminal de operação é usado para o gerenciamento da célula e troca de informações entre o operador/supervisor da célula e o computador central.

Existem dois tipos de peças brutas (A e B) que estão ao alcance do robô cartesiano, são retiradas pelo mesmo e colocadas numa estação de identificação (EI).

Após a identificação o robô retira a peça da EI e armazena em um dos dois depósitos de peças brutas identificadas (AA e AB).

A peça A é processada no centro de usinagem M1, passa por uma operação de limpeza, e é inspecionada na estação de medição (EM). Se estiver dentro



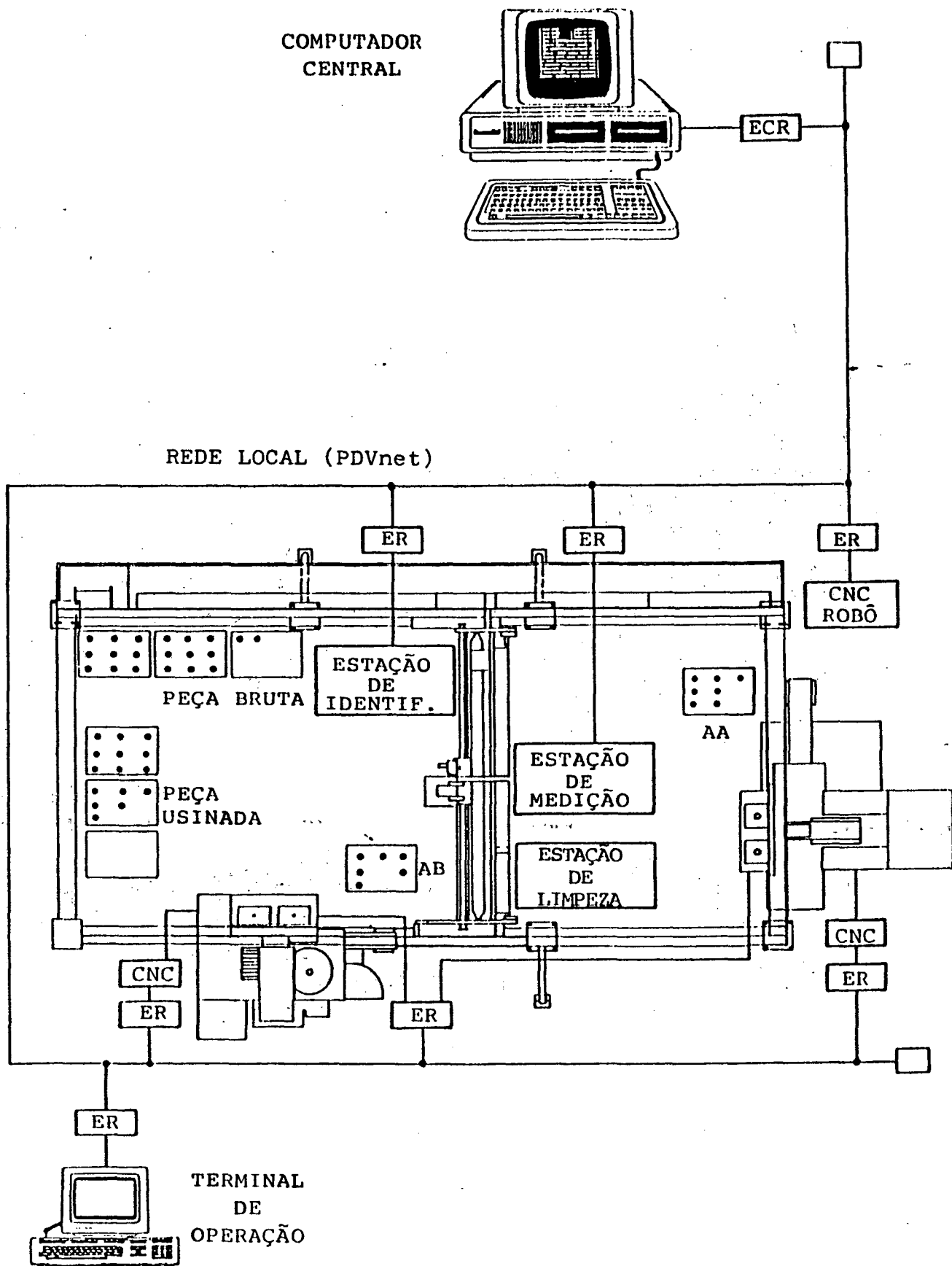


Fig. 5.2 - Célula flexível de manufatura

da faixa de tolerância é enviada para a usinagem no centro de usinagem M2, caso contrário ela é refugada.

A peça B é processada somente no centro de usinagem M2, inspecionada na estação de medição e classificada pelo computador central.

No computador central existe um sistema de análise de tendência que solicita, quando necessário, uma alteração nos parâmetros das ferramentas ao operador/supervisor da célula.

A determinação da seqüência de comunicações durante um ciclo de produção da célula deve ser feita com procedimentos especiais /103/ para se fazer uma otimização dos tempos de transporte, manuseio e de máquina. Para a determinação das necessidades de comunicação da célula tomada como referência o ciclo de produção foi considerado de tal forma, que enquanto o centro M1 faz a usinagem de uma peça A o centro M2 possa usinar uma peça A e uma B.

#### 5.2.2 Considerações sobre as funções e características de comunicação de cada unidade da célula de referência

As necessidades de comunicação de cada unidade da célula são identificadas e lançadas num quadro segundo a fase de operação a que pertencem. É feito um quadro para cada unidade da célula, que está ligado à rede, em que são registradas as características de todas as suas comunicações.

Uma vez identificadas as necessidades de comunicação de todas as unidades da célula é feito um quadro geral em que são colocadas todas as necessidades de comunicação da célula em cada fase e os tempos necessários para executá-los por um determinado sistema de comunicação.

A seguir são descritas as características de comunicação existentes no

computador central (CC) e em cada uma das unidades da célula.

a) CNC - Centros de usinagem M1 e M2 (fig. 5.3 e 5.4)

O centro de usinagem M1 faz a usinagem da peça A (programa X), enquanto que o centro M2 faz a usinagem das peças A (programa Y) e B

FASE	DA EST.	PARA EST.	TIPO DE COMUNICAÇÃO	INTERVALO ENTRE SOLICIT.	TEMPO REAÇÃO CRÍTICO	Volume Inform. msg byte	OBSERVAÇÕES
INICIO	CC	CNC1	downl. prog	0,5-4h	não	8k	início lote
	CC	CNC1	downl. par.	"	não	540	ou peça nova
	CC	CNC1	comando	"	não	1 10	exec. prog. X
OPERAÇÃO	CC	CNC1	comando	ciclo/1	não	1 10	exec. prog. X
ESPECIAL	CNC1	CC	upload pro.	eventual	não	8k	salvar progr.
	CNC1	CC	upload par.	"	não	540	salvar param.
	CC	CNC1	downl. prog.	"	não	8k	progr. novo
	CC	CNC1	downl. par.	"	não	540	alterou ferr.

Fig. 5.3 - Necessidades de comunicação do CNC do centro de usinagem M1

FASE	DA EST.	PARA EST.	TIPO DE COMUNICAÇÃO	INTERVALO ENTRE SOLICIT.	TEMPO REAÇÃO CRÍTICO	Volume Inform. msg byte	OBSERVAÇÕES
INICIO	CC	CNC2	downl. prog	0,5 4h	não	5k	início lote
	CC	CNC2	downl. prog	"	não	5k	início lote
	CC	CNC2	downl. par.	"	não	540	ou peça nova
OPERAÇÃO	CC	CNC2	comando	ciclo/1	não	1 10	exec. prog. X
	CC	CNC2	comando	ciclo/1	não	1 10	exec. prog. Y
ESPECIAL	CNC2	CC	upload pro.	eventual	não	5k	salvar progr.
	CNC2	CC	upload par.	"	não	540	salvar param.
	CC	CNC2	downl. prog.	"	não	5k	progr. novo
	CC	CNC2	downl. par.	"	não	540	alterou ferr.

Fig. 5.4 - Necessidades de comunicação do CNC do centro de usinagem M2

(programa Z). Um comando enviado ao CNC de M2 permite a execução de um determinado programa (Y ou Z) que está armazenado em sua memória.

A seguir são citadas as características consideradas necessárias e existentes nos CNCs da célula e que na prática ainda não estão disponíveis nos CNCs.

- receber programas do computador central sem intervenção do operador;
- receber comandos, via rede, para executar um determinado programa existente na memória.

b) EMO - Estação de monitoração (fig. 5.5)

Uma estação de monitoração será usada para detectar a entrada e saída de estrados nas máquinas e a existência de peça fixada no estrado. A movimentação de um estrado e a detecção de uma peça colocada no mesmo faz com que a estação envie esta informação ao computador central.

FASE	DA EST.	PARA EST.	TIPO DE COMUNICAÇÃO	INTERVALO ENTRE SOLICIT.	TEMPO REAÇÃO CRÍTICO	Volume Inform. msg byte		OBSERVAÇÕES
INICIO	CC	EMO	download	0,5-4h	não	500		programa de controle
OPERAÇÃO	EMO	CC	evento	ciclo/3	não	3	16	peça colocada
	EMO	CC	evento	ciclo/3	não	3	16	entrou estrado
	EMO	CC	evento	ciclo/3	não	3	16	saíu estrado
ESPECIAL	EMO	CC	alarme	eventual	não	1	30	problema com estrado

Fig. 5.5 - Fluxo de informações na estação de monitoração

c) CNC - Robô cartesiano (fig. 5.6)

Um robô cartesiano faz a manipulação das peças entre as diversas

unidades da célula. Foram consideradas como existentes as seguintes possibilidades:

- receber programas do computador central sem a intervenção do operador;
- receber e executar comandos como:
  - . pegar peça bruta e posicionar no SI;
  - . armazenar peça em AA ou AB;
  - . pegar peça A ou B (em AA ou AB), colocar num estrado (P1x ou P2x) e acionar o dispositivo de fixação;
  - . pegar peça em P1x ou P2x, fazer a limpeza e colocar na estação de medição;
  - . pegar peça na EM e colocar nas saídas (bom ou refugo);
  - . pegar peça na EM e colocar em P2x.

FASE	DA EST.	PARA EST.	TIPO DE COMUNICAÇÃO	INTERVALO ENTRE SOLICIT.	TEMPO REAÇÃO CRÍTICO	Volume Inform. msg byte		OBSERVAÇÕES
INICIO	CC CC	R R	downl. prog downl. par.	0,5-4h "	não não	8k 500		início lote
OPERAÇÃO	CC	R	comando	ciclo/2	não	2	15	ident. peça
	CC	R	comando	ciclo/2	não	2	15	armaz. peça
	CC	R	comando	ciclo/3	não	3	15	peça p/pallet
	R	CC	resposta	ciclo/3	não	3	15	peça colocada
	CC	R	comando	ciclo/3	não	3	15	medir peça
	CC	R	comando	ciclo/3	não	3	15	ret. peça EM
ESPECIAL	R	CC	alarme	eventual	não	1	30	ausência peça
	CC	R	download	"	não	500		colisão garra alterar parametros

Fig. 5.6 - Fluxo de informações na estação do robô

d) EI - Estação de Identificação (fig. 5.7)

Faz a identificação das peças e deve ter as seguintes funções:

- receber programas/parâmetros para identificação de peças do computador central;

- detectar a presença de uma peça, fazer a identificação e enviar o resultado ao computador central.

A estação possui um sistema de detecção de presença de peça, e a partir desta informação faz a identificação da mesma, sendo portanto desnecessário solicitar a realização de identificação. As características das peças (A e B) são transmitidas durante a inicialização para a estação de identificação.

FASE	DA EST.	PARA EST.	TIPO DE COMUNICAÇÃO	INTERVALO ENTRE SOLICIT.	TEMPO REAÇÃO CRÍTICO	Volume Inform.		OBSERVAÇÕES
						msg	byte	
INICIO	CC	EI	downl. prog	0,5-4h	não		5k	início lote
OPERAÇÃO	EI	CC	evento	ciclo/2	não	2	30	identificação de peça
ESPECIAL	EI	CC	alarme	eventual	não	1	30	peça mal col. peça não identificada

Fig. 5.7 - Fluxo de informações na estação de identificação

e) EM - Estação de Medição (fig. 5.8)

A estação de medição deve executar as seguintes funções:

- receber programas de controle da medição do computador central;
- detectar a presença de peça para iniciar a execução de um comando de medição solicitado;
- receber e executar comandos como: medir parâmetro Z da peça B e após conclusão enviar resultado ao computador central.

FASE	DA EST.	PARA EST.	TIPO DE COMUNICAÇÃO	INTERVALO ENTRE SOLICIT.	TEMPO REAÇÃO CRÍTICO	Volume Inform.		OBSERVAÇÕES
						msg	byte	
INÍCIO	CC	EM	Programa de medição	0,5-4h	não		2k	informar modo de medição
OPERAÇÃO	CC	EM	comando medição X da peça Y	ciclo/3	não	3	6	estação detecta peça colocada
	EM	CC	dados da medição	ciclo/3	não	3	30	identificação e resultados
ESPECIAL	EM	CC	alarme	eventual	não	1	15	peça não colocada alterar programa
	CC	EM	download	"	não		2k	

Fig. 5.8 - Fluxo de informações na estação de medição

- fazer controle do tempo máximo para recebimento de peça após solicitação de medição para detectar peças mal colocadas.
- avisar a ocorrência dos limites de tempos máximos fixados ao computador central.

Um programa enviado à estação de medição na inicialização contém informações sobre o tipo de medição de cada peça, permitindo que na fase de operação sejam enviados comandos de medição específicos.

f) TER - Terminal de operação (fig. 5.9)

O terminal de operação é o meio de comunicação entre o operador/supervisor da célula e as demais unidades, especialmente com o computador central. Através dele o operador pode:

- solicitar a programação da produção;
- fazer a inicialização da célula;

- receber informações sobre a operação do sistema;
- informar detalhes ocorridos durante a operação;
- receber/fazer solicitação de manutenção.

Para a inicialização da célula o operador solicita um conjunto de programas necessários para a execução de um determinado ciclo de produção. O terminal também permite carregar (download) e armazenar (upload) programas ou parâmetros de ferramentas na fase de teste.

No terminal de operação também deve existir um conjunto de funções, facilmente acessíveis, que permitem:

- desligar isoladamente as unidades (Robô, M1 e M2);

FASE	DA EST.	PARA EST.	TIPO DE COMUNICAÇÃO	INTERVALO ENTRE SOLICIT.	TEMPO REAÇÃO CRÍTICO	Volume Inform.		OBSERVAÇÕES
						msg	byte	
INICIO	TER	CC	Solicita programação da produção	0,5-4h	não	1	10	início turno ou novo lote
	CC	TER	Envia programação	0,5-4h	não		2k	"
	TER	CC	Solicita prog. peça x	"	não	1	15	sol. conjunto de programas
	CC	TER	confirma solicitação	"	não	1	30	Indica quais programas são enviados
	CC	TER	Confirma envio	"	não	5	30	confirma cada programa env.
OPERAÇÃO	TER	CC	Informações sobre operação do sistema	ciclo/2	não	2	30	Requisição transporte peças Avisos produção sintomas
ESPECIAL	CC	TER	sinalização e indicação de alarmes	eventual	não	3	30	operador deve solucionar problema operador ve problema e manda interromper
	TER	R CNC1 CNC2	problema geral		sim	3	10	

Fig. 5.9 - Fluxo de informações na estação do terminal de operação



- desligar todas as unidades.

Estas funções permitem ao operador, em caso de emergência, interromper a operação das unidades com problema. Estas funções geram mensagens que devem ser transmitidas diretamente da estação do terminal de operação para as unidades, pois representam eventos com tempos de reação críticos.

### 5.2.3 Análise da adequação de uma rede PDVnet para a CFM

Na figura 5.10 estão colocados os tempos, totais e parciais, necessários para as comunicações das unidades da célula através da rede PDVnet disponível e instalada no LABMETRO/CERTI, que na verdade apresenta um baixo desempenho devido a falta de uma placa da rede para ser acoplada diretamente no barramento do computador central. Como base de cálculo foram utilizados os valores medidos em um sistema com 7 estações ativas e nenhuma inativa (ver 2.3). Estes valores permanecem praticamente inalterados para a operação do sistema com 4, 5, 6 ou 7 estações ativas, o que vem a confirmar a limitação existente na ligação entre ECR e o computador central. A existência de uma estação inativa aumenta o tempo total necessário para as transmissões durante a fase de operação em praticamente 50% devido ao aumento significativo dos tempos de leitura nas estações da rede (ver 2.3.2).

O tempo necessário para as comunicações durante a fase de produção, comparado com os tempos de movimentação e usinagem da peça é desprezível.

As mensagens necessárias durante a fase de operação da célula são todas com um número reduzido de dados, se encaixando perfeitamente na filosofia utilizada na especificação da rede PDVnet.

Nas fases de inicialização e operação da célula não foram verificadas condições com tempos de resposta crítico. Na fase especial podem existir

EQUIPAMENTO FASE	TERMINAL DE OPERAÇÃO			ESTAÇÃO DE MEDIÇÃO			CNC ROBO			CNC1			CNC2			ESTAÇÃO DE IDENTIFIC.			MONITORAÇÃO DE ESTRADOS			TEMPO TOTAL	
	NÚM MSG	DIM. BYTE	ms	NÚM MSG	DIM. BYTE	ms	NÚM MSG	DIM. BYTE	ms	NÚM MSG	DIM. BYTE	ms	NÚM MSG	DIM. BYTE	ms	NÚM MSG	DIM. BYTE	ms	NÚM MSG	DIM. BYTE	ms	ms	
INICIO	1	10	30		2k	880		8k	3520		8k	3520		5k	2200		5k	2200		500	220	16601	
		2k	880					540	237		540	237		5k	2200		5k	2200					
	1	15	35					1	10	25													
	1	30	30																				
	5	30	150																				
OPERAÇÃO	2	30	100	3	6	75	13	15	325				2	10	50	2	30	100	9	16	315	1220	
				3	30	150	3	15	105														
	2	30	100	3	6	234	13	15	325				2	10	50	2	30	160	9	16	495	1819	
				3	30	240	3	15	165													*	
ESPECIAL	3	30	90	1	15	25	1	30	30		8k	11080		5k	6925	1	30	30	1	30	30	27090	
	3	10	90		2k	880		500	220		540	748		540	748								

\* com 1 estação inativa

Fig. 5.10 - Comunicações na célula de referência - desempenho da rede PDVnet

tempos de reação críticos em que o operador/supervisor da célula deve ter condições de interromper o funcionamento de determinadas unidades da célula. Nestes casos porém o tempo para a transmissão da mensagem na rede é bem menor que o tempo de reação do operador.

A estação de controle para fazer a monitoração das entradas e saídas de estrados nos centros de usinagem é uma aplicação típica para as estações da rede PDVnet utilizada, em que funções de controle/monitoração simples podem ser integradas nas próprias estações da rede.

O volume de tráfego existente na rede em qualquer uma das fases de operação da célula é bastante baixo e pode perfeitamente ser atendido pela rede PDVnet, mesmo com uma taxa de transmissão de 200 kbit/s e uma interface paralela entre ECR e o computador central.

As maiores restrições estão na capacidade das unidades da célula (CNC do robô e dos centros de usinagem) se comunicarem de modo transparente com a rede sem a necessidade da intervenção do operador/supervisor local.

A rede PDVnet possui distância de Hamming de 4, garantindo desta forma a integridade dos dados transmitidos, e aceita interfaces e protocolos específicos do usuário para cada aplicação. As análises de custos fogem ao escopo deste trabalho.

## 6. ESTAÇÃO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E DIAGNÓSTICO

Após descrever os objetivos, metodologia e principais formas de operação de uma estação de avaliação de desempenho e diagnóstico será descrita a estação implantada numa rede PDVnet.

### 6.1 OBJETIVOS

Diversos estudos teóricos sobre desempenho de redes locais têm sido feitos, principalmente sobre redes com método de acesso CSMA, mas poucas avaliações práticas, deste método de acesso, foram realizadas /38,104,105,106/. Raríssimos trabalhos analisam o desempenho de redes com passagem de ficha /107,108,109/ pois ele é determinístico, e nenhuma informação sobre a avaliação prática deste tipo de rede foi conseguida na literatura. A simulação fornece uma série de informações importantes para a comparação e avaliação de métodos de acesso, sem a necessidade física da rede. Uma avaliação prática do desempenho de uma rede local, além de confirmar, ou não, os resultados da simulação, possibilita a determinação das reais condições de operação da rede representada por fatores como:

- taxas reais de utilização da rede em configuração específica;
- comportamento com uso indevido da rede;
- tendências e evolução na sua utilização;
- identificação de causas de congestionamentos;
- tempos de resposta;
- confiabilidade da rede.

Uma estação de avaliação de desempenho e diagnóstico é uma ferramenta imprescindível durante a fase de testes, realizados na implantação de um sistema de comunicação, e no diagnóstico de falhas, existentes em estações,

no próprio sistema de transmissão ou produzidas pelo usuário.

## 6.2 METODOLOGIA

A estação de avaliação de desempenho e diagnóstico pode ser instalada de forma centralizada em uma única estação da rede (fig. 6.1) ou de forma distribuída em todas as estações da rede e deve ter a menor participação possível nas atividades da mesma para minimizar a interferência nas condições de operação da rede. As estações centralizadas são normalmente utilizadas em avaliação de desempenho de redes em operação enquanto que sistemas de avaliação distribuídos tem sido utilizados somente em estudos com cargas simuladas.

A monitoração do tráfego da rede deve ser feito em tempo real com a possibilidade de instalação de filtros para isolar mensagens com determinadas características (destino ou fonte, tipo de mensagem, etc) bem como permitir o controle do início e intervalo de aquisição por meio de parâmetros específicos (manual, tempos, horários, erros, etc). As informações recebidas devem ser armazenadas para um processamento posterior.

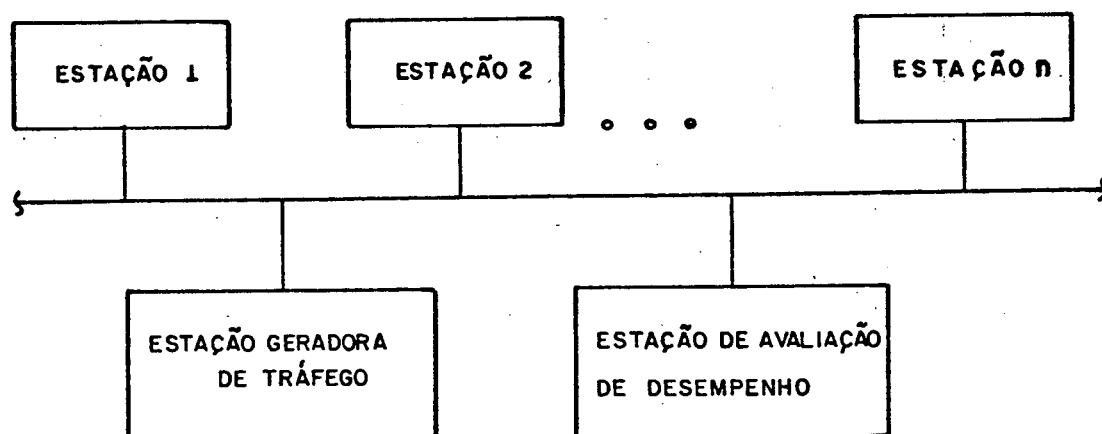


Fig. 6.1 - Configuração de rede local para avaliação de desempenho

Para fazer uma avaliação das influências do tráfego de informações na rede sobre os tempos e a capacidade de transmissão deve ser implantada uma EGT (estação geradora de tráfego). Esta estação pode ser ativada ou desativada localmente ou a partir de outra estação (fig. 6.1), e deve ter a capacidade de gerar diversos tipos de tráfego, com pacotes de tamanho variável e também com intervalos variáveis entre os diversos pacotes.

A possibilidade de programar um determinado tráfego artificial sobre a rede, através da EGT, permite uma análise de seu comportamento com diversos tipos e níveis de carga.

### 6.3 FORMAS DE OPERAÇÃO

#### 6.3.1 Determinação do perfil do tráfego

Para conhecer o perfil do tráfego existente na rede é necessário que todas as comunicações realizadas, via rede, sejam analisadas pela estação de avaliação para obter os diversos valores que caracterizam o tráfego existente na rede. Entre os principais fatores estão os abaixo relacionados:

- taxas de utilização da rede
  - . mensagem/s
  - . byte/s
- instante de ativação e desativação de cada estação;
- taxa média de transmissão de cada estação;
- histograma do tamanho das mensagens;
- histograma do tipo de mensagens;
- taxas de erro.

### 6.3.2 Monitoração do tráfego

A monitoração do tráfego existente na rede é de fundamental importância para o diagnóstico de falhas existentes no sistema e exige que

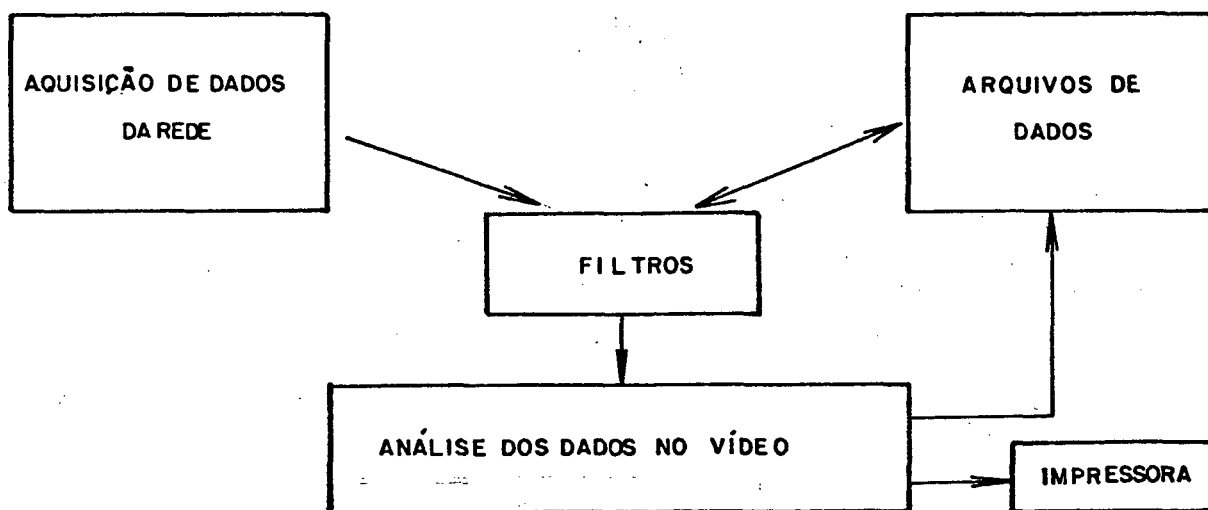


Fig. 6.2 - Estrutura de uma estação de avaliação de desempenho

INSTANTE DA RECEPÇÃO h : min : s : ms	NÚMERO DE BYTE	ENDEREÇO FONTE	ENDEREÇO DESTINO	MENSAGEM
13:39:03:670	01	03	01	80
13:39:03:671	06	01	03	06 03 00 32 32 0D
13:39:03:791	06	03	01	6F 03 00 45 53 0D
13:39:39:883	01	01	03	80
13:39:39:883	01	03	01	89
13:39:39:884	06	01	03	06 03 00 33 33 0D

Fig. 6.3 - Matriz do conjunto de comunicações

todas as comunicações realizadas sejam armazenadas em uma matriz para posterior análise com o auxílio de filtros específicos.

Esta monitoração pode ser geral ou seletiva por meio de filtros previamente ativados, conforme mostra o fluxo de informações na figura 6.2.

Uma análise posterior, ou "offline", pode ser feita com todos os dados recebidos ou de forma seletiva. Na análise seletiva podem ser usados filtros especiais para selecionar as informações de interesse.

Numa matriz completa (fig. 6.3) podem ser listadas todas as mensagens recebidas pela estação e o instante em que ocorreu a recepção, enquanto que, em matrizes seletivas específicas são listadas somente as mensagens recebidas ou enviadas pelas estações de acordo com os filtros instalados.

Nestas matrizes cada linha representa uma mensagem. O primeiro número indica o instante da recepção, sendo a seguir especificado o número de bytes da mensagem, endereço da estação fonte e destino e a mensagem propriamente dita.

#### **6.4 EAVD - ESTAÇÃO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E DIAGNÓSTICO DE UMA REDE**

##### **LOCAL PDVnet**

A implantação de uma rede PDVnet na automação da manufatura, inclusive com funções de controle integradas nas próprias estações da rede, é facilitada através de um sistema de teste e diagnóstico.

O objetivo maior da EAVD (estação de avaliação de desempenho e diagnóstico) é verificar as características do sistema PDVnet a nível de enlace. Esta estação possibilita a monitoração de todas as mensagens enviadas pelo meio de transmissão, inclusive as de gerenciamento da rede. A estação poderá ser ampliada para atender necessidades específicas do usuário.



A EAVD destina-se ao diagnóstico de falhas, contínuas ou intermitentes, em estações da rede ou no sistema do usuário. Na fase de instalação de um sistema, com utilização da rede PDVnet, a EAVD pode ser usada como ferramenta para acompanhar todas as comunicações efetuadas entre as estações. Isto proporciona uma facilidade e maior rapidez na localização e diagnóstico de falhas. Para aplicações em tempo real, a EAVD pode fornecer informações sobre o ciclo da rede, tempos de reação de estações e processos, bem como outras características de operação da rede.

Para sistemas em operação normal, a EAVD pode fornecer um acompanhamento estatístico de diversas variáveis representativas das atividades da rede.

A EAVD pode ser instalada em qualquer ponto da rede sem alterar suas

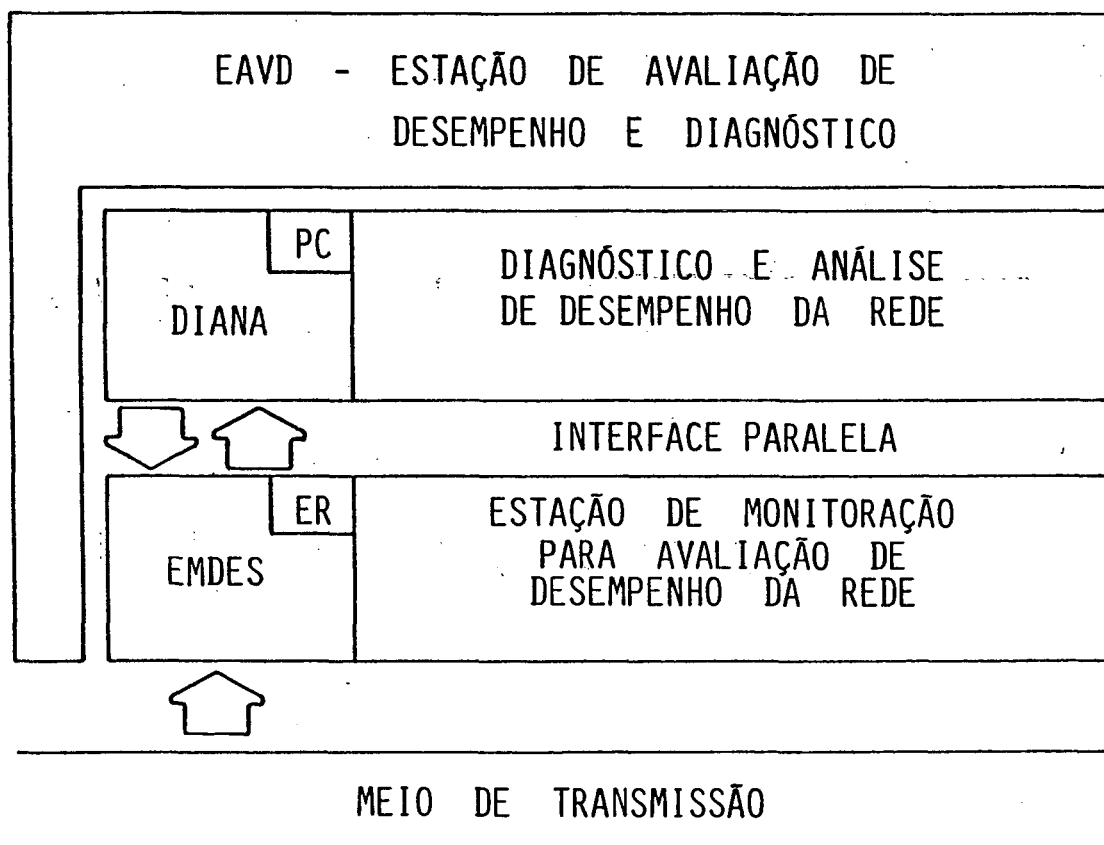


Fig. 6.4 - Estrutura da estação de avaliação de desempenho e diagnóstico

condições de operação, e é composta de duas partes: uma estação monitora com software específico para a avaliação de desempenho (EMDES) que recebe as mensagens, e um software para diagnóstico e análise (DIANA) instalado num computador do tipo PC. A falta de uma estação da rede que pudesse ser conectada diretamente ao barramento do PC forçou a instalação de uma interface paralela (fig. 6.4) entre o PC (DIANA) e a estação da rede (EMDES).

Para evitar o armazenamento de um número excessivo de dados, muitas vezes desnecessários, a estação monitora (EMDES) possui um filtro que permite uma seleção entre a monitoração de mensagens e a monitoração geral. Na monitoração de mensagens somente são recebidas as mensagens, para posterior análise, enquanto que na monitoração geral tanto as mensagens enviadas pelos usuários quanto o tráfego de gerenciamento da rede são armazenadas na EMDES, e em seguida enviadas para a estação de diagnóstico e análise (DIANA).

A estação monitora (EMDES) permite a seleção entre recepção de mensagens e recepção geral enquanto que o software implantado no PC (DIANA) permite fazer um acompanhamento em tempo real, e uma análise posterior (offline) do tráfego na rede.

O sistema DIANA opera de forma iterativa com o usuário. Inicialmente é definido um tempo de análise durante o qual são recebidas as informações da EMDES. Como alternativa pode ser fixado o número de mensagens para análise. Atingido o marco fixado, os dados recebidos e os resultados globais são gravados juntamente com os parâmetros do ensaio.

O acompanhamento em tempo real pode ser feito em uma tela /110/ em que são colocados diversos totalizadores que indicam o tráfego na rede, ou numa tela em que são mostrados os conteúdos das mensagens transmitidas e o instante em que aconteceu a recepção da mesma. Como instante de recepção é considerado o instante em que o primeiro byte da mensagem chega no PC. Há,

portanto, a desconsideração do tempo de transmissão sobre o meio físico, o tempo de processamento na EMDES e o tempo de transmissão do primeiro byte entre esta e o PC. O tempo de transmissão sobre o meio físico e o tempo de processamento na EMDES são bem menores que o tempo de reação de uma estação e podem ser desconsiderados. A transmissão entre a EMDES e o PC, através da interface paralela, pode ocasionar um acúmulo temporário de dados no "buffer" da EMDES quando for feita uma monitoração geral e existirem mensagens com um número elevado de dados. Desta forma há um atraso considerável entre o instante da recepção da mensagem na EMDES e o instante da recepção no PC. Este atraso pode ser evitado com a implantação de uma EMDES diretamente no barramento do PC ou pela instalação de um relógio na EMDES. A recepção, tanto no PC quanto na EMDES, é feita por meio de interrupção garantindo desta forma a recepção total dos dados.

Uma análise posterior, ou "offline", pode ser feita com todos os dados recebidos pela EMDES ou de forma seletiva. Na análise seletiva pode ser ativado um filtro que permite a escolha de 1 a 5 estações para análise (fig. 6.5). Tanto a análise seletiva como a geral permitem a obtenção dos seguintes relatórios:

- matriz completa das mensagens;
- matriz seletiva das mensagens;
- histograma do tamanho das mensagens;
- histograma do tipo de mensagens;
- parâmetros e resultados globais do ensaio.

A análise é feita a partir de uma tela (fig. 6.5) que, além da emissão de relatórios permite a leitura e a gravação de arquivos, bem como, a opção de saída entre o terminal de vídeo e a impressora.

A matriz completa lista todas as mensagens recebidas pela EMDES e o instante em que ocorreu a recepção, enquanto que, a matriz seletiva lista

somente as mensagens recebidas ou enviadas pelas estações selecionadas /110/.

No histograma tamanho de mensagens é feito um gráfico de barras das mensagens enviadas segundo o seu tamanho (função, 2 byte, 4 byte ou bloco) enquanto que no histograma do tipo de mensagens (fig. 6.6) elas são classificadas segundo o seu tipo em:

- GER - gerenciamento;
- LDI - leitura direta;
- EDI - escrita direta;
- LIN - leitura indireta;
- EIN - escrita indireta;
- LBY - leitura byte;
- EBY - escrita byte;

#### A N A L I S E

ESTACOES PARA ANALISE ..:

LISTA BUFFER.....NA TELA : ( )  
NA IMPRESSORA : ( )  
NOME DO ARQUIVO....< >.....LER : ( )  
GRAVAR : ( )  
LISTA PARAMETROS.....NA TELA : ( )  
HISTOGRAMA.....TAMANHO DA MENSAGEM : ( )  
TIPO DA MENSAGEM : ( )

ARQ. EM ANALISE:

F4 - VOLTA A TELA PRINCIPAL

F5 - EXECUTA

Fig. 6.5 - Tela de controle de entrada e saída de dados para análise

- RSD - resposta sem dados;
- R2D - resposta com 2 dados;
- R4D - resposta com 4 dados;
- RBL - resposta em forma de bloco.

Os parâmetros do ensaio fazem sua identificação (data, hora, tempo de ensaio, nome do arquivo), enquanto que os resultados globais (fig. 6.7) constam das seguintes informações:

- número de repetições (nmr);
- número de mensagens enviadas (nmt) e recebidas (nmr) por cada estação;
- número de não reconhecimentos (nak);

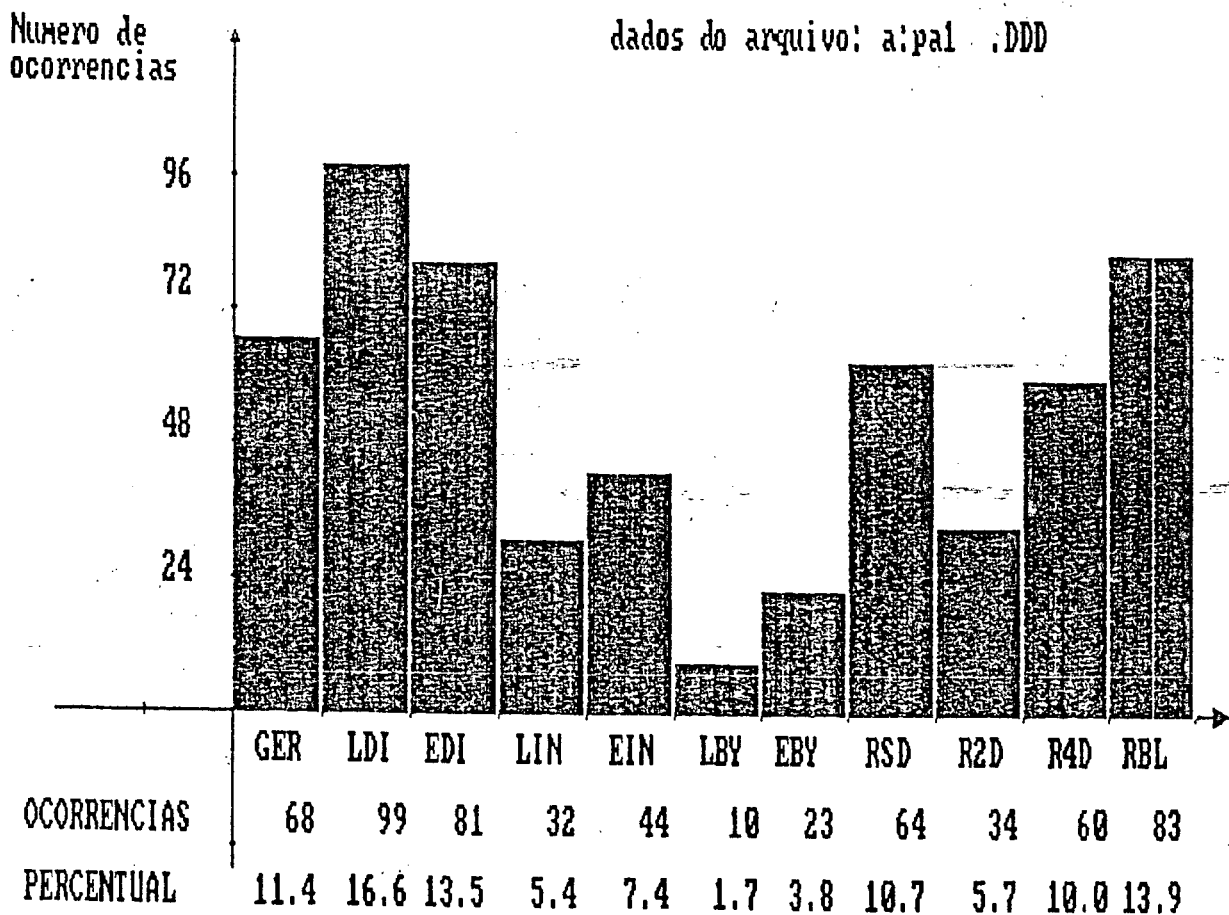


Fig. 6.6 - Histograma do tipo de mensagens transmitidas

- número de mensagens segundo seu tipo;
- número de mensagens segundo seu tamanho;
- tempo médio, mínimo e máximo entre operações consecutivas de uma estação [ms];
- taxa de transmissão média [byte/s];
- tamanho médio das mensagens [byte];
- alterações de estado das estações.
- número de repetições (nmr);

As alterações de estado das estações fornecem informações sobre quais as estações que foram ligadas ou desligadas durante o período de análise e o instante em que o fato ocorreu.

#### EAVD - ESTACAO DE AVALIACAO DE DESEMPENHO DA REDE PDV

```

data do ensaio      :      1: 1:1980          inicio do ensaio   :      1:38:28
duracao do ensaio  :      0: 3:53          nome do arquivo   :      a:pa1 .DDD

funcao = 158          gerenciamento = 68          leitura de byte   = 10
2 dados = 44         leitura direta = 99          escrita de byte   = 23
4 dados = 220        escrita direta = 81          resposta sem dados = 64
blocos = 178         leitura indireta = 32       resposta c/2 dados = 34
                                     escrita indireta = 44       resposta c/4 dados = 60
                                     resposta bloco   = 83

nmt[2]= 161  nmr[2]= 129  nak[2]= 64  nmt[3]= 7  nmr[3]= 6  nmt[4]= 8
nmr[4]= 1  nmt[5]= 13  nmr[5]= 13  nmt[6]= 168  nmr[6]= 92

ESTACOES ATIVAS DURANTE O ENSAIO :2 3 4 5 6
ESTACAO  OCORRENCIA  HORA
5        desligou as 1:41:49:429
5        ligou as 1:41:49:430

Numero de BYTE/MENSAGEM = 11.9
Numero de MENSAGENS/SEGUNDO = 2.6
TAXA DE TRANSMISSAO MEDIA = 30.6 [byte/s]

```

Fig. 6.7 - Resultados gerais de um ensaio

#### 6.5 ASPECTOS COMPLEMENTARES

A utilidade da EAVD foi comprovada na fase de testes de implantação de

unidades de controle e de software aplicativo. A EAVD se constitui numa ferramenta muito útil para o acompanhamento e monitoração durante a fase de integração de sistemas de automação. Especialmente para a integração entre células de fabricação e sistemas de controle (transporte, manipulação de peças e ferramentas, controle de qualidade, etc.). Apesar da interface paralela entre EMDES e PC (solução emergencial adotada) não atender a máxima taxa de transmissão necessária, ela raramente causa atrasos prejudiciais à análise dos resultados.

## 7. ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO PDVNET PARA A AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA

Neste capítulo mostra-se como o sistema de transmissão PDVnet se situa frente ao modelo OSI e ao protocolo MAP tecendo-se considerações sobre as possibilidades de uma compatibilização entre PDVnet e MAP.

São descritos os modos de interligação realizados entre diversos equipamentos, típicos da automação da manufatura, com estações da rede PDVnet, bem como detalhes da implantação de software e operação de cada módulo interligado.

### 7.1 ATENDIMENTO À NORMAS INTERNACIONAIS

#### 7.1.1 Relação com o modelo básico de referência ISO/OSI

A especificação do sistema de transmissão PDVnet foi iniciada praticamente em paralelo com os trabalhos que definiram o modelo básico de referência OSI, portanto não usou este modelo como referência. As aplicações a que se destina o sistema de transmissão PDVnet, como rede de supervisão a nível de processo, semelhantemente ao MiniMap, não necessitam da implementação de todas as camadas do modelo básico de referência. A figura 7.1 mostra a relação existente entre o modelo ISO/OSI e o PDVnet.

A camada 1 (Físico) não é especificada no protocolo PDVnet, possibilitando desta forma a utilização de diversos meios físicos (cabo coaxial, fibra óptica, par trançado, etc) . Para atender a estas possibilidades foi definida a Interface Serial Digital (ISD), entre as camadas 1 e 2, que permite o uso de acopladores específicos para cada meio de transmissão.



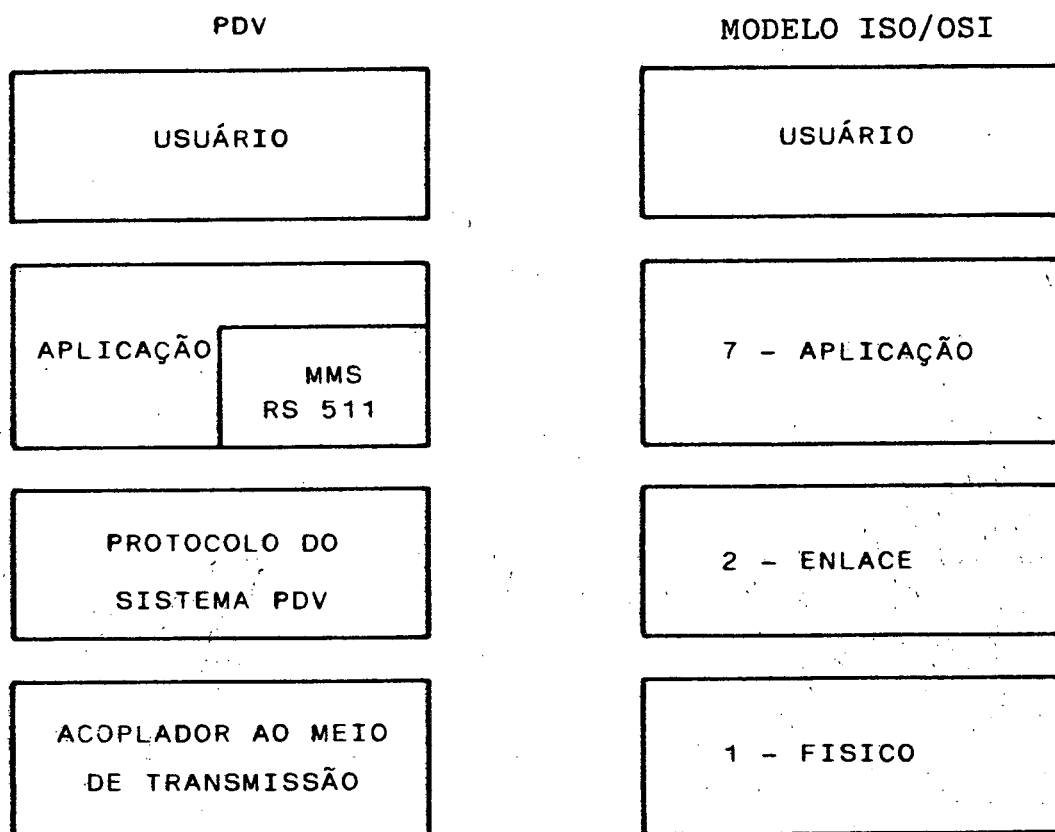


Fig. 7.1 - Relação existente entre o sistema PDVnet e outros padrões

O protocolo de transmissão PDVnet implementa diversas funções que equivalem a camada 2 (Enlace) do modelo ISO/OSI. Há porém algumas funções específicas destinadas a agilizar aplicações em tempo real e que se enquadram na camada aplicação do modelo básico de referência. Estas funções são:

Escrita Direta

e

Leitura Direta.

As camadas superiores (3 a 7) não são especificadas pela norma que define o sistema PDVnet /36/. O objetivo na definição desta norma foi especificar um sistema de transmissão para interligar equipamentos com

diversos tipos de interfaces e protocolos, normalmente de diversos fabricantes, e permitir a cada usuário implementar a sua própria aplicação, correspondendo a uma necessidade bastante comum nos tempos atuais, quando se iniciam trabalhos de integração.

#### 7.1.2 Relação com MAP

Diversas normas das camadas inferiores para redes locais já estão consolidadas a nível internacional e foram utilizadas na definição do protocolo MAP. Os trabalhos atuais se concentram na definição das camadas superiores. Especificamente, para aplicações na automação industrial os esforços se concentram na definição da camada de aplicação. Neste sentido, a atividade mais significativa é a definição do protocolo aplicativo MMS (Manufacturing Message System), mais conhecido como RS-511, que em 1988 passou a condição de norma ISO padrão internacional /111,112/. No RS-511 foram definidas funções e objetos genéricos que devem ser detalhados para aplicações específicas. Os trabalhos atuais se situam nesta área e procuram definir aplicações específicas para robótica, CLP, CNC e sistemas de controle, denominados "Companion Standard" /64,111/.

Um subconjunto deste protocolo aplicativo pode ser utilizado na camada de aplicação da rede PDVnet (fig. 7.1) e assim obter uma compatibilidade a nível de aplicação com as atuais normas internacionais. Fazendo a implantação de alguns sub-conjuntos do RS-511 e os padrões "companion" específicos da aplicação desejada, pode-se usar numa rede PDVnet todos os aplicativos desenvolvidos com base nestes sub-conjuntos do RS-511.

Os protocolos Proway C e PDVnet especificam um serviço de enlace com reconhecimento para atender os requisitos de tempo real na automação industrial e MAP também incluiu este tipo de reconhecimento na versão 3.0.

## 7.2 IMPLANTAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO PARA INTERLIGAR UNIDADES DE AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA

A implantação da infraestrutura de comunicação visa:

- definir, desenvolver, implantar e testar formas de interligação entre estações da rede PDVnet e unidades de automação da manufatura;
- criar um sistema de comunicação entre o computador central e as unidades interligadas que possibilite a automação de uma célula de manufatura;
- testar o desempenho da rede numa instalação piloto sob diversas condições de carga.

Na figura 7.2 está representado o conjunto de equipamentos que foram interligados pela rede PDVnet. A escolha destes equipamentos foi feita em função de sua importância para a automação da manufatura e sua disponibilidade no LABMETRO/CERTI.

As principais características e funções das estações e dos equipamentos interligadas são descritas a seguir.

### 7.2.1 Computador Central

Características como: sistema operacional, velocidade de processamento, capacidade de memória, existência de programas aplicativos, exigências dos sistemas a serem supervisionados e a ampla utilização dos microcomputadores do tipo PC na automação de escritório e industrial foram os fatores que determinaram a escolha deste tipo de equipamento como computador central.

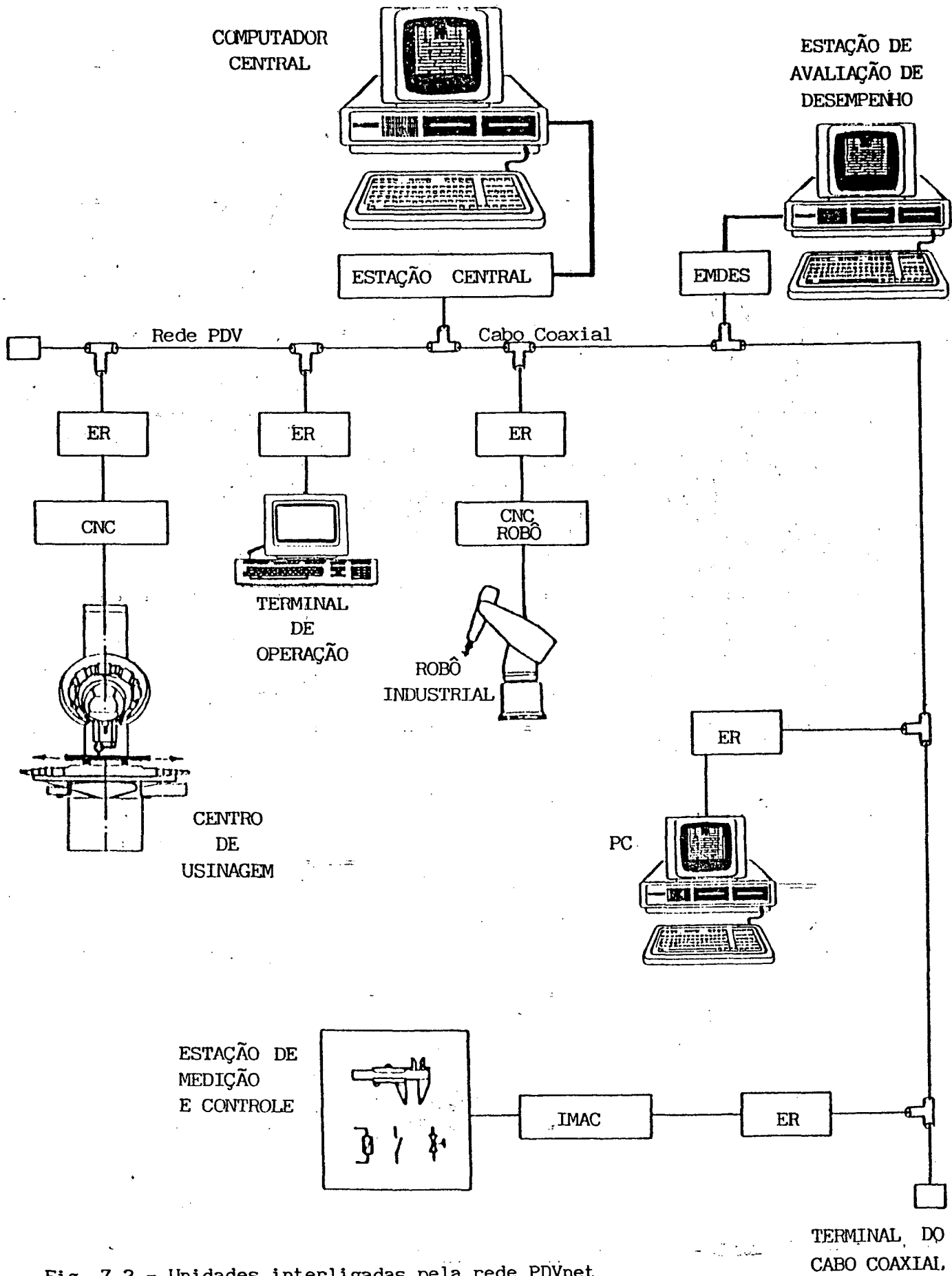


Fig. 7.2 - Unidades interligadas pela rede PDVnet

No computador central foi implementado um protocolo que permite a comunicação com a ECR. Este protocolo implementa as funções:

TRANSMITE ( cabeçalho,dados,estado)

e

RECEBE ( cabeçalho,dados,estado)

onde "cabeçalho" e "dados" são transmitidos ou recebidos do protocolo PDVnet enquanto que "estado" faz o controle da interligação entre o computador central e a ECR.

No computador central deve ser implantado a camada de aplicação para facilitar o desenvolvimento e implantação do software específico do usuário. Um subconjunto das especificações do MMS adotado por MAP pode ser implantado e utilizado com a rede PDVnet (fig. 7.1). A figura 7.3 mostra a

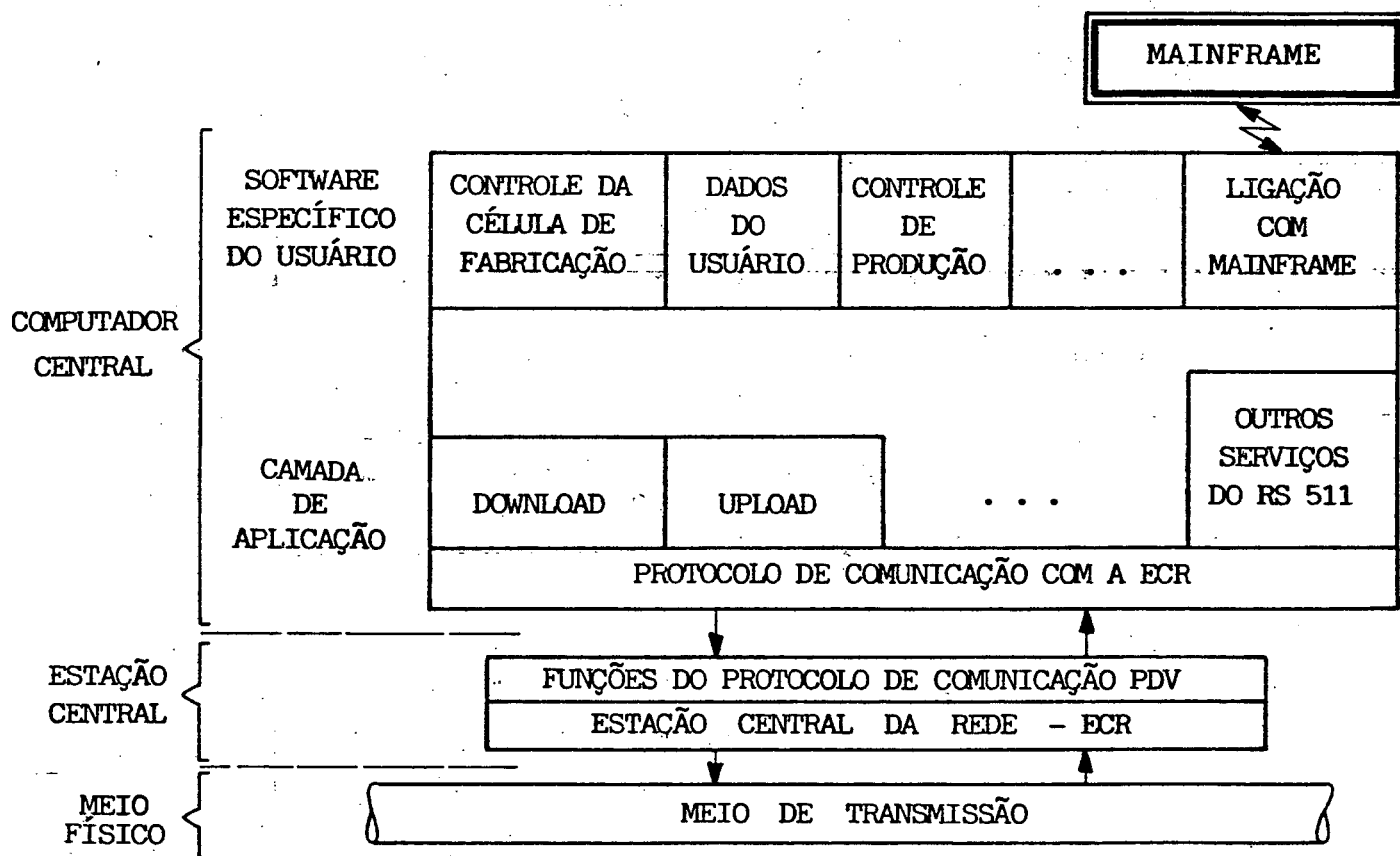


Fig. 7.3 - Interligação entre programas aplicativos do computador central com a rede

estrutura de uma estação central com possibilidade de ligação com computador de grande porte (Mainframe) e módulos de controle.

Para o usuário ficam disponíveis todas as funções do protocolo PDVnet e também os serviços da camada aplicação (upload, download, ... ) que forem implantados. As principais funções da camada de aplicação necessárias para a automação da manufatura, além das funções do protocolo PDVnet, são "upload e download". Estas duas funções foram implementadas e podem ser chamadas como subrotinas.

Como exemplo foi implantado um sistema de transferência de programas (download e upload) para unidades com CNC, comandado pelo operador das máquinas a partir de um terminal de operação (ver 4.3) colocado junto ao seu local de trabalho.

Outras tarefas que podem ser executadas pelo computador central e que necessitam da implantação de software específico, tanto no computador central quanto nas estações, são:

- aquisição de dados de produção, do controle de qualidade, etc;
- processar, armazenar e fornecer dados aos operadores;
- atuar em casos de alarmes acusados pelas estações;
- sincronizar operações da CFM com sistema de transporte ou armazenamento.

#### 7.2.2 ECR - Estação Central da Rede

A estação central da rede faz o controle do acesso ao meio físico. Nesta estação é mantida uma tabela com todas as estações ativas na rede e uma segunda tabela com as estações inativas. As estações ativas são chamadas seqüencialmente pela ECR com uma função de gerenciamento ou transferência de dados. Após cada ciclo de chamadas das estações ativas é

feita uma chamada de gerenciamento para uma das estações inativas. Se esta responder é porque passou à condição de ativa, caso contrário, ocorre um período de latência (time-out).

A ECR está ligada ao computador central que faz a supervisão geral do sistema. Esta interligação com o computador central foi feita por meio da interface paralela disponível na ECR e uma placa com interface paralela colocada no barramento do computador central conforme mostra a figura 7.4. Foram utilizadas duas portas paralelas, com controle do fluxo de informações (handshake), para a transmissão de dados. Para a transferência do grande volume de dados existente entre a estação central e o computador central, é necessário que se tenha uma interface com alta velocidade de transmissão. A melhor forma de fazer esta interligação seria desenvolver hardware e software específicos para conectar a estação diretamente ao

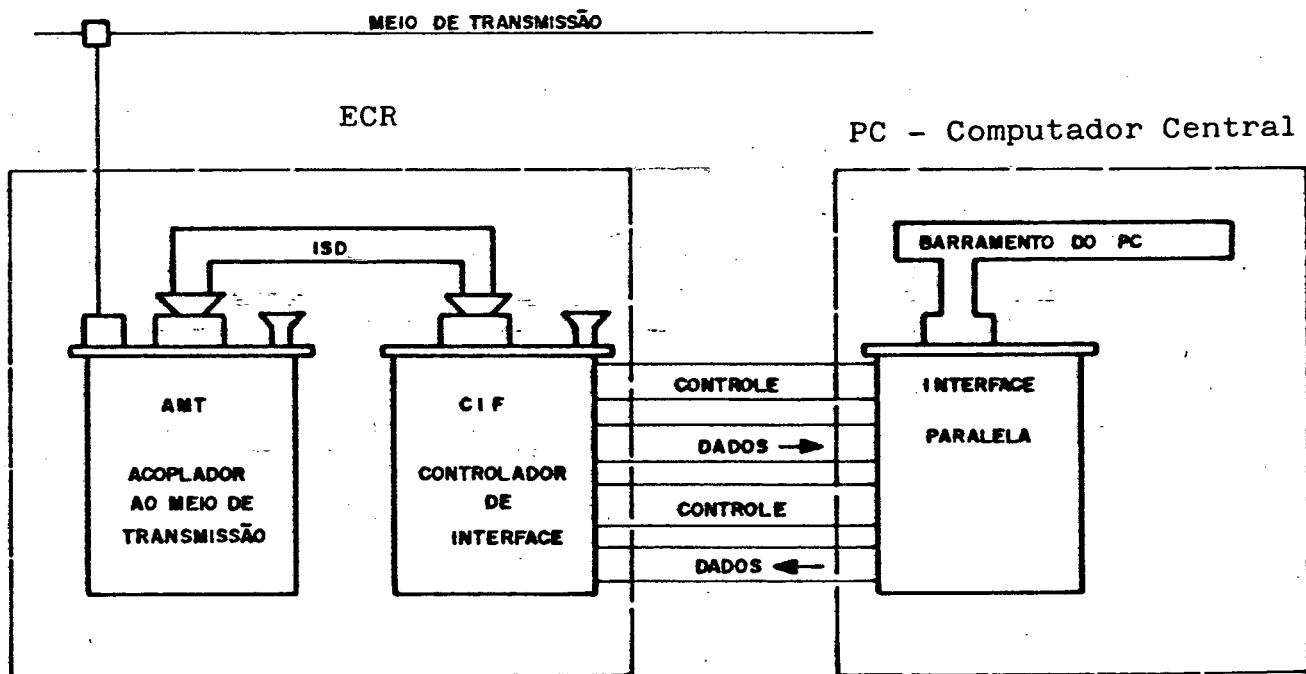


Fig. 7.4 - Ligação entre ECR e computador central por meio de duas interfaces paralelas

barramento do computador central.

A troca de informações entre a ECR e o computador central é feita por uma interface de software, pela qual é enviado um cabeçalho seguido dos dados, se estes existirem. O cabeçalho é sempre composto por seis variáveis (estado, tipo de comando, número de dados (alto), número de dados (baixo), estação destino, subendereço) enquanto que o número de dados pode variar entre zero e o número máximo fixado (128 ou 256). Sobre esta interface deve ser programada a camada de aplicação, que dará suporte para os programas aplicativos do usuário.

### 7.2.3 Terminal de operação

Os terminais de vídeo possuem, além do teclado e do monitor, uma interface serial pela qual podem ser conectados a uma estação da rede PDVnet para servir como elemento de comunicação com o usuário. No ambiente da produção, um terminal de vídeo pode ser utilizado para diversas finalidades tais como:

- fazer a coleta de dados do controle de qualidade;
- fazer a coleta dos dados da produção;
- servir de elemento de comunicação entre o pessoal da produção e supervisor da produção;
- controlar o estado e a produção das máquinas;
- servir como terminal de operação de uma célula;
- possibilitar a transferência de programas entre o computador central e os CNCs.

Para cada uma destas aplicações é necessário que seja implantado, tanto na estação da rede que está ligada ao terminal quanto no computador central, um software que faça o controle do sistema desejado.



Como exemplo será descrito a utilização de um terminal de vídeo para controlar a transferência de programas para os CNCs que não dispõem de interface ou software para DNC. Este terminal também pode ser utilizado para a troca de mensagens (mini-correio) entre o operador do terminal e o operador do computador central.

No terminal de operação foram implementadas as seguintes funções:

- ? - Menu de operação
- 0 - "Download" ( nome do arquivo )
- 2 - Diretório do drive atual
- 3 - Diretório geral ( condições )
- 4 - Programa fonte ( nome do programa )
- 8 - "Upload" ( nome do arquivo )

Algumas destas funções, e talvez as próprias estações das redes de comunicação, deverão ser integradas nos futuros CNCs / 102/.

A figura 7.5 mostra a estrutura de uma estação da rede com 3

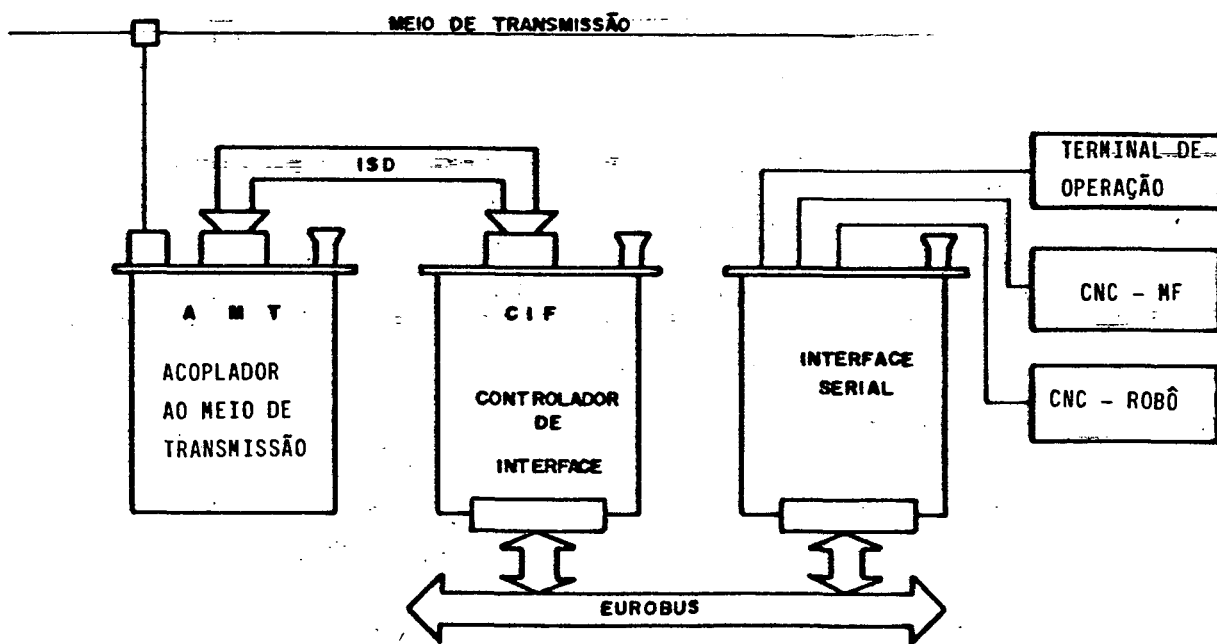


Fig. 7.5 - Estrutura de uma estação da rede com três interfaces seriais

interfaces seriais. A utilização de subendereços nas estações permite que vários equipamentos sejam ligados na mesma estação. A figura 7.6 mostra detalhes do software de ligação entre uma estação da rede e várias unidades do usuário. A utilização de subendereços diminui a necessidade de estações da rede mas também deixa as unidades ligadas como subendereços com uma prioridade inferior pois todo o conjunto é visto como uma única estação.

#### 7.2.4 Unidades com CNC

Esta ligação permitirá a troca de programas e dados entre o computador central e o CNC interligado na rede. Os CNCs atuais normalmente dispõem de

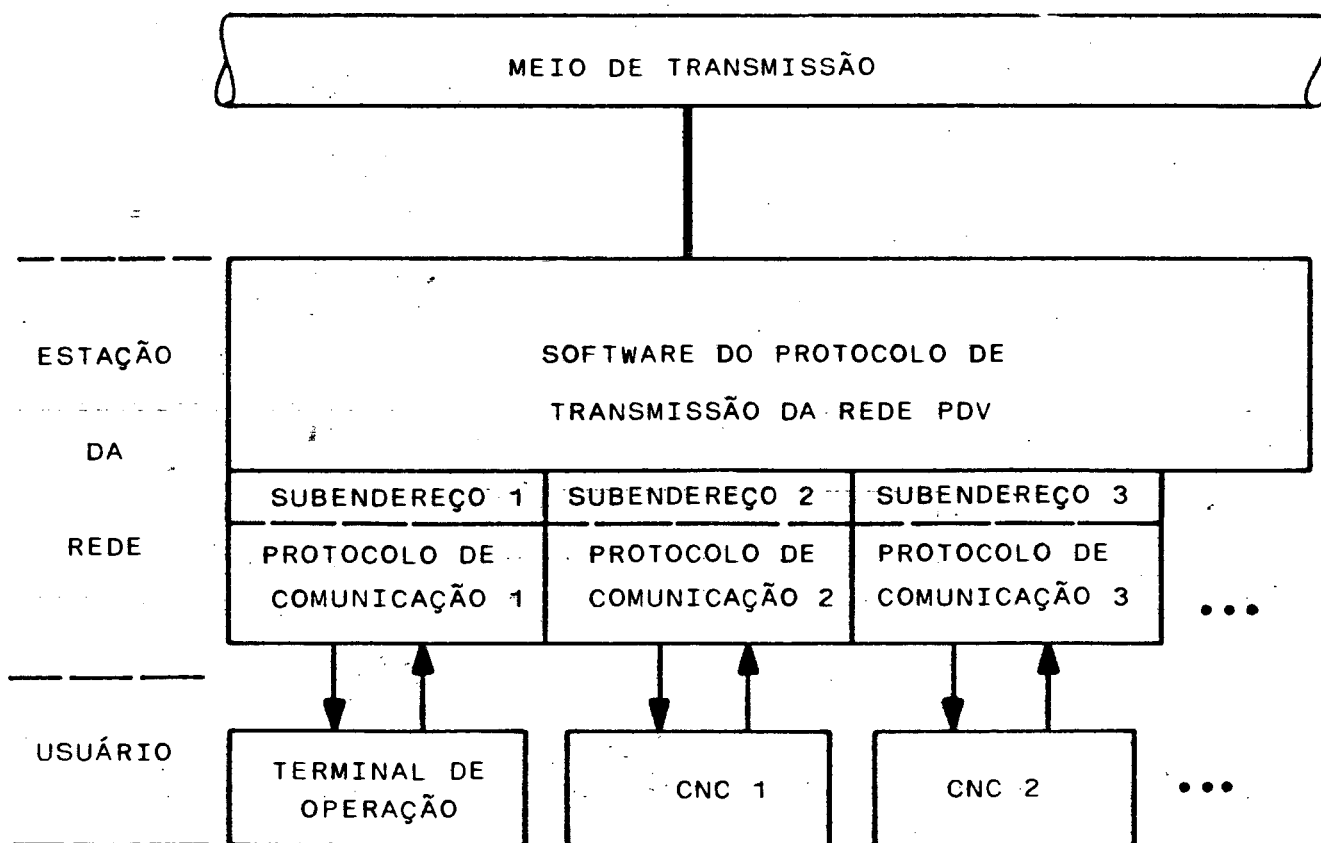


Fig. 7.6 - Ligação de vários usuários na mesma estação da rede usando subendereços

uma interface serial, além da leitora de fita perfurada, para fazer a carga e descarga de programas. O controle de carga e descarga de programas deve ser feito manualmente no painel do NC e não é possível enviar o nome do programa desejado a partir do CNC. desta forma deve ser utilizado um terminal de operação (ver 7.2.3) para a identificação do programa desejado. Esta restrição é comum em quase todos os CNCs, pois simplesmente implantaram uma opção entre a tradicional leitura da fita perfurada e a leitura da interface serial acrescentada para fazer a comunicação com um microcomputador.

Na estação da rede interligada com o CNC, por uma interface serial, deve ser implementado um protocolo para fazer a comunicação com o CNC (fig. 7.6). Duas unidades com CNC foram interligadas com estações da rede PDVnet, cujo modo de operacionalização esta descrito no item 4.3.

#### 7.2.5 Computador tipo PC

A utilização freqüente de PCs para controlar unidades de automação da manufatura torna necessária a sua interligação na rede. Foi implantado um protocolo de comunicação num PC e numa estação da rede para fazer a ~~comunicação por meio de uma interface serial com taxa de transmissão de~~ 9600 bit/s. Este protocolo faz a transmissão das mensagens recebidas pela estação da rede para o PC, e vice-versa.

É necessário ainda implantar um sistema de transferência de arquivos. Para muitas aplicações a interface serial utilizada pode ser muito lenta e uma estação da rede acoplada diretamente no barramento do PC será necessário. Para tanto é necessário o desenvolvimento de uma estação da rede com interface específica para o PC.

Como exemplo de utilização podem ser citados os trabalhos previstos

com o sistema SISDATASOLDA /113/. Neste sistema um microcomputador do tipo PC faz o controle e a aquisição de dados de uma fonte de soldagem por meio de uma IMAC (Interface Modular de Aquisição e Controle). A IMAC faz a aquisição de diversas grandezas (tensão, corrente, velocidade, posição, etc.) que são processadas pelo PC e em função de seus valores e da programação de controle selecionada são feitas as atuações sobre os valores da tensão e corrente da fonte de soldagem.

A utilização do robô na condução da pistola de solda requer uma sincronização entre o programa enviado ao robô e os dados de controle do SISDATASOLDA. A operação do conjunto poderá ser feita por um terminal de operação conforme descrito no item 7.2.3. No computador central deverão estar arquivados os programas destinados ao CNC do robô e também os dados ou programas de controle para a fonte de soldagem que deverão ser enviados ao PC.

Para cada ensaio, solicitado via terminal de operação, o computador central enviará o programa solicitado ao CNC do robô e a programação de controle da solda ao PC que controla a fonte de soldagem. Esta programação de controle contém os parâmetros do ensaio entre os quais podem ser citados:\_\_\_\_\_

- tipo de material a ser soldado (aço, inox, alumínio);
- diâmetro do eletrodo;
- gás de proteção;
- tipo de controle.

#### 7.2.6 Unidades de aquisição e controle

Na automação da manufatura é freqüente a utilização de unidades de aquisição e controle. Como exemplos típicos destas unidades podem ser

citados: coletores de dados, CLPs, IMACs. Como forma de interligação podem ser analisadas as seguintes possibilidades:

- por meio de interface serial;
- por meio de interface paralela;
- acoplamento da estação da rede direto no barramento da unidade com compartilhamento de memória.

No acoplamento via interface serial a velocidade de transmissão é relativamente baixa, mas é a interface que normalmente está disponível em todos estes equipamentos e desta forma não requer hardware adicional.

O acoplamento por meio de uma interface paralela possibilita uma taxa de transmissão maior mas nem sempre está disponível nas unidades de controle.

Fazendo-se o acoplamento de uma estação da rede PDVnet direto no barramento da unidade de aquisição e controle consegue-se a mais alta taxa de transmissão, mas neste caso é necessário uma compatibilização entre o hardware da estação da rede e o da unidade de controle.

Para cada um dos tipos de acoplamento citados acima é necessário que seja feito a implantação de um protocolo de comunicação nas duas unidades.

A disponibilidade de uma IMAC possibilitou a sua interligação na rede PDVnet. A IMAC pode ser utilizada para fazer a aquisição de dados e o controle de processos/operações. Como exemplos de aplicação na automação da manufatura podem ser citados:

- captação de sinais de sensores especiais e envio de comandos a atuadores acoplados às diversas unidades interligadas;
- controle de um sistema de transporte para a automação integrada;
- estação de monitoração de diversas grandezas (temperatura, pressão, deslocamento, umidade, etc.);
- estações de medição/testes a serem associados ao sistema de automação.

Pela disponibilidade de uma interface paralela nas ERs e também de um cartão com interfaces paralelas na IMAC, foi desenvolvido e implantado um protocolo de comunicação usando as portas paralelas para fazer a comunicação.

Este protocolo entre IMAC e ER faz a transmissão de uma área específica de memória da IMAC (buffer) para outra área específica da ER e vice-versa. A recepção na IMAC é feita por meio de interrupção e a existência de um campo de controle na ER permite um controle da chegada da mensagem até seu destino na IMAC.

## 8. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um método de utilização de fibras ópticas para a rede PDVnet que apresenta excelentes resultados técnicos para a automação de sistemas em tempo real, pois cada estação passa a informação para a estação seguinte do anel, antes mesmo de verificar a quem ela se destina. Este método possui uma pequena taxa de utilização do meio físico, mas em compensação também produz o menor atraso possível. Os elevados valores da relação custo/benefício do sistema óptico juntamente com a fragilidade da fibra não viabilizam, no momento, a sua utilização como meio de transmissão em redes locais com aplicações na automação da manufatura.

Para a avaliação de desempenho e diagnóstico de redes locais, após análise genérica da problemática, foi desenvolvida e implantada uma Estação de Avaliação de Desempenho e Diagnóstico do protocolo PDVnet. Esta estação permite uma análise de todas as mensagens transmitidas, inclusive a nível de gerenciamento da rede, e presta amplo auxílio na fase de implantação e testes de programas aplicativos e no diagnóstico de eventuais falhas no sistema. Com pequenas alterações em determinados módulos do software esta estação de avaliação de desempenho poderá ser utilizada para outros tipos de redes locais.

Com o intuito de adequar a rede para a automação da manufatura foram desenvolvidos e implantados terminais de operação para operacionalizar a transferência de programas entre computador do tipo PC ligado na rede PDVnet e unidades com CNC. Estes terminais de operação também possibilitam a troca de mensagens entre operadores e supervisores além de permitir a implantação de um controle de produção. Outras formas de DNC também foram analisadas mas requerem mudanças no hardware e software dos CNCs para sua

implantação.

A rede PDVnet oferece o suporte de comunicação exigido para a automação da manufatura. O protocolo de transmissão possui alta segurança e define tipos de mensagens que suprem de maneira eficiente as necessidades de comunicação na automação da manufatura. Foram estudados e implantados controles simples nas próprias estações da rede, evitando desta forma a instalação de unidades de controle adicionais.

Uma limitação do sistema analisado é o elevado tempo de latência, que em sistemas com um número reduzido de estações e a possibilidade de existir alguma estação inativa, deixa o sistema de transmissão com uma eficiência bastante baixa.

O retardo na comercialização de um circuito integrado que implementasse o protocolo PDVnet, cujo lançamento inicial estava previsto para 1983 e que efetivamente só ocorreu em 1986, aliado ao fato de não ter atingido a máxima taxa de transmissão de 1 Mbit/s, estabelecida como meta, mas apenas 312.5 kbit/s, foram fatores que estrategicamente prejudicaram bastante sua aceitação prática. Apesar disto o sistema vem tendo uma aceitação razoável na Alemanha com diversas aplicações e desenvolvimentos em andamento. Para a utilização deste protocolo no Brasil, deve ser considerado que não tem-se uma norma brasileira que defina este protocolo. Com a expectativa de uma padronização e aceitação geral do padrão Fieldbus e/ou MiniMap ficam muito restritas as possibilidades do sistema PDVnet no Brasil. Mesmo assim o trabalho desenvolvido foi de grande validade/utilidade pois permitiu o estudo de redes do ponto de vista do usuário, e muitas técnicas e metodologias utilizadas com a rede PDVnet são transportáveis para outras redes locais.



## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BINDEWALD, K.      Verwendung von Mikroprozessoren in der Mess- und Prozesstechnik; Messen und Prüfen; p. 244-246; 04/1982.
- [2] MINDERMANN, B.,    Datenkonzentration; Mark&Technik; p. 69-71; 10/1984.  
STOCKHAUSEN, A.
- [3] BUCKOW, V.         Option für die Zukunft; Mark&Technik; p. 61-62;  
01/1984.
- [4] SUHR, V.            Minimizing Setting-Up Times and Systematic Thinking in  
the Field of Tool and Mold Making; Industrial &  
Production Engineering; p. 57-61; 12/1988.
- [5] TESTI, F.           DNC-Steuerungen zur Automatisierung der Fertigung;  
Werkstat und Betrieb; p. 817-822; 10/1987.
- [6] VEIGA, C.L.N.,      Aplicação de DNC em rede local de comunicação;  
AGUIAR, M.W.C.       Máquinas e Metais; p. 36-42; 10/1987.
- [7] WEULE, H.,         Postprozess-Messen steuert Drehqualität; VDI-Z;  
LUDWIG, H.R.,        Bd.129(1987); Nr. 7; p. 6-11; 07/1987.  
WILHELM, M.C.
- [8] ERKES, K.,         Flexible Fertigung; VDI-Z; Bd 126(1984); Nr. 15/16;  
SCHMIDT, H.          p. 577-591; 8/1984.
- [9] CLASSE, D.         Automatisierung der Produktion; Automatisierungs-  
technische Praxis; p. 65-74; 02/1986.
- [10] WATANABE, T.      Flexibles Fertigungssystem für Spindeln; Werkstat und  
Betrieb; Nr. 120; p. 533-536; 07/1987.
- [11] WEULE, H.,         Vom Messraum zur Messzelle; VDI-Z; Bd. 129(1987);  
LUDWIG, H.R.,        Nr.7; p. 12-18; 07/1987.  
WILHELM, M.C.
- [12] PFEIFER, T.,      Entwicklungstendenzen zur Automatisierung der  
HELD H.               Fertigungsmesstechnik; Automatisierungstechnische  
Praxis; Nr. 8; p. 364-370; 08/1985.
- [13] FABER, M.         Tendenzen in der Messwerterfassung; Mark&Technik;  
Nr. 10; p. 56-61; 03/1985.
- [14] MANNESMANN        Anwendungstechnik - Integriertes Fertigungs und  
Montagesystem IFMS; Informativo técnico; 1985.
- [15] WECK, M.,         Integriertes Fertigungs- und Montagesystem  
GOEDECKE, G.         IFMS; VDI-Z; Bd.129(1987) Nr. 8; p. 10-17; 08/1987.
- [16] BABEL, W.         Flexibilität als Chance; VDI-Z; Bd.129(1987); Nr. 10;  
p. 10-12; 10/1987.

- [17] GONÇALVES, S. L., Um processo integrado de projeto, manufatura e teste de produtos eletrônicos; 3 CONAI; p. 141-145; 1988.  
MIYABARA, R. K.
- [18] CERTI Instrumentação para controle dimensional, Apostila do curso CC-039, cap. 13, 07/1989.
- [19] KLUGE, H. Rechnerunterstützte Arbeitsplanung - Systeme beurteilen und auswählen; Industrie Anzeiger; Nr. 41; p. 65-69; 5/1984.
- [20] APPLETON, D. Integration Technologie; CIM Technology; Spring 1986; p. 16-18; 1986.
- [21] BÄRNREUTHER, B. Mit LAN über MAP zu integrierten Produktionssystemen; Automatisierungstechnische Praxis; p. 462-470; 10/1987.
- [22] HOHMANN, H. Wirtschaftliche Prozessdatenerfassung mit Feldus-System; Regelungstechnische Praxis; Nr. 6; p. 257-263; 06/1984.
- [23] RUHL, S. Integrierte Sicherheit; Mark&Technik; Nr. 26; p. 81; 06/1984.
- [24] KALTENECKER, H. Funktionelle und strukturelle Entwicklung der Prozessautomatisierung; Regelungstechnische Praxis; Nr. 10; p. 348-355; 10/1981.
- [25] KUCHLER, G. Digitale Prozessautomatisierungssysteme; Regelungstechnische Praxis; Nr. 3; p. 111-126; 03/1984.
- [26] GILCHING, J. P. Flexibles Bestücken, Löten und Prüfen von Leiterplatten durch Industrieroboter-Einsatz; Feinwerktechnik & Messtechnik; Nr. 93; p. 203-205; 4 /1985.
- [27] BROSCH, J., Materialfluss unter Kontrolle; Mark&Technik; Nr. 26; STOCKHAUSEN, A. p. 76-81; 06/1984.
- [28] AMMON, W. Das integrierte Automatisierungssystem von AEG-TELEFUNKEN; Automatisierungstechnische Praxis; Nr. 4; p. 192-199; 04/1985.
- [29] DALBY, R. Implementing flexible automation; Electronics & Power; p. 514-516; 08/1987.
- [30] STÜBING, H., Zeitgemässe Entwicklungen in der Automobil-Fertigung; HEIZMANN, J. Werkstatt und Betrieb; Nr. 120; p. 517-519; 7/1987.
- [31] STEIN, R., Erfahrungen mit digitalen leitsystem mit bus-Übertragung bei der führung von kohlgefeuerten Grosskraftwerken; Fachberichte Messen, Steuern, Regeln INTERKAMA-KONGRESS 1983; Springer Verlag Berlin p. 672-682; 1983.  
HAMM, D.  
ZIMMERMANN, H.
- [32] BROST, B. I. Prozessführungssystem TDC 3000; Regelungstechnische Praxis; Nr. 26; p. 226-231; 5/1984.

- [33] FLECK, K. Mikrorechner Automatisierungssysteme Anwender-  
erfahrungen; VDI/VDE-Bezirkverein Frankfurt  
a.M./Darmstadt; Seminário 18.10 - 8.11.1982.
- [34] BERTAIN, L. A First-Stage CIM System for Metal Fabrication Shop;  
Robotics Engineering; p. 13-15; 11/1986.
- [35] RÜHLE, W. Vernetzung adaptativer und interaktiver Automatisier-  
ungseinheiten - Ein Beitrag zur Datenkommunikation  
in der Fertigung; Dissertation; TH Aachen; 2/1986.
- [36] DIN19241 Bitserielles Prozessbus-Schnittstellensystem  
Teil 1: Serielle Digitale Schnittstelle (SDS); 7/1985.  
Teil 2: Elemente des Übertragungsprotokolls und  
Nachrichtenstruktur; 3/1986.  
Teil 3: Buszuteilungsverfahren und Datenaustausch in  
zentralgesteuerten Systemen; 7/1986.
- [37] HOFMANN, E. Das BMFT-Verbundprojekt "Feldbus"; Automatisierungs-  
technische Praxis Nr.30; p. 212-216; 05/1988.
- [38] GIOZZA, W. F., Redes locais de computadores: protocolos de alto  
ARAUJO, J.F.M., nível e avaliação de desempenho;  
MOURA, J.A.B., McGraw-Hill Ltda; 1986.  
SUAVE, J. P.;
- [39] TAROUCO, L.M.R. Redes de computadores locais e de longa distância; São  
Paulo; McGraw-Hill; 1986.
- [40] FURRER, F.J. Einsatz und Nutzen eines industriellen lokalen  
Netzwerkes (ILAN); Technische Rundschau; Nr. 17;  
p. 58-62; 1985.
- [41] FAROWICH, S. Communication in the technical office; IEEE Spectrum;  
p. 63-67; 05/1986.
- [42] EVANS, P. MAP and CIM; Data Processing; Vol. 28; Nr. 3;  
p. 151-156; 05/1986.
- [43] COTTON, I.W. Technologies for Local Area Computer Networks;  
Computer Networks; p. 197-208; 04/1980.
- [44] DUCA, J.R. Interfaces Guidelines; Telecommunications; p. 45-48;  
11/1981.
- [45] TACHLITSKY, M., Um estudo comparativo por simulação de técnicas de  
RUGGIERO, W. acesso para redes locais; Anais 2 SBRC.; p. 486-491;  
1984.
- [46] HOFFMANN, W., Simulation von Ethernet unter Echtzeitbedingungen;  
KERSTING, T. Regelungstechnische Praxis; p. 486-491; 11/1984.
- [47] BARONE, D.A.C. Redes locais industriais: análise comparativa e  
proposição de implementação; Anais INFORMÁTICA 1985;  
p. 1085-1091; 1985.

- [48] SOUTO, F.A.C. Redes locais: um estudo comparativo entre redes em anel e barra; Anais INFORMÁTICA 1985; p. 1129-1139.
- [49] GIOZZA, W. F., ARAUJO, J.F.M., MOURA, J.A.B., SUAVE, J.P.; Redes locais de computadores: tecnologias e aplicações. McGraw-Hill Ltda; 1986.
- [50] BUXMEYER, E. Pilotinstrumentierung des PDV-busses; Elektronik; p. 93-99; 12/1979.
- [51] HOFMANN, W., BÜSING, W., STEIN, G., BUXMEYER, E. Einführung in die Technik der digitalen Prozessdaten-Kommunikations-Systeme; VDE-Verlag; 1979.
- [52] FUNK, G. Data integrity and efficiency of single parity check products codes; ntzArchiv; Vol. 7; Nr. 4; p. 73-78; 04/1985.
- [53] KAFKA, G. Messtechnik in der Datenkommunikation; Elektronik; Nr. 8; p. 121-129; 02/1982.
- [54] PETERS, B. Preiswerter Adapter für ein Feldbus-System nach dem PDV-Busprotokoll (DIN 19241); Diplomarbeit Fachhochschule Aachen; 1985.
- [55] VDI Serielle Bussysteme; Handbuch zum VDI - Seminar BW 38-47-01; VDI-Bildungswerk; Düsseldorf; 11/1984.
- [56] WALZE, H. Dezentrale Automatisierungssysteme auf PDV- Bus-Basis; Elektronik; Nr. 8; p. 45-50; 02/1984.
- [57] ZWOLL, K., BALTERSEE, R., ERVEN, W. PDV-Bus-Steuerwerk mit Doppelprozessor; Elektronik; Nr. 46; p. 77-81; 11/1980.
- [58] HASCHER, W. Der rauhen Industrielatmosphäre gewachsen; Elektronik; Nr. 10, p. 40; 04/1985.
- [59] DEFALCO, J. Reflection and crosstalk in logic circuit interconnections; IEEE Spectrum; p. 44-50; 07/1970.
- [60] KENNY, J., SWEENEY, E. MAP: An Implementor's Point of View. Telecommunications; p. 104-111; 09/1987.
- [61] BOLTON, T. Update on local area network standards; I&CS; p. 27-31; 11/1983.
- [62] ABNT SISTEMAS DE PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES - INTERCONEXÃO DE SISTEMAS ABERTOS - MODELO BASICO DE REFERÊNCIA; Projeto 21:201.02-001; 08/1987.
- [63] WOOD, B. Standards for OSI - Present Status, Future, Plans; Telecommunications; p.33-36; 03/1988.

- [64] MENDES, M. J.      Comunicação Fabril e o projeto MAP/TOP; IV EBAI; Santiago de Estero, Argentina; 01/1989.
- [65] PFEIFER, T.,      Derzeitige Situation und Chancen von MAP; Automatisierungstechnische Praxis; p. 109- 116; 03/1986.  
RÜHLE, W.
- [66] BOROWKA, J.      MAP-Standardisierung der Fabrik- Kommunikation; DATACOM; p. 4-6; 03/1985.
- [67] LARSON, G. I.      Manufacturing Automation: Justification & Implementation, Industrial Engineering ; p. 50-51; 11/1987.
- [68] CONTROL      Map Needs Perspective; Editorial; p. 61; 07/1987.  
ENGINEERING
- [69] BABB, M.      Digital Equipment Reaffirms its Support for MAP; Control Engineering; p. 27; 06/1987.
- [70] THOMESSE, J. P.,      An Industrial Instrumentation Local Area Network; DUMAINE, J. Y.,      IECON'86; p. 73-78; 1986.  
BRACH, J. L.
- [71] THOMESSE, J. P.      A study of LLC services implementations for a field bus; IECON'87; p. 892-898; 1987.
- [72] BORST, W.,      Der EUREKA-Feldbus für die Instrumentierungstechnik der 90er Jahre; Automatisierungstechnische Praxis; ZIESEMER, M.,      p. 430- 435; 09/1988.  
LINDNER, K. P.
- [73] DIN      DIN 19245 PROFIBUS - projeto de norma versão 4.0; 10/1987.
- [74] WALZE, H.      Low-cost LAN supplements MAP for real time applications; IFAC Low Cost Automation 1986; Valencia; Spain; p. 171-176; 1986.
- [75] MOHR, H. B.      Proposta de Tese de Doutorado; Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFSC; Florianópolis; 12/1987.
- [76] MARTIN, T.      Abschied von der PDV-Spalte; Regelungstechnische Praxis; p. 71; 2/1981.
- [77] KfK      PDV-Entwicklungsnotizen; PDV-E 144; 09/1980.
- [78] KARL, H.      PDV-Literaturübersicht - Kurzfassungen der KfK PDV-Berichte; KfK-PDV-Bericht 190; 08/1981.
- [79] BUXMEYER, E.,      Seriellles Bussystem für industrielle Anwendungen unter Echtzeitbedingungen (PDV- Bus)-Entwurf für einen Standardisierungsvorschlag-Erarbeitet im Arbeitskreis zur PDV-Bus implementierung (API). Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH; Kfk-PDV-Bericht 150; 10/1978.  
E OUTROS;
- [80] FUNK, G.      Frame transmission with specified data integrity; ntzArchiv Vol. 5; N. 11; p. 313- 322; 11/1983.

- [81] PFEIFER, T.,  
RÜHLE, W.,  
VENDERBUSCH, H. PDV-Bus-System und Komponentenentwicklung; Projekt  
Fertigungstechnik - Abschlussbericht; WZL-Abteilung  
Messtechnik RWTH Aachen 6/1985.
- [82] KLEIN, J.R. Fiber-Optic Light Source; Telecommunications;  
p. 45-46; 09/1979.
- [83] LEMME, H. Im Blickpunkt: Lichtleitertechnik; Elektronik; Nr. 15;  
p. 35-46; 04/1980.
- [84] Mark&Technik Dioden als Sender und Empfänger, Mark&Technik; N. 25;  
p. 55-57; 6/1984.
- [85] HOLMES, L. Fibre optics in power systems- the Cigré perspective,  
Electronics & Power; p. 674- 677; 10/1982.
- [86] WEBB, M. Über Lichtleiter verbunden: Arbeitstation mit dezentraler  
Architektur, Elektronik, N. 19, p.89-94;9/1984.
- [87] VDI Lichtwellenleitersysteme für die Nachrichten-  
übertragung; Grundlagen - Stand - Trend; Handbuch  
VDI-Bildungswerk Seminar; Stuttgart; 12/1982.
- [88] POPP, W. Lichtwellenleitertechnik in der Praxis der  
Prozessdatenkommunikation, Regelungstechnische  
Praxis; Nr. 4; p. 141-146, Nr. 5; p. 192-197; 4/1983.
- [89] ELEKTRONIK Lichtleiter-Crimpspleis; Elektronik; Nr. 26; p. 96;  
12/1986.
- [90] POLZ, R. Möglichkeiten der integrierten Optik; Elektronik;  
Nr.26; p. 74-78; 12/1986.
- [91] KNOBLAUCH, G. Technologie und Anwendungen von Verzweigern für die  
optische Nachrichtenübertragung; Sonderdruck aus  
"telcom report 6(1983)"; p. 109-115; 6/1983.
- [92] WORDEN, B.,  
E OUTROS Lichtwellenleiter-Ethernet an der Universität  
Kaiserslautern; DATACOM Nr. 3; p. 4-10; 1986.
- [93] LOBIANCO, W. Fatores críticos no desempenho de redes locais;  
Boletim Scopus; ano 10; Nr. 117; p. 1-7; 03/1987.
- [94] LEMME, H. Fertigmodule für die optische Datenübertragung;  
Elektronik; Nr. 7; p. 101-102; 2/1984.
- [95] MARK&TECHNIK LWL-Systeme; Mark&Technik; Nr. 25; p. 67-82; 06/1984.
- [96] HEWLETT  
PACKARD Designing with the HFBR-0500 Series Snap-In Fiber  
Optic Link; Application Note 1009; Hewlett Packard;  
11/1980.
- [97] MARSICANO Sistemas ópticos de transmissão digital; Boletim  
técnico; 1986.
- [98] SCHMIDT, R.  
E OUTROS Fibernet II; A Fiber Optic Ethernet; IEEE Vol. SAC-1;  
Nr. 5; p. 702-710; 11/1983.

- [99] WITTE, H.           Optische und elektrische lokale Netze; Elektronik; Nr.16; p. 47-52; Nr. 17; p. 71-76; 04/1986.
- [100] KNOBLAUCH, G.    Lichtwellenleiterbausteine und systeme für industrielle Anwendungen; Sonderdruck aus "telcom report 6(1983)"; p. 170-175.
- [101] ZAKARIA, S.       Multimode Fiberoptic LANs Special Components; Laser Focus/Eleto-Optics; p. 139-143; 08/1988.
- [102] MÜLHEIM, H.       Ein Betriebsdaten-kommunikationssystem zur Fertigungssteuerung; Arbeitsvorbereitung; Nr. 3; p. 94-95; 1984.
- [103] LEÃO, J.L.S.,      Linguagens para especificação de sistemas distribuídos em automação industrial; Seminário de automação industrial; p. 60-85; Florianópolis; 7/1987.
- PEDROZA, A.C;
- [104] AMER, P.           A Measurement Center for the NBS Local Area Computer Network; IEEE Transactions on Computers; Vol. C-31; N. 8; p. 723-729; 08/1982.
- [105] STOKESBERRY, D.   The Design and Engineering of a Performance Measurement Center for a Local Area Network; Proceedings; Computer Networking Symposium; Washington; D.C.; p. 110-115; 12/1980.
- ROSENTHAL, R.
- [106] AMER, P.,         Measuring a local networks performance; Reprint from Data Communications; 04/1983.
- ROSENTHAL, R.
- [107] ANURA, P.J.,     Performance Modeling of IEEE 802.4 Token Bus; Workshop on Factory Communications; p. 221-253; 1987.
- FISCHER, P.D.
- [108] LAGES, N.A.C.,    Análise e simulação de estruturas em anel e barramento nas redes locais para controle distribuído de processos; 4 Congresso Brasileiro de Automática; Campinas; p. 558- 564; 1982.
- MENDES, M.J.
- [109] RZEHAH, H.        Die Abwicklung von Realzeit-Aufträgen in MAP-Netzen; Automatisierungstechnische Praxis; p. 488-495; 10/1988.
- [110] MOHR, H.B.,        Estação de avaliação de desempenho e diagnóstico de uma rede local PDV para aplicações industriais; 7 Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Porto Alegre; p. 308-329; 3/1989.
- SCHNEIDER, C.A.
- [111] SCHWARZ, K.       Manufacturing Message Specifications (MMS); Automatisierungstechnische Praxis; p. 23-29; 1/1989.
- [112] EIA                Projeto 1393 A Draft 6: Manufacturing Message Specification; Part 1: Service Specification; Part 2: Protocol Specification; 05/1987.
- [113] DUTRA J.C.        Proposta de Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFSC; Florianópolis; 1987.