

5039-9

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

REDES DE COMUNICAÇÃO DE DADOS  
EM AMBIENTE INDUSTRIAL

por

MAURO ROISENBERG

Dissertação submetida como requisito parcial para  
a obtenção do grau de Mestre em  
Ciência da Computação

Profa. Liane Margarida Rockenbach Tarouco  
Orientadora

Porto Alegre, Junho de 1988.

CPD/PGCC  
BIBLIOTECA  
UFRGS



SABi



05221296

CATALOGAÇÃO NA FONTE

Roisenberg, Mauro.  
Redes de comunicação de dados em ambiente  
Industrial. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, 1988.  
221 p.

Diss. (mestr. ci. comp.) UFRGS-GPGCC, Porto  
Alegre, BR-RS, 1988.

Dissertação: Redes : Comunicação : Dados  
Manufatura integrada por computador  
Automação Industrial

Aos meus pais,  
meus avós e  
à Mariane

## AGRADECIMENTOS

À profa. Liane Margarida Rockenbach Tarouco, pelo apoio e orientação segura ao longo deste trabalho.

Aos profs. Tiaraju Wagner e Juergen Rochol, pela orientação e incentivo durante o curso de Pós-Graduação.

Aos amigos Dirceu, Beatriz, Marlon, Marlozinho, Carvalho, Marcos e a todos os outros amigos e colegas do Pós e da ALTUS, pelo apoio e companheirismo constantes.

Aos estudantes Claudio Severo e André pelo interesse e colaboração inestimável na implementação do protótipo.

Aos funcionários Luis Otávio, Maria do Carmo, Lourdes Tassinari, Margarida e a todos os outros funcionários da Biblioteca e da Secretaria do CPGCC, pela cordialidade e auxílio prestados.

À ALTUS Sistemas de Informática Ltda., pelo apoio financeiro e oportunidade de aprender.

Aos meus irmãos Paulo e Claudio, pela amizade nas horas difíceis.

Aos meus pais, pela compreensão, amor, estímulo e ensinamentos que ficarão para toda a vida.

À Mariane pelo amor, carinho e dedicação.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

GLOSSÁRIO .....	9
LISTA DE FIGURAS .....	12
LISTA DE TABELAS .....	15
RESUMO .....	17
ABSTRACT .....	18
1 INTRODUÇÃO .....	19
2 ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL .....	22
2.1 Histórico .....	22
2.2 Estrutura Organizacional .....	26
2.3 O Setor da Produção .....	29
2.4 Equipamentos de Computação e o Controle Hierárquico .....	33
2.4.1 Controle Hierárquico .....	34
2.4.2 Nível Estratégico (Gerenciamento e Planejamento) .....	36
2.4.3 Nível Funcional (Coordenação e Supervisão) .....	38
2.4.4 Nível de Controle Direto .....	40
2.5 Rede de Comunicação e o Controle Hierárquico ...	41
3 ASPECTOS DE PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO DE DADOS .....	47
3.1 Introdução .....	47
3.2 Etapas do Projeto .....	49
3.3 Parâmetros de Comunicação Relevantes .....	51
3.3.1 Tipos de Mensagens .....	51
3.3.2 Tamanho das Mensagens .....	54
3.3.3 Fluxo de Informações .....	56
3.3.4 Tempos de Resposta .....	58
3.3.5 Confiabilidade .....	61

3.4	Aspectos Tecnológicos .....	63
3.4.1	Topologias .....	63
3.4.2	Meios de Transmissão .....	64
3.4.3	Técnicas de Transmissão .....	65
3.4.4	Métodos de Acesso .....	68
3.5	Modelo de Referência OSI-ISO .....	70
4	PROPOSTAS DE PADRONIZAÇÃO PARA REDES DE COMUNICAÇÃO DE DADOS EM AMBIENTE INDUSTRIAL .....	76
4.1	Introdução .....	76
4.2	Projeto MAP .....	78
4.2.1	Histórico .....	78
4.2.2	Estruturas para Interconexão de Redes e Sub-redes .....	80
4.2.3	Especificação das Camadas .....	83
4.2.4	Serviços para Troca de Mensagens - O Padrão MMS .....	93
4.2.5	Análise Crítica da Especificação MAP .....	103
4.3	PROWAY .....	105
4.4	EPA/MAP - Arquitetura de Desempenho Aperfeiçoado do MAP .....	110
4.5	Mini-MAP .....	113
5	IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO Mini-MAP NA UFRGS .....	118
5.1	Introdução .....	118
5.2	Arquitetura Ideal .....	119
5.2.1	Requisitos de Comunicação Típicos .....	119
5.2.2	Descrição do Hardware .....	120
5.2.3	Descrição do Software .....	123
5.3	Arquitetura Implementável .....	127
5.3.1	Ambiente de Implementação .....	128
5.3.2	Descrição do Funcionamento do Sistema ...	130
5.3.3	Estruturas de Dados Principais .....	134
5.3.4	Alternativas de Implementação .....	137

5.4	Descrição dos Módulos do Sistema .....	139
5.4.1	A Linguagem SDL .....	139
5.4.2	Módulo de Interface (MI) .....	142
5.4.3	Módulo MMS .....	146
5.4.3.1	Máquina de Protocolo (MPPM) ....	146
5.4.3.2	Sub-módulo Montador (SMM) .....	155
5.4.3.3	Sub-módulo Desmontador (SMD) ...	157
5.4.4	Módulo Executor dos Serviços MMS (ME) ...	158
5.4.4.1	Serviço "initiate" .....	160
5.4.4.2	Serviço "conclude" .....	161
5.4.4.3	Serviço "abort" .....	162
5.4.4.4	Serviço "reject" .....	162
5.4.4.5	Serviço "identify" .....	163
5.4.4.6	Serviço "read" .....	163
5.4.4.7	Serviço "write" .....	164
5.4.4.8	Serviço "informationReport" ....	165
5.4.4.9	Serviço "initiateUploadSequence"	166
5.4.4.10	Serviço "transmitUploadSegment"	166
5.4.4.11	Serviço "terminateUploadSequence" .....	167
5.4.4.12	Serviço "initiateDownloadSequence" ....	167
5.4.4.13	Serviço "receiveDownloadSegment" .....	168
5.4.4.14	Serviço "terminateDownloadSequence" ...	169
5.4.4.15	Serviço "start" .....	169
5.4.4.16	Serviço "stop" .....	170
5.4.4.17	Serviço "status" .....	171
5.4.4.18	Serviço "runSelfDiagnostics" ..	172
5.4.4.19	Serviço "defineEventConditionName" ....	172
5.4.4.20	Serviço "deleteEventConditionName" ....	174

5.4.4.21	Serviço "programEventAction" .....	174
5.4.4.22	Serviço "cancelEventAction" .....	176
6	AVALIAÇÃO DA ARQUITETURA .....	178
6.1	Introdução .....	178
6.2	Desempenho Comparativo do Método Acesso CSMA/CD	179
6.3	Exemplos de Aplicações de Sub-redes em Alguns Processos Industriais .....	189
6.3.1	Processo: Registro de Eventos .....	190
6.3.2	Processo: Controle de Demanda .....	192
6.3.3	Processo: Supervisão de Máquina de Trefila .....	193
6.4	Considerações sobre os Exemplos Apresentados ...	194
6.5	Imunidade ao Ruído, Distância e Número de Estações .....	195
6.6	Ausência das Camadas 3, 4, 5 e 6 do Modelo OSI e Tratamento de Erros .....	196
6.7	Considerações sobre os Serviços MMS Selecionados .....	198
6.8	Considerações sobre o Estabelecimento da Associação .....	200
6.9	Interligação a uma Rede MAP .....	201
6.10	Medição dos Tempos Obtidos no Protótipo .....	203
6.11	Considerações sobre Custos .....	207
7	CONCLUSÕES .....	209
	BIBLIOGRAFIA .....	214

## GLOSSÁRIO

ACK - Acknowledgement - aviso enviado por uma estação receptora para acusar o recebimento correto de uma informação enviada por uma estação transmissora.

ANSI - American National Standards Institute ou Instituto Americano de Padronização.

APDU - Application Protocol Data Unit ou Unidade de Dados do Protocolo de Aplicação.

ASSOCIAÇÃO - Conexão lógica entre duas entidades.

BLOCOS CONSTRUTIVOS - Conjuntos de características e classes em que são agrupados os serviços definidos pela norma MMS para fins de identificação dos serviços oferecidos por uma dada implementação.

CABO COAXIAL - Um cabo constituído por um condutor metálico central, geralmente de cobre, isolado e revestido externamente por outro condutor, geralmente um malha de cobre.

CCITT - Comité Consultive International Télégraphique e Téléphonie ou Comité Consultivo Internacional de Telegrafia e Telefonia.

CÉLULA - Uma unidade de manufatura composta por duas ou mais estações de trabalho ou máquinas ligadas através de mecanismos de transporte e armazenamento de material.

CONTROLADOR PROGRAMÁVEL - Um sistema dotado de microprocessador, memória e interfaces de entrada e saída que realiza funções de controle equivalentes a dos painéis de relés ou outros sistemas de lógica combinacional fixa.

CNC - Controle Numérico Computadorizado - Um sistema para controle de maquinário dotado de mini ou microcomputadores dedicados que realizam as funções de processamento de dados e controle.

CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, método de acesso por contenção a um meio de transmissão com detecção de colisão.

EIA - Electronic Industries Association ou Associação das Industrias Eletrônicas.

IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers ou Instituto dos Engenheiros Elétricos e Eletrônicos.

INTERFACE - Um limite comum através do qual podem interagir dois ou mais elementos de um sistema.

INTERTRAVAMENTO - Um arranjo do controle das máquinas e dispositivos de modo às operações serem interdependentes, assegurando assim sua própria coordenação e evitando que outras ações sejam executadas antes que a atual esteja terminada.

ISA - Instrument Society of America ou Sociedade Americana de Instrumentação.

ISO - International Organization for Standardization ou Organização Internacional de Padronização.

MESTRE-ESCRAVO - O processo pelo qual uma estação primária sempre toma a iniciativa da transmissão com as estações secundárias.

MULTIPLEXAÇÃO - Transmissão de várias mensagens, simultaneamente, através do mesmo meio físico de transmissão.

NACK - Negative Acknowledgement - aviso enviado por uma

estação receptora para acusar a ocorrência de um erro na mensagem enviada por uma estação emissora.

OCTETO - Oito bits.

OSI - Open Systems Interconnection. Termo que referencia a capacidade de interconectar sistemas abertos.

OVERHEAD - O resultado ou o desempenho abaixo do esperado, de um dispositivo de processamento de dados ou programa, devido a uma sobrecarga de processamento de tarefas não essenciais.

PAR TRANÇADO - Um cabo formado por um par de fios condutores que são isolados e enrolados um no outro sem cobertura comum.

PDU - Protocol Data Unit ou Unidade de Dados do Protocolo.

ROBÔ - Um manipulador multifuncional reprogramável, projetado para transporte de materiais e peças através de movimentos programados.

SDL - Specification and Description Language ou Linguagem de Descrição e Especificação.

TIME-SHARING - Um método específico de operação na qual um recurso é compartilhado por diversos usuários com diferentes propósitos, aparentemente ao mesmo tempo.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Evolução da automação industrial .....	25
Figura 2.2	Modelagem hierárquica de uma organização industrial .....	27
Figura 2.3	Organograma de uma organização industrial típica .....	28
Figura 2.4	Inter-relações entre as ilhas de aplicação do setor de produção .....	33
Figura 3.1	Níveis hierárquicos X parâmetros de comunicação .....	48
Figura 3.2	Principais tempos envolvidos na comunicação	60
Figura 3.3	Topologias mais frequentes .....	64
Figura 3.4	Modulação banda larga X modulação banda portadora .....	68
Figura 3.5	Unidades de dados .....	73
Figura 3.6	Decomposição funcional do mecanismo de comunicação no Modelo de Referência OSI/ISO	73
Figura 3.7	Descrição funcional das camadas do Modelo de Referência OSI/ISO .....	75
Figura 4.1	Interconexão ponto-a-ponto entre ilhas de automação .....	77
Figura 4.2	Estrutura de uma ponte .....	81
Figura 4.3	Estrutura de um roteador .....	82
Figura 4.4	Estrutura de um conversor .....	83
Figura 4.5	Protocolos MAP .....	84

Figura 4.6	Camada de aplicação .....	91
Figura 4.7	Primitivas do PROWAY .....	107
Figura 4.8	Estrutura PROWAY-C .....	110
Figura 4.9	Estrutura EPA/MAP .....	111
Figura 4.10	Estrutura Mini-MAP .....	114
Figura 5.1	Configuração típica de uma sub-rede em uma célula de manufatura .....	120
Figura 5.2	Arquitetura para implementação da proposta Mini-MAP .....	122
Figura 5.3	Módulos de software principais da arquitetura ideal .....	123
Figura 5.4	Implementação disjunta e integrada do SSCOM	127
Figura 5.5	Módulos de software principais do protótipo implementável .....	132
Figura 5.6	Fluxo das mensagens no sistema implementado	132
Figura 5.7	Descrição da estrutura Tabela de Registro de Processos (TRP) .....	136
Figura 5.8	Descrição da estrutura Tabela de Registro de Canais (TRC) .....	136
Figura 5.9	Implementação síncrona e assíncrona .....	138
Figura 5.10	Símbolos gráficos básicos utilizados SDL .....	141
Figura 5.11	Pontos de entrada e saída do Módulo MI ....	143
Figura 5.12	Descrição SDL do Módulo MI .....	145
Figura 5.13	Pontos de entrada e saída do Sub-módulo MPPM .....	147

Figura 5.14	Descrição SDL do Sub-módulo MPM	149
Figura 5.15	Máquina de estados do protocolo MMS	150
Figura 5.16	Pontos de entrada e saída do Sub-Módulo SMM	155
Figura 5.17	Descrição SDL do Sub-módulo SMM	156
Figura 5.18	Pontos de entrada e saída do Sub-Módulo SMD	157
Figura 5.19	Descrição SDL do Sub-módulo SMD	158
Figura 6.1	Potencial máximo da taxa de transmissão para diferentes métodos de acesso - 1 estação em 100 pronta para transmitir	185
Figura 6.2	Potencial máximo da taxa de transmissão para diferentes métodos de acesso - 100 estações em 100 prontas para transmitir	185
Figura 6.3	Atraso X vazão à 1 Mbps	187
Figura 6.4	Atraso X vazão à 10 Mbps	187
Figura 6.5	Atraso X vazão para redes Ethernet e token-bus	188

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Tarefas do nível estratégico .....	38
Tabela 2.2	Tarefas do nível funcional .....	40
Tabela 2.3	Tarefas do nível de controle direto .....	41
Tabela 3.1	Parâmetros de comunicação de uma aplicação hipotética .....	50
Tabela 3.2	Alguns parâmetros característicos dos diferentes tipos de mensagens .....	56
Tabela 4.1	Serviços e primitivas da sub-camada LLC tipo 3 .....	86
Tabela 4.2	Principais características do padrão PROWAY .....	109
Tabela 5.1	Parâmetros associados ao serviço "initiate"	161
Tabela 5.2	Parâmetros associados ao serviço "conclude"	162
Tabela 5.3	Parâmetros associados ao serviço "reject" ..	163
Tabela 5.4	Parâmetros associados ao serviço "identify"	163
Tabela 5.5	Parâmetros associados ao serviço "read" ....	164
Tabela 5.6	Parâmetros associados ao serviço "write" ...	164
Tabela 5.7	Parâmetros associados ao serviço "informationReport" .....	165
Tabela 5.8	Parâmetros associados ao serviço "initiateUploadSequence" .....	166
Tabela 5.9	Parâmetros associados ao serviço "transmitUploadSegment" .....	167

Tabela 5.10	Parâmetros associados ao serviço "terminateUploadSequence" .....	167
Tabela 5.11	Parâmetros associados ao serviço "initiateDownloadSequence" .....	168
Tabela 5.12	Parâmetros associados ao serviço "receiveDownloadSegment" .....	169
Tabela 5.13	Parâmetros associados ao serviço "terminateDownloadSequence" .....	169
Tabela 5.14	Parâmetros associados ao serviço "start" ..	170
Tabela 5.15	Parâmetros associados ao serviço "stop" ...	171
Tabela 5.16	Parâmetros associados ao serviço "status" .	171
Tabela 5.17	Parâmetros associados ao serviço "runSelfDiagnostics" .....	172
Tabela 5.18	Parâmetros associados ao serviço "defineEventConditionName" .....	173
Tabela 5.19	Parâmetros associados ao serviço "deleteEventConditionName" .....	174
Tabela 5.20	Parâmetros associados ao serviço "programEventAction" .....	176
Tabela 5.21	Parâmetros associados ao serviço "cancelEventAction" .....	177
Tabela 6.1	Comparação dos serviços oferecidos pela AL-NET e os serviços MMS selecionados .....	199
Tabela 6.2	Tempos de execução medidos no protótipo ....	200

## RESUMO

Este trabalho descreve os aspectos relativos à análise, projeto e implementação de redes de comunicação de dados em ambientes industriais.

É descrita a estrutura organizacional normalmente encontrada nos ambientes industriais, os requisitos de comunicação característicos, bem como os aspectos tecnológicos dos sistemas de comunicação de dados para redes locais. Procedeu-se também, a uma apresentação e análise crítica das propostas de padronização atualmente existentes para este ambiente.

Finalmente é descrita, implementada e avaliada uma proposta de sub-rede capaz de suportar os requisitos de comunicação do nível de produção ou de fábricas de pequeno porte, utilizando equipamentos comercialmente disponíveis no mercado nacional.

## ABSTRACT

This work describes the aspects related to the analysis, project and implementation of communication systems in industrial environments.

It describes the organizational structures usually found in industrial environment, the characteristic communication requirements, as well as, the technological aspects of communication systems for local networks. There are also a presentation and a critical analysis of the standardization proposal for this environment existing nowadays.

Finally it describes, implements and evaluates the proposal of a sub-network capable to support the communication requirements according to the factory shop floor level or a small size factory, making use of equipment available in the national market.

## 1 INTRODUÇÃO

A introdução da automação através do processamento eletrônico de dados nos setores industriais veio representar um enorme progresso nos meios de produção, com melhorias na rapidez, segurança e qualidade das operações.

Uma etapa posterior nesta automação crescente, levou à necessidade de sincronização e integração entre os diversos processos e setores da organização industrial. Esta sincronização e integração é obtida através de um sistema de comunicação. No entanto, cada fabricante de equipamento de controle possui um sistema de comunicação distinto com seu protocolo proprietário.

Sem a existência de padrões, os usuários se viam forçados a compor soluções parciais, tendendo a resolver problemas específicos individualmente. A integração então, se mostrava difícil, ineficiente e custosa. Além disso, dentro de um ambiente muito vasto e complexo, como o ambiente industrial, as aplicações que devem coexistir neste meio apresentam diferentes requisitos de comunicação, não existindo uma rede genérica capaz de atender a todos os requisitos.

Deste modo, não basta a adoção de um único padrão e uma única rede onde se conectem todos os equipamentos de computação da fábrica, mas sim, uma série de padrões e sub-redes que sejam adequadas às diferentes aplicações de cada setor e que sejam globalmente aceitos por parte dos fabricantes. Deve-se atentar para o fato de que estas sub-redes devem poder se comunicar entre si através de uma linha tronco, de forma a permitir que toda a gama de equipamentos computadorizados do ambiente industrial possam ser interconectados sem grandes esforços.

Como nos setores gerenciais e administrativos a automação já é um conceito razoavelmente definido e utilizado, os requisitos de comunicação e os padrões disponíveis já são bem conhecidos. No entanto, no setor da produção, a automação está há pouco tempo sendo explorada, e os requisitos de comunicação ainda são objeto de estudo e discussão.

O objetivo deste trabalho consiste no estudo da estrutura das organizações industriais, das características e requisitos de comunicação presentes neste ambiente, e das propostas de padronização atualmente existentes, particularmente no que se refere ao setor de produção, para com base nos dados colhidos elaborar, descrever e avaliar a proposta de uma implementação para uma sub-rede capaz de atender às aplicações deste setor.

A seguir é descrita de forma sucinta a estruturação do trabalho e o conteúdo de cada capítulo.

Para que se possa avaliar os requisitos e características dos sistemas de comunicação do ambiente industrial, é necessário que se conheça o ambiente onde o sistema será utilizado. Assim, no capítulo 2, procura-se caracterizar a estrutura organizacional do ambiente industrial. Para tanto, adotou-se a abordagem de sistemas hierárquicos em multi-nível, caracterizando-se os equipamentos de computação e as atividades realizadas em cada nível e como elas estão inter-relacionadas.

Após um estudo do ambiente, no capítulo seguinte caracteriza-se os parâmetros e requisitos de comunicação presentes neste ambiente, tal como, tipos de mensagens, fluxo de informações e requisitos de tempo e confiabilidade. Aborda-se também os aspectos e alternativas tecnológicas que constituem o sistema de comunicação, como topologias,

métodos de acesso e técnicas de transmissão: como elas se relacionam e como isto afeta a aplicação.

Uma vez caracterizado o ambiente industrial e os requisitos de comunicação presentes neste ambiente, a etapa seguinte do estudo apresentada no capítulo 4, consiste na descrição e análise crítica das propostas de padronização atualmente existentes para redes de comunicação de dados no ambiente industrial. São apresentadas as propostas MAP, PROWAY, EPA/MAP e Mini-MAP, e analisadas as vantagens e desvantagens de cada proposta quanto às características e requisitos de comunicação do setor de produção, de células de manufatura ou fábricas de pequeno porte.

Com base nas informações colhidas, o objetivo do capítulo 5 é descrever uma proposta para implementação de um protótipo para uma sub-rede. Esta proposta deve ser capaz de atender aplicações em tempo-real típicas de células de manufatura, bem como fábricas de pequeno porte, levando em consideração os padrões propostos, a capacidade de atender aos requisitos das aplicações, a possibilidade de expansão futura e a adaptação aos equipamentos disponíveis e o estágio atual da automação industrial no Brasil.

Como última etapa do trabalho, no capítulo 6, uma série de aspectos da implementação são analisados de modo a fornecer uma avaliação quanto à aplicabilidade da solução proposta, pontos vulneráveis, requisitos atendidos, características passíveis de otimização, tendências futuras, etc.

Finalmente, conclusões e sugestões para pesquisas futuras são apresentadas e discutidas.

## 2 ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL

### 2.1 Histórico

O surgimento das primeiras organizações industriais assim como são conhecidas atualmente, se deu na Inglaterra, no fim do século XVIII com a construção da máquina a vapor de Watt, capaz de gerar força para a movimentação das máquinas [BET 77].

A utilização em larga escala da máquina a vapor caracterizou o século XIX. O progresso técnico alcançado pela humanidade foi notável. Surgiram as grandes indústrias, os meios de transporte se desenvolveram com redes ferroviárias cobrindo diversos países. Ao mesmo tempo, a química se tornou uma ciência, e na virada do século, as grandes indústrias começaram a explorar esta ciência.

No final do século XIX surgiu uma nova explosão do progresso técnico denominada "Segunda Revolução Industrial" cujo elemento propulsor foi o uso da eletricidade a nível industrial. Também a utilização do petróleo nos motores de combustão interna fez surgir veículos de transporte, como o automóvel e o avião [BAR 81].

As evoluções e conquistas se espalharam por todos os setores, a Revolução Industrial propiciou grandes mudanças sociais e tecnológicas. O plástico, a energia solar, o aço e o computador bastam para ilustrar o progresso pelo qual passou a humanidade.

A quase totalidade das indústrias modernas surgiram nos últimos setenta anos, no entanto, raramente as pessoas se dão conta das prodigiosas transformações que ocorreram durante este período, e os progressos tecnológicos nos são cada vez mais familiares [HEI 64].

Mecanização e automação são características fundamentais da indústria moderna. Enquanto a mecanização permitiu um aumento da capacidade de produção, a automação produziu uma melhoria na qualidade da produção.

Com o surgimento do Controle Numérico, baseado no uso de teorias digitais (CN), durante a década de 50, iniciou-se uma nova era na automação, a da tecnologia de informática. Os primeiros Controladores Programáveis (CP) começaram a ser usados no final dos anos 60 para resolver problemas próprios da indústria automobilística norte-americana. Os robôs industriais já estavam disponíveis comercialmente durante a década de 60, porém, só tiveram uma participação mais marcante na indústria no final dos anos 70. Também a utilização dos computadores digitais na indústria de processos foi uma decorrência natural. Hoje em dia a utilização de computadores na tarefa de controle das máquinas no nível da produção é cada vez mais freqüente.

O uso crescente dos computadores dentro do ambiente industrial permite prever um futuro não muito distante, onde os métodos atuais de produção serão substituídos, do mesmo modo que grande parte das tarefas manuais nos escritórios foram substituídas pelos computadores nos últimos 10 anos.

Mais recentemente, o computador começou a ser introduzido em todos os setores da indústria, tanto no nível de controle direto da maquinaria responsável pela produção, como nos níveis de gestão e administração da empresa. [GOM 86] cita uma série de atividades executadas com o auxílio do computador:

a) planejamento da produção, de equipamentos e materiais a curto, médio e longo prazo - CAP - "Computer Aided Production";

b) projeto de produtos e de sistemas de controle - CAD - "Computer Aided Design";

c) planejamento de processo, programação de controle numérico, de máquinas-ferramentas e robôs - CAPP - "Computer Aided Process Planning";

d) fabricação assistida - CAM - "Computer Aided Manufacturing";

e) controle de qualidade e testes computadorizados - CAQ - "Computer Aided Quality";

f) realização de orçamentos, contabilidade, marketing, crédito - CAS - "Computer Aided Services"; e

g) armazenamento e busca da informação e apoio no processo de tomada de decisão - CAMA - "Computer Aided Managment";

A consideração de todos estes aspectos como um conjunto harmonioso é chamada de **Manufatura Integrada por Computador - CIM - "Computer Integrated Manufacturing"**.

Pode-se prever que novas tecnologias auxiliarão as indústrias a se reestruturarem em organizações industriais mais eficientes e produtivas, proporcionando às indústrias a capacidade de resolver os problemas de produção de uma maneira mais rápida, precisa e eficiente. No futuro, serão incorporados aos processos industriais os produtos obtidos do desenvolvimento de novas linguagens de programação, tecnologias de micro-eletrônica, arquiteturas paralelas e inteligência artificial, proporcionando uma utilização mais eficiente da automação e fornecendo suporte às atividades de gerenciamento, planejamento, supervisão, monitoração e controle. Esta evolução pode ser vista na figura 2.1.

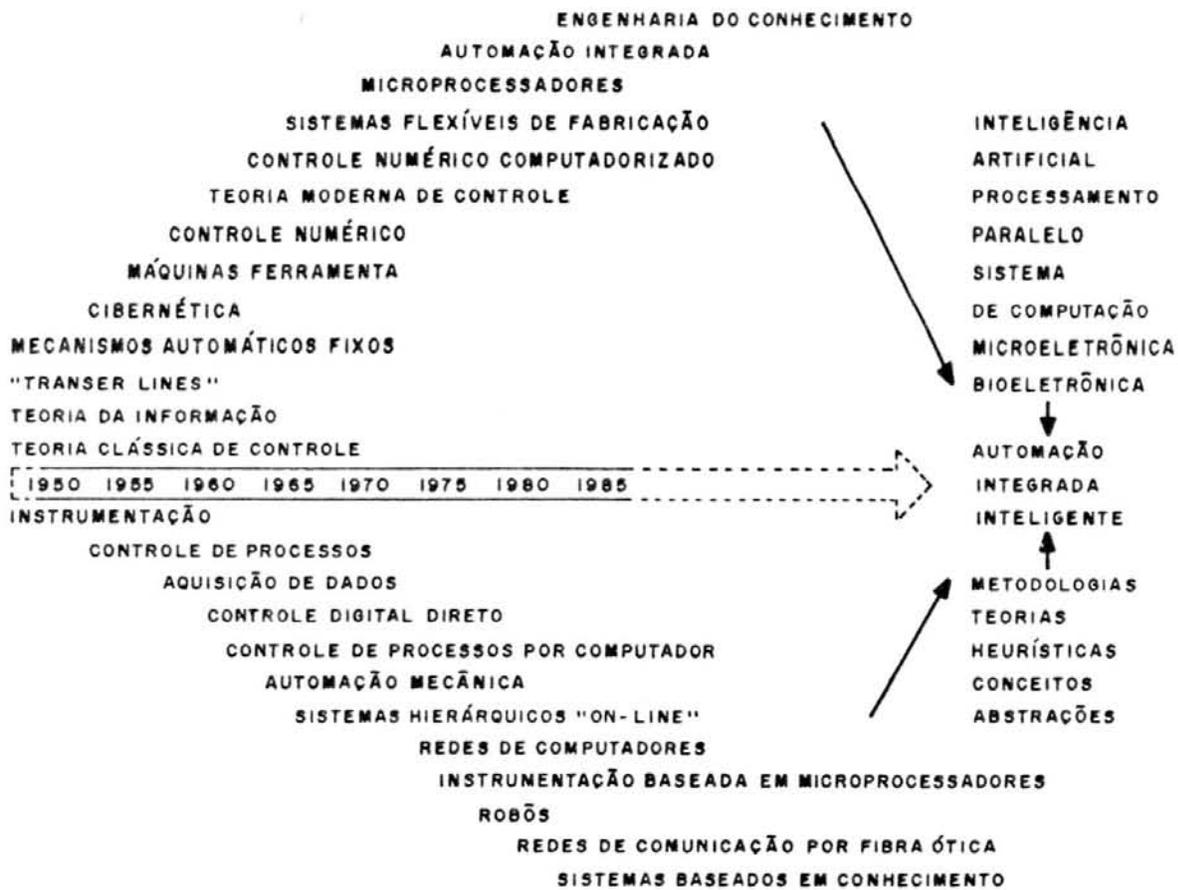


Figura 2.1 Evolução da automação industrial.

Executivos, gerentes e trabalhadores possuirão estações de trabalho computadorizadas, onde eles poderão manipular informações críticas relativas à operação das linhas de produção e da fábrica em geral. Usando o computador e os meios de comunicação, os gerentes das fábricas estarão aptos a monitorar todas as atividades de pessoal e da produção, podendo aumentar a quantidade e a qualidade das suas decisões de produção.

Os computadores manipularão todos os equipamentos os equipamentos de produção da fábrica, processarão os escalonamentos de curto, médio e longo prazo, detectarão e

diagnosticarão problemas que estejam ocorrendo e outro [tens relacionados ao ambiente da produção. Logo, todo o processo de produção será muito mais racional. As informações de produção serão armazenadas, manipuladas e transferidas de forma a aumentar diretamente a produtividade, a eficiência e a qualidade [MAU 86].

A Revolução Industrial não acabou, ela ainda está ocorrendo e entrou em uma nova fase chamada "Era da Informação".

## 2.2 Estrutura Organizacional

Para que se possa analisar os requisitos de computação e comunicação de dados no ambiente industrial, será descrito sucintamente como se estrutura uma organização industrial típica.

A organização industrial é a forma pela qual se coordenam os recursos humanos, os ativos físicos, os recursos financeiros e o tempo, para uma produção eficiente de bens e serviços [MAU 86].

As funções de uma empresa industrial podem ser subdivididas de um modo geral em três grupos [PER 84]:

- o grupo político;
- o grupo administrativo;
- o grupo operacional.

O grupo político é responsável pela determinação da política estratégica global para todos os segmentos da empresa. Possui responsabilidade nas relações com os acionistas, com os investimentos externos, nas relações públicas e jurídicas.

O grupo administrativo opera sob as instruções gerais e políticas traçadas pelo grupo político. Possui

responsabilidade nas relações com os empregados, clientes e fornecedores. É responsável pela elaboração de planos para a execução da política global.

As funções ou setores que compõem o grupo administrativo são:

- produção;
- suprimento;
- relações industriais;
- comercialização;
- finanças e serviços administrativos.

O grupo operacional é encarregado de executar as instruções específicas elaboradas pelo grupo administrativo. Constitue-se nos elementos produtivos que compõem cada setor do grupo administrativo.

Um organograma desta estrutura pode ser visto nas figuras 2.2 e 2.3.

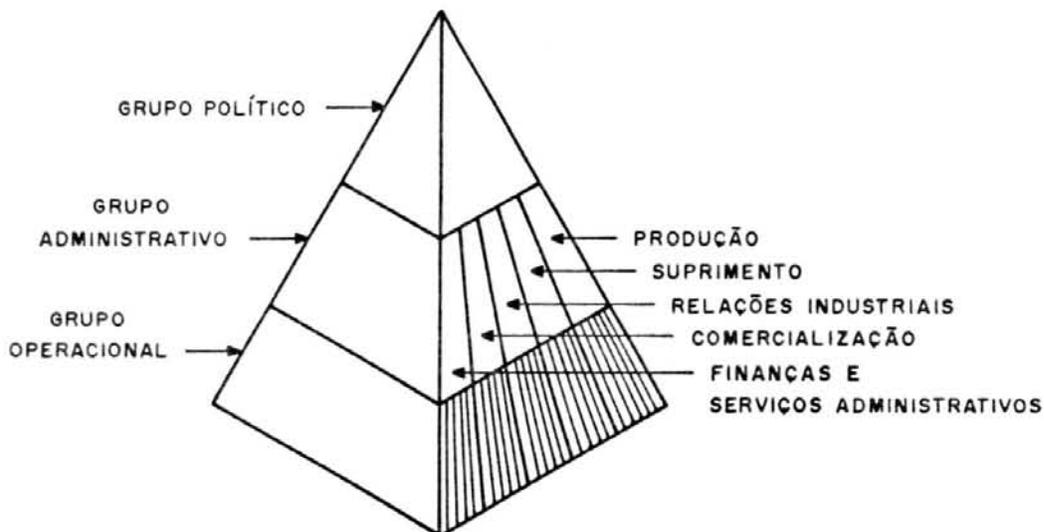


Figura 2.2 Modelagem hierárquica de uma organização industrial.

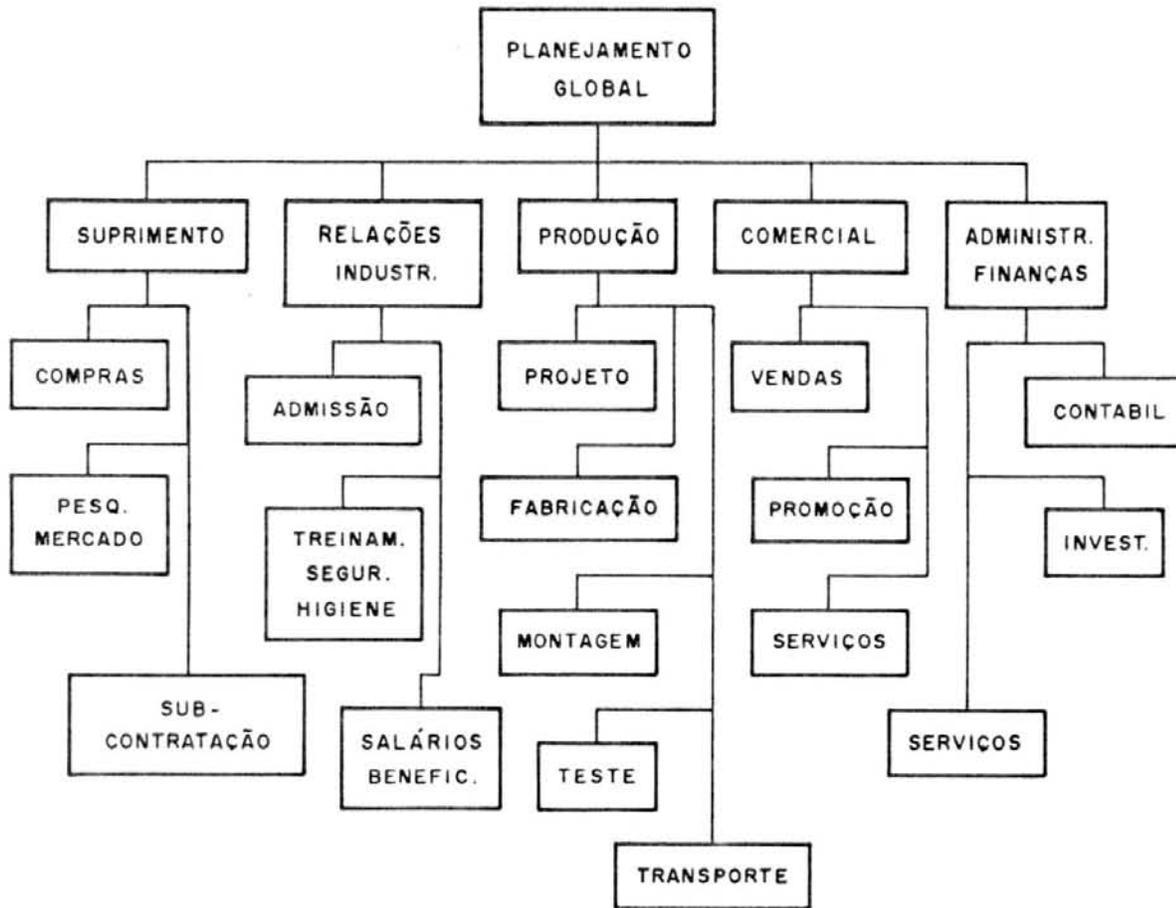


Figura 2.3 Organograma de uma organização industrial típica.

É interessante analisar rapidamente cada setor do grupo administrativo e seus respectivos grupos operacionais, com especial atenção para o setor de produção, que será tratado numa seção específica.

- Suprimento - A função de suprimento inclui todas as atividades ligadas a busca de fornecedores externos para componentes, artigos de consumo, equipamentos e ferramentas. Inclui em geral os grupos operacionais de compra, pesquisa de materiais e subcontratação.

- Relações Industriais - A função de relações

industriais tem tido um desenvolvimento muito significativo nos últimos anos em função da organização e tomada de consciência dos trabalhadores. Basicamente é formada pelos grupos operacionais de admissão, treinamento e comunicação, segurança e higiene, relações trabalhistas, administração de salários e serviços e benefícios aos empregados.

- Comercialização - Em geral, a comercialização de um produto subdivide-se em vendas, promoção e serviço. A promoção é responsável pela propaganda e relações com possíveis clientes. A venda é responsável pela comercialização direta dos produtos fabricados, enquanto que o serviço é responsável pela instalação e assistência técnica.

- Finanças e Serviços Administrativos - São na realidade duas funções freqüentemente reunidas em uma única área. As finanças são responsáveis pela contabilidade, controle patrimonial e investimentos da empresa, enquanto os serviços administrativos realizam funções como datilografia, cópias, arquivos, correios, relatórios, etc.

### **2.3 O Setor da Produção**

Se nos setores administrativos da empresa, a automação já é um conceito razoavelmente definido e utilizado, é no setor da produção que ela encontra novos desafios e aplicações, merecendo portanto, atenção maior ao longo deste trabalho.

A produção é uma atividade complexa e interligada. Para que se possa discutir o processo de produção, é necessário dividi-lo em partes menores e mais facilmente tratáveis, que são os setores operacionais ou "ilhas de aplicações". As ilhas de aplicações consistem em: projeto,

fabricação, montagem, teste e transporte de material. A indústria tradicionalmente tem adotado a divisão por ilhas, já que elas proporcionam uma facilidade maior de gerenciamento e controle de cada setor. No entanto, ao mesmo tempo em que facilita o gerenciamento de um setor, a adoção de ilhas de aplicações dificulta a integração entre os setores. Fato este que causa muitos problemas no ciclo de produção.

O uso do computador nos diversos setores que compõem uma empresa torna a atividade de cada um deles mais eficiente e produtiva. No entanto, a diversidade de equipamentos existente é enorme; são utilizados diversos tipos de computadores, cada um deles atendendo às características exigidas por um setor específico, e portanto, possuindo arquiteturas, linguagens, padrões distintos. Deste modo, os problemas de integração ainda permanecem.

[MAU 86] descreve algumas das principais ilhas de aplicações que compõem o setor de produção - projeto, fabricação, montagem, transporte de material, inspeção e teste - suas inter-relações e sistemas de computação utilizados.

A ilha de projeto é aquela na qual uma idéia se torna um conceito. O processo de projeto envolve a transformação de uma idéia básica sobre um componente ou um produto em uma "figura". Nesta ilha são utilizadas, basicamente, estações de CAD e computadores científicos para cálculos de engenharia.

Na ilha de fabricação do setor de produção é onde os desenhos dos projetos são desenvolvidos e transformados, utilizando materiais e máquinas, em um produto real. Primeiramente um protótipo é desenvolvido e testado quanto à

precisão, resistência e funcionalidade, após o que, o componente ou produto está pronto para ser produzido em quantidade. Caso o protótipo não atenda aos requisitos estabelecidos anteriormente, ele é refabricado ou enviado de volta à ilha de projeto para ser reprojetoado.

Estando o protótipo pronto, tem lugar o próximo passo do processo de fabricação que é a produção, em série ou um a um, do componente ou produto.

A ilha de fabricação é geralmente composta por várias ilhas menores, chamadas "células de produção" cada uma responsável pelo processamento ou fabricação de um componente do produto final.

A maioria dos processos de fabricação envolvem a usinagem (corte, furação, freza), fundição ou conformação da matéria-prima para formação do componente. Isto é feito em máquinas que podem ser controladas por pessoas ou por computadores especializados.

No caso de controle por computadores, os desenhos do projeto são transformados em programas para CNCs e CPs, computadores especializados que através do controle da maquinaria transformam a matéria-prima no componente desejado.

A ilha de montagem é onde os componentes que foram fabricados são unidos, seguindo os desenhos do projeto, para produzir um produto ou um componente completo. Os métodos de montagem podem ser: parafuso, encaixe, rebites ou solda.

A tarefa de produção envolve ainda a movimentação de produtos e componentes entre as células de produção, as ilhas de montagem e as áreas de armazenamento.

O transporte de material é o setor responsável por entregar os componentes necessários, as ferramentas

requeridas e os resíduos do processo de fabricação nos locais apropriados da fábrica, no instante preciso em que elas são necessárias ou solicitadas.

Os elementos automatizados para transporte de material são: manipuladores, esteiras transportadoras, carros porta-ferramentas e robôs.

Na ilha de teste, também chamada de inspeção ou controle de qualidade, os produtos são inspecionados e testados para garantir que atendam às especificações originais e funcionem da maneira prevista pelos projetistas. A inspeção de componentes ou produtos pode acontecer antes da montagem ou fabricação, no caso de componentes recebidos de outros fornecedores, ou após a fabricação e montagem. Assim, os componentes ou produtos mal fabricados ou mal montados podem ser rejeitados.

A forma de inspeção mais empregada é a vista humana, capaz de facilmente detectar defeitos aparentes. No entanto, a inspeção visual depende da atenção do inspetor humano, sujeito a tédio, cansaço e desinteresse.

Existem vários dispositivos eletrônicos para inspeção e teste, desde osciloscópios e máquinas de medição, até dispositivos projetados para testar um componente específico quanto a tolerâncias, precisão e funcionamento.

A figura 2.4 mostra as inter-relações entre as ilhas de aplicação do setor de produção.

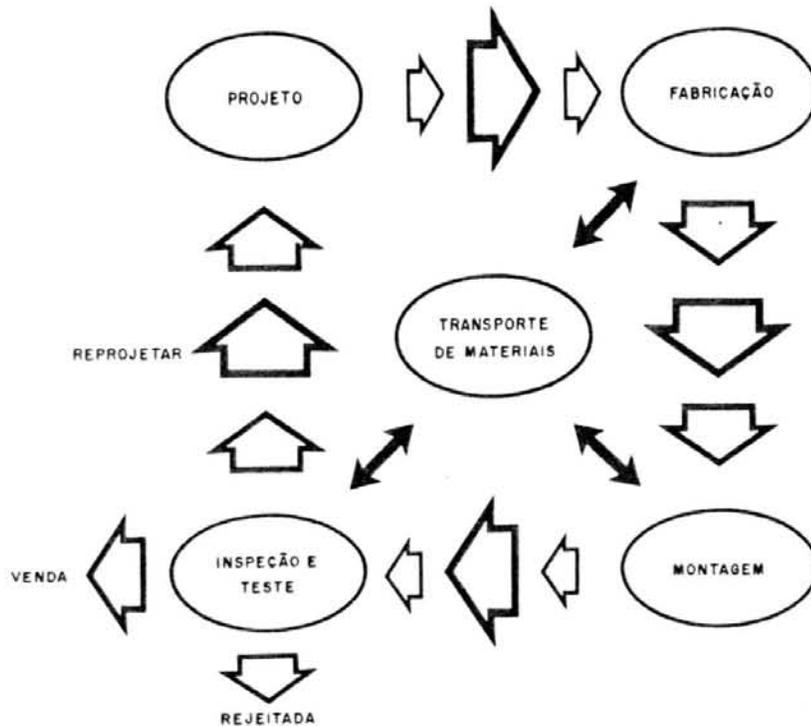


Figura 2.4 Inter-relações entre as ilhas de aplicação do setor de produção.

#### 2.4 Equipamentos de Computação e o Controle Hierárquico

Para que um problema complexo possa ser tratado, é recomendável que se utilize uma técnica de projeto conhecida como "divisão e conquista", visando decompor o problema em uma hierarquia de módulos ou sub-sistemas mais facilmente manipuláveis e que possam ser desenvolvidos individualmente [ANG 87].

Procurou-se então decompor a organização industrial em uma hierarquia, onde o funcionamento da organização é dividido em vários níveis de controle. Cada nível pode ser representado por uma classe de computadores responsáveis pelo gerenciamento das tarefas daquele nível.

### 2.4.1 Controle Hierárquico

A idéia básica embutida no conceito de controle hierárquico está no fato que uma tarefa complexa de controle não pode ser executada eficientemente por um único controlador. A abordagem de sistemas hierárquicos em multi-nível é uma das ferramentas mais poderosas em termos conceituais e práticos para construir sistemas de controle grandes e complexos [YOS 79]. Por esta razão a tarefa de controle é subdividida em vários módulos de controle de acordo com um conceito de controle hierárquico.

Muitas hierarquias fundamentais devem ser consideradas quando um sistema de controle computadorizado é concebido:

- hierarquia estrutural da fábrica;
- hierarquia organizacional;
- hierarquia gerencial;
- hierarquia de informações;
- hierarquia estrutural dos equipamentos de manufatura;
- hierarquia de controle.

O sistema de controle hierárquico de uma organização pode ser implementada por uma arquitetura de computadores em multi-nível em combinação com o conceito de uma base de dados altamente estruturada. Os níveis são então interligados através de uma rede de comunicação. Os computadores de cada nível auxiliam o gerenciamento do nível correspondente e obtêm informações e realimentações dos computadores dos outros níveis [DIL 83].

Para fins de análise, as organizações industriais podem ser divididas em 3, 4 ou 5 níveis hierárquicos visando a implementação de um sistema de CIM [McG 85], [DIL 83],

[BLI 84] e [LEI 87]. Uma divisão em três níveis hierárquicos principais que se amolde a própria divisão da estrutura organizacional parece ser a alternativa mais viável. No entanto, a complexidade do sistema muitas vezes exige que se utilize sub-níveis de controle, implementados em computadores distintos, a fim de tornar o sistema mais facilmente manipulável.

O nível mais alto, chamado de estratégico, suporta as atividades de gerenciamento das informações e de tomada de decisões. Para tanto, este nível tem acesso às bases de dados de qualquer outro nível de controle. Planejamento, marketing, escalonamento da produção e gerenciamento operacional compõem os sub-sistemas do nível mais alto de comando. Deste nível são coordenadas a comunicação horizontal para outras fábricas e a comunicação vertical para os níveis de controle da produção locais.

O nível de controle intermediário, chamado de funcional, destina-se à coordenação e supervisão local da fábrica. Normalmente a área de supervisão obtém os dados sobre a montagem, controle de qualidade e as operações nos níveis de controle inferiores. Estas informações, juntamente com os dados de escalonamento da produção e o estado dos recursos são informações utilizadas pela área de coordenação para auxiliar nas decisões de produção. A comunicação horizontal com áreas de controle adjacentes e vertical para níveis inferiores ou superiores na hierarquia é realizada através de enlaces de comunicação de alta velocidade.

O nível mais baixo, ou de controle direto, consiste de módulos que controlam geométrica e tecnologicamente as operações. Ele também possui os algoritmos específicos de controle das máquinas.

Quase todo fabricante de equipamento para

automação industrial e controle de processos oferece seu próprio sistema de controle hierárquico. No entanto, os conceitos básicos da maioria destes sistemas é similar. Eles aplicam estratégias modernas de controle associadas a periféricos simples de manipular. Porém, os computadores, sistemas de comunicação, sensores, controladores e software utilizados são, geralmente, muito diferentes. Por esta razão, dificilmente existe compatibilidade entre os sistemas de controle de diferentes fabricantes.

O sistema deve assegurar a operação de cada unidade de produção da fábrica na sua maior eficiência possível. Funções de supervisão e escalonamento devem prover uma precisa sincronização entre todas as unidades de fabricação. Qualquer mal funcionamento no nível da unidade operacional deve ser corrigível por uma unidade supervisora. Operações de coordenação e otimização devem associar a tarefa de controle correta para cada sub-sistema, de modo que todas as unidades trabalhem juntas na fábrica como uma entidade única. O sistema deve ser capaz de reagir sistematicamente a emergências.

#### 2.4.2 Nível Estratégico (Gerenciamento e Planejamento)

Este nível pode ser dividido em dois sub-níveis, o de gerenciamento e de planejamento.

A área de gerenciamento estratégico utiliza uma base de dados central que contém informações atualizadas sobre a empresa, incluindo dados de produção, máquinas, nível de estoque, disponibilidade de montagem, controle de qualidade, estatísticas, etc., que auxiliam na tomada de decisões estratégicas da companhia.

Na área de planejamento, o escalonamento da

produção a curto, médio e longo prazo é executado por técnicas matemáticas de otimização ou simulação. Na eventualidade de problemas de produção, um reescalonamento automático é iniciado. Se o escalonamento é bem feito, a empresa utilizará eficientemente os recursos, minimizará os custos de produção e aumentará a velocidade de fabricação.

Este nível de controle deve assegurar que todas as atividades da fábrica estejam precisamente sincronizadas e que qualquer anormalidade na produção seja relatada imediatamente e que uma ação corretiva seja tomada.

Computadores do nível estratégico são usualmente grandes e médios computadores comerciais e numéricos, com software aplicativo em linguagem de alto nível e um sistema de apoio ("no-break", rotinas de auto-diagnóstico, "backup") para assegurar a integridade e confiabilidade dos dados. Interfaces amigáveis e sistemas especialistas estão sendo desenvolvidos para facilitar a operação neste nível.

Particular atenção deve ser tomada com relação a facilidade de operação dos sistemas. Terminais gráficos interativos devem permitir a exibição do fluxo de produção, localização dos produtos e o acesso a dados estatísticos de produção, qualidade e custo. Um parâmetro significativo na eficiência do sistema é a velocidade de atualização dos dados da produção e o tempo de acesso a estes dados na base de dados central [DIL 83], [GOM 86].

A tabela 2.1 mostra as principais tarefas do nível estratégico.

TABELA 2.1 - Tarefas do nível estratégico

GERENCIAMENTO
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Fornecer informações para decisões estratégicas da companhia;</li> <li>. Manter a base de dados global da companhia;</li> <li>. Acessar qualquer outro computador da hierarquia.</li> </ul>
PLANEJAMENTO
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Coletar, processar, armazenar e gerenciar dados sobre:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- uso e disponibilidade de matéria-prima e estoques;</li> <li>- consumo de energia;</li> <li>- controle de qualidade;</li> <li>- níveis atuais de produção;</li> </ul> </li> <li>. Estabelecer o plano básico de produção;</li> <li>. Modificar o plano básico de produção em função de fatores internos (interrupções, paradas), ou externos (novos pedidos);</li> <li>. Projetar o produto, o processo e necessidades de produção.</li> </ul>

#### 2.4.3 Nível Funcional (Coordenação e Supervisão)

Este nível pode ser dividido nas áreas de coordenação e supervisão.

A tarefa mais importante na área de coordenação é a geração de programas de produção reais para a operação local e que atendam o escalonamento da produção gerado pelo computador de gerenciamento estratégico. A alocação eficiente dos recursos de maquinaria e mão-de-obra, bem como a capacidade de responder dinamicamente a problemas de produção nos níveis inferiores, permite otimizar o desempenho (minimizar custos, maximizar produção e qualidade).

Na área de supervisão, as tarefas pertinentes são basicamente: manutenção de bases de dados da produção, matérias-primas, estoques, consumo de energia e problemas detectados. O sistema também deve ser capaz de realizar diagnósticos nos elementos do próprio nível e do nível inferior, bem como responder a qualquer condição de

emergência que venha a ser detectada.

Freqüentemente, a variedade e complexidade dos processos industriais, bem como o fluxo de dados da produção é tal, que para que se possa implementar as tarefas de controle e sincronização, o nível funcional é dividido em um nível de coordenação e vários níveis de supervisão. Deste modo células individuais de produção, contendo máquinas-ferramentas diferentes, equipamentos de transporte e de manuseio, um grupo de máquinas operatrizes e equipamentos tais como colunas de destilação ou trocadores de calor, possuem seu próprio computador de supervisão conectado a um computador operacional.

O computador deste nível deve ter uma grande quantidade de memória bem com uma grande capacidade de armazenamento em disco. Normalmente são utilizadas arquiteturas de 32 bits com capacidades de "tempo real" e memória virtual em poderosos micro ou mini-computadores.

O software de controle deve ser escrito em linguagens de alto nível, de forma a garantir o máximo de flexibilidade, portabilidade e confiabilidade. O sistema operacional deve ser capaz de operar no modo multi-tarefa em "tempo real" e operações do tipo "batch".

A tabela 2.2 mostra as principais tarefas do nível funcional.

TABELA 2.2 - Tarefas do nível funcional

COORDENAÇÃO
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Geração de programas de produção reais para a operação local;</li> <li>. Realizar a otimização local para a área;</li> <li>. Coletar e manter uma base de dados para estudos e análises de engenharia e de processos.</li> </ul>
SUPERVISÃO
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Preparação e emissão de relatórios de produção;</li> <li>. Manutenção de bases de dados da produção, matérias-primas, estoques, consumo de energia e problemas da área supervisionada;</li> <li>. Realizar diagnósticos nos elementos do próprio nível e do nível inferior;</li> <li>. Fornecer serviços para as interfaces homem-máquina envolvidas.</li> </ul>

#### 2.4.4 Nível de Controle Direto

Neste nível, é realizado o controle direto do processo de manufatura. Os equipamentos que compõem a linha de produção da fábrica, como máquinas-ferramentas, manipuladores de materiais, laminadores, motores, robôs, linhas de montagem, trocadores de calor, colunas de destilação, etc, são controlados diretamente por CPs, CNCs, controladores de robôs, controladores digitais do tipo PID, ou ainda controladores digitais dedicados. Estes equipamentos normalmente são dotados de micro-processadores dedicados de 8, 16 ou 32 bits.

Os algoritmos de controle são implementados geralmente em linguagens de baixo e médio nível ("assembly", "ladder diagram", etc). Os programas de controle também podem ser gerados nos níveis mais altos em linguagens de alto nível, sendo então compilados e testados [DIL 83].

A programação local dos equipamentos e a interface com programadores e operadores é proporcionada pela utilização de interfaces físicas de comunicação padronizadas

(RS-232C).

A tabela 2.3 mostra as principais tarefas do nível de controle direto.

TABELA 2.3 - Tarefas do nível de controle direto

<ul style="list-style-type: none"> <li>. Controle dos equipamentos que compõem a linha de produção;</li> <li>. Aquisição de dados, monitoração, anunciação de alarmes;</li> <li>. Realizar auto-diagnósticos;</li> <li>. Processar, armazenar, fornecer dados aos operadores;</li> <li>. Cálculo das correções a enviar aos atuadores.</li> </ul>
---

## 2.5 Rede de Comunicação e o Controle Hierárquico

Um dos fatores mais importantes no projeto e implementação de sistemas de CIM é a disponibilidade de redes de comunicação de dados. Diferentes protocolos e um grande número de barramentos de comunicação têm sido desenvolvidos e estão em uso pela indústria, sendo, no entanto, incompatíveis entre si. Esta incompatibilidade dificulta a obtenção da rede de comunicação e consequente integração das hierarquias de controle.

Nesta seção, serão descritos os requisitos de processamento e comunicação necessários a uma fábrica industrial típica de médio porte. Uma exposição mais detalhada sobre o projeto de redes de comunicação de dados para ambiente industrial e os padrões atualmente adotados, serão abordados mais detalhadamente nos capítulos seguintes.

Nas redes de comunicação para a Automação Industrial as mensagens normalmente são seriais, contendo um ou mais quadros de comprimento fixo ou variável. Estes quadros são compostos por um cabeçalho contendo informações de controle para o próprio sistema de comunicação, um bloco

de informação propriamente dita, seguida de informações para detecção e correção de erros.

A comunicação de dados no ambiente industrial apresenta características e necessidades que tornam a maioria das redes para automação de escritórios inadequada. Algumas características e necessidades levantadas são [McG 85], [DIL 83] e [LEI 87] :

- os equipamentos que devem ser interligados, e portanto o próprio sistema de comunicação, principalmente no nível de controle direto, estão sujeitos a operar em ambientes hostis, com interferências eletromagnéticas, sujeira, mudanças de temperatura, e flutuações de voltagem;

- o fluxo de informações que percorrem a rede se dá, na maioria das vezes, entre equipamentos (robô para CP, CP para CNC, Estação de Supervisão para CP) ao invés de ser entre operador e equipamento;

- os tempos de resposta e a segurança são críticos em diversas situações de controle através da rede. Se determinado dado não for recebido dentro de determinado intervalo de tempo, conseqüências desastrosas podem advir se procedimentos de emergência não forem adotados;

- muitas centenas de participantes podem ser conectados;

- no nível da produção, é desejável que todos os participantes possuam direitos de acesso descentralizados, ou seja, não exista o controle de um mestre;

- nas redes atualmente disponíveis, cada fabricante adota seu próprio formato de dados e protocolo de comunicação;

- não existe uma tecnologia específica, definida para a linha de comunicação.

A seguir são apresentadas configurações típicas e exemplos que demonstram a utilização de computadores em

indústrias e o fluxo de informações necessário ao processamento das aplicações.

- O computador central da empresa é utilizado para executar grandes programas com grande velocidade de processamento. Ele também possui um sistema central de gerenciamento de informações que utiliza uma base de dados global.

- Os computadores de cada seção possuem sua própria base de dados podendo acessar também a base de dados do computador central. Se desejado, deve ser possível para uma estação configurar um circuito de dados para qualquer outra estação.

- As estações se constituem de computadores ou terminais inteligentes. O equipamento basicamente endereçável, no entanto, é um computador. Terminais são geralmente conectados a controladores de terminais que providenciam acesso à rede.

As aplicações tipicamente executadas pelos computadores e que deverão ser suportadas pela rede são:

- escalonamento da produção;
- planejamento de processos;
- controle de material;
- monitoração das atividades;
- controle de máquinas;
- controle de qualidade;
- processamento de textos;
- correio eletrônico.

Para escalonamento da produção, planejamento de processos e controle de material, vários computadores de pequeno porte podem ser instalados como terminais inteligentes. Eles podem ser utilizados no modo "stand-alone" ou então acessar os recursos do computador central.

Por exemplo, um engenheiro de produção pode "carregar" um programa de escalonamento e parte do arquivo de escalas mestre no seu computador e obter um planejamento semanal da produção. No entanto, se este engenheiro desejar obter um planejamento a longo prazo (o que geralmente requer uma quantidade considerável de cálculos e memória), ele pode do seu terminal disparar esta tarefa no computador central. O engenheiro pode ainda necessitar de dados da produção, que podem ser obtidos via rede de comunicação, do sistema de aquisição de dados da fábrica.

A empresa utiliza para controle de qualidade um computador de processos que supervisiona determinado número de bancadas de teste. Este computador obtém o programa de teste e os limites de qualidade do sistema central. Ele supervisiona o teste, adquire os dados de performance e os armazena na sua memória. No caso de algum problema de qualidade, o operador é imediatamente notificado. A intervalos pré-determinados, o computador central acessa o sistema de teste e transfere os dados de qualidade para a sua memória.

O sistema de transporte de material também é supervisionado e controlado por computadores de supervisão e controle. A função dos transportadores e alimentadores é dirigida por CPs que estão conectados ao computador de supervisão. Aqui os programas necessários para controlar o produto a ser fabricado são "carregados" do sistema de coordenação que opera a linha de fabricação. Os CPs obtém dados de funcionamento do equipamento de transporte de material e os enviam para o computador de coordenação através da estação de supervisão. É tarefa do computador do nível de coordenação sincronizar todas as unidades do equipamento de transporte de material, umas com as outras e

também com as máquinas de produção.

As máquinas de produção, por sua vez, estão distribuídas em "ilhas" ou células de produção, e são controladas por CNCs, CPs, controladores de robôs e controladores digitais gerais e específicos, conectados à estação de supervisão da célula de quem recebem comandos, dados e programas, e para quem enviam dados do desempenho e estado das máquinas e dos processos. Estas informações também são enviadas periodicamente ao computador central.

Pelo exemplo acima, pode-se observar que cada nível da hierarquia é representado por uma ou várias ações e processamentos que possuem requisitos de comunicação diferentes. Deste modo, não existe um sistema de comunicação único capaz de atender todas as aplicações existentes na organização industrial, mas sim uma série de sub-redes locais capaz de atender os requisitos de comunicação de cada nível [ANG 87].

Existe uma rede local para a administração, controle e planejamento da manufatura, engenharia e marketing. No entanto, todas as funções da fábrica devem ter acesso ao computador central e às diferentes seções. Assim, deve existir uma linha de comunicação entre os computadores chamada tronco ou "backbone".

As sub-redes locais do setor de produção, bem como a dos outros setores da empresa estão conectadas à linha tronco através de "gateways", "bridges" e "routers" de modo que todas as estações da instalação podem ser acessadas, formando um sistema de comunicação coeso que atenda toda a fábrica.

A definição de padrões de protocolos de comunicação e a sua adoção por diferentes fabricantes permitem a interconexão das várias unidades de

processamento. Neste caso, equipamentos produzidos por fabricantes diferentes podem ser facilmente incorporadas ao sistema de controle, simplesmente conectando-os ao barramento de comunicação.

Recentemente um padrão vem sendo desenvolvido e consolidado - o MAP ("Manufacturing Automation Protocol") - a partir da iniciativa da General Motors dos Estados Unidos. O MAP é baseado no Modelo de Referência OSI ("Open System Interconnection") da ISO ("International Standards Organization") e visa a obtenção de soluções para a comunicação industrial não proprietária [KAM 86]. Este padrão é descrito e analisado detalhadamente ao longo da seção 4.2.

### 3 ASPECTOS DE PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

#### 3.1 Introdução

No capítulo anterior foi apresentada a estrutura organizacional que existe em um ambiente industrial, de modo que se pudesse ter um entendimento global da organização industrial, das aplicações e dos dispositivos de controle que nela coexistem. Procurou-se mostrar também que, para que se possa projetar e implementar o conceito de CIM nesta organização, um dos fatores mais importantes é a rede de comunicação de dados, pois é ela que possibilitará a troca de informações e a sincronização entre os processos envolvidos.

Devido a esta importância crucial da comunicação de dados, este capítulo pretende caracterizar os parâmetros e requisitos de comunicação presentes no ambiente, bem como descrever os aspectos e alternativas tecnológicas que constituem os sistemas de comunicação, com o objetivo de fornecer subsídios para o projeto e instalação de sistemas de comunicação de dados no ambiente industrial.

Em um ambiente muito vasto e complexo, uma série de aplicações devem coexistir e interagir de forma precisa e harmoniosa. No entanto, estas aplicações apresentam diferentes funções e necessidades, e portanto, possuem diferentes requisitos de comunicação característicos, o que dificulta a seleção de uma rede de comunicação de dados para integração do ambiente. Devido a esta heterogeneidade de características e necessidades, não existe uma rede de comunicação genérica capaz de atender com máxima eficiência todas as aplicações [MEN 86], [ANG 87] e [HER 85].

No caso de Sistemas Industriais, os diferentes níveis hierárquicos do Sistema apresentam parâmetros de

comunicação distintos e muitas vezes "concorrentes", na medida em que dificilmente são supridos pelo mesmo tipo de rede. Pode ser visto na figura 3.1 que quanto maior o nível dentro da hierarquia de controle, menor o número de sistemas participantes, menor a frequência com que as mensagens são transmitidas, maior o comprimento das mensagens, maior o tempo de validade da informação, maior a frequência da comunicação com computadores do mesmo nível na hierarquia e menor a frequência de comunicação com computadores de outros níveis [LEI 87].

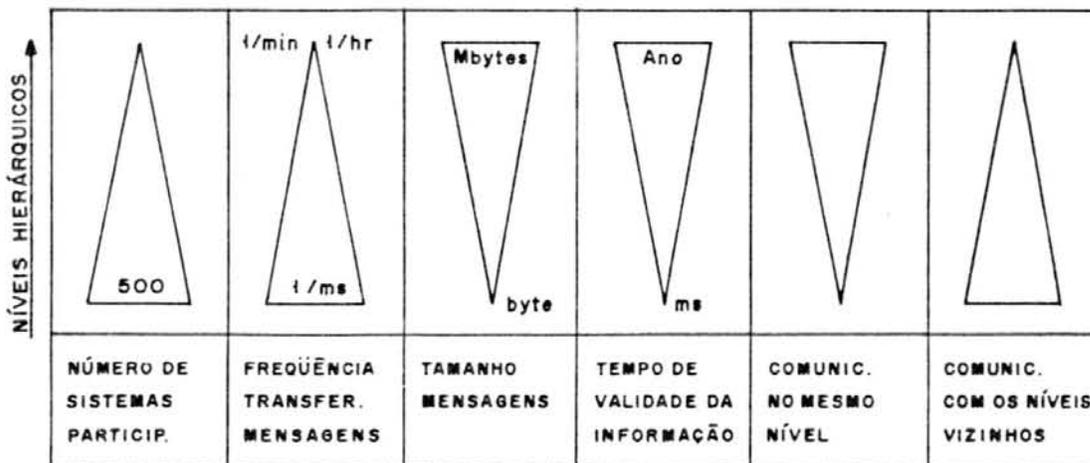


Figura 3.1 Níveis hierárquicos X parâmetros de comunicação

Assim, a escolha de uma rede industrial é uma tarefa bastante complexa devido aos diversos parâmetros de comunicação que devem coexistir na rede. Enquanto no nível de controle direto as mensagens de controle são curtas e trocadas entre dispositivos relativamente simples, porém com restrições de tempo de resposta, no nível de gerenciamento os requisitos de tempo não são tão críticos e as mensagens são mais longas [SHA 87].

Uma maneira de simplificar esta escolha é a adoção de sub-redes que atendam aos requisitos específicos de cada

setor, atentando-se para o fato de que estas redes devem poder se comunicar entre si através de um tronco, utilizando pontes, roteadores ou conversores ("gateways") [GOM 86].

### 3.2 Etapas do Projeto

Os passos principais do roteiro para o projeto de um sistema de comunicação de dados incluem: a definição da aplicação; um estudo sobre os requisitos de comunicação que se apresentam para o sistema; a análise das tecnologias disponíveis e a seleção daquelas que melhor satisfaçam os requisitos de comunicação em termos de serviços, custo, desempenho, confiabilidade, flexibilidade, disponibilidade, etc; a instalação e os testes.

O primeiro passo no projeto de uma rede industrial é o entendimento e a definição da aplicação, ou seja, o que se deseja interligar. A aplicação pode prever a integração de uma área de máquinas, um grupo de áreas, ou toda a fábrica. Cada uma destas possibilidades apresenta tipos diferentes de mensagens bem como diferentes parâmetros de comunicação e dispositivos que serão interconectados. Devendo então serem definidas as mensagens que serão transmitidas e que equipamentos participarão da rede.

Após a definição da aplicação, um estudo sobre os tipos de mensagens mais frequentes e os equipamentos que se conectarão à rede, devem ser levantados os perfis característicos dos parâmetros de comunicação presentes na aplicação que se deseja interligar, tais como:

- padrões de tráfego - se o tráfego é contínuo ou ocasional; o comprimento típico das mensagens; a frequência com que cada mensagem é transmitida no meio físico; o tráfego total e nos momentos de pico; *54 mensagens/s 100ms*

- tempo de resposta máximo admissível para cada

tipo de transação;

- confiabilidade das informações;
- distância requerida pela aplicação;
- importância da aplicação para a companhia, conseqüências de uma possível falha de funcionamento.

A tabela 3.1 apresenta um exemplo onde são mostrados os parâmetros de comunicação de uma aplicação hipotética de uma célula de manufatura ao nível de controle direto, envolvendo comunicações entre CPs, CNCs e a estação de supervisão.

TABELA 3.1 - Parâmetros de comunicação de uma aplicação hipotética.

ELEMENTOS A INTERLIGAR	. 15 CPs, CNCs . 1 Estação de Supervisão
PADRÃO DE TRÁFEGO	. tráfego contínuo . mensagens curtas . 85% entre Est. Superv. & CPs, CNCs
TEMPOS DE RESPOSTA	. não maior que 100 ms
CONFIABILIDADE	. altíssima
DISTÂNCIA	. menor que 100 metros
IMPORTÂNCIA	. alta

Uma vez obtido um bom entendimento da aplicação e seus requisitos, pode-se proceder a seleção das alternativas capazes de atender à aplicação. Deve-se selecionar o meio de transmissão, a topologia, o método de acesso, a forma de sinalização e o conjunto de protocolos adequados.

A complexidade da instalação varia em função das alternativas selecionadas na etapa anterior, assim, um sistema com cabo coaxial em banda-larga, por exemplo, requer conhecimentos específicos e um projeto antes da própria instalação. Também deve ser levada em conta a flexibilidade

para expansões futuras, comportando a conexão de novos dispositivos e a mudança dos locais de conexão de forma a minimizar o impacto na rede já em operação.

Depois da instalação, os cabos devem ser testados para uma operação correta. Isto envolve medidas de atenuação de sinal em cada ponto de conexão. Também cada dispositivo deve ser verificado quanto a conformidade com o conjunto de padrões e protocolos selecionados para a rede. Além disso, uma vez que a rede esteja operando, é necessária a monitoração do tráfego para garantir uma operação correta e identificar e eliminar gargalos. Modificações podem ser necessárias quando se modifica ou adiciona novos dispositivos na rede [GOM 86], [HER 85] e [ANG 87].

### 3.3 Parâmetros de Comunicação Relevantes

Nesta seção, procurar-se-á analisar os tipos de mensagens mais frequentes na automação industrial, e os parâmetros de comunicação relevantes a eles associados, a fim de poder se caracterizar claramente os requisitos que devem ser atendidos pelo sistema de comunicação.

#### 3.3.1 Tipos de Mensagens

As informações transferidas entre dois processos de aplicação são constituídas de mensagens que fluem através do sistema de comunicação e que são interpretadas de acordo com a aplicação. Uma mensagem é uma unidade de informação orientada à aplicação, transmitida através de um canal, de um produtor para um consumidor.

Esta mensagem pode ser: um único bit (o estado ligado/desligado de um ponto); uma palavra (o valor de um contador); uma estrutura de dados (um registro contendo parâmetros para fabricação de um componente) ou ainda um

conjunto de registros (um relatório de problemas de produção).

Cada tipo de mensagem possui parâmetros de comunicação característicos como: comprimento, tempo de resposta, confiabilidade e frequência.

Caso um tipo particular de mensagem predomine para uma determinada aplicação, então o sistema de comunicação projetado deve ser otimizado para as características de comunicação daquele tipo de mensagem.

Os tipos de mensagens mais frequentes na automação industrial e seus parâmetros de comunicação característico são as seguintes, de acordo com [PRI 81]:

a) COMANDO/RESPOSTA: Um comando é uma mensagem enviada de uma aplicação para outra (por exemplo, de uma estação de supervisão para um controlador, ou ainda entre controladores) que requisita a execução de uma ação ou o retorno de um parâmetro ou variável. A resposta é uma confirmação da execução do comando, indicando que a ação já foi completada, ou o valor da informação requisitada. O comando e sua resposta formam uma única transação lógica. Ambas as mensagens são geralmente pequenas, tipicamente com menos de 100 bits, e requerem tempos de resposta curtos, da ordem de 50 a 100ms. Este tipo de mensagem requer uma alta confiabilidade uma vez que o não recebimento ou a distorção da mensagem pode provocar uma falha na fábrica. Uma aplicação típica deste tipo de mensagem é o intertravamento e sincronização entre aplicações de diferentes controladores dentro de uma célula de automação.

b) ALARMES: São mensagens, enviadas tipicamente de um controlador para uma estação de supervisão, e indicam uma condição anômala no processo. Eles podem indicar situações perigosas e, portanto, requerem um tempo de resposta muito

curto com a máxima confiabilidade possível, sendo usualmente mensagens muito curtas.

c) REQUISICÃO DE SERVIÇOS: São mensagens enviadas entre aplicações de níveis diferentes dentro da hierarquia de controle e normalmente são invocadas pela aplicação do nível mais alto. Possibilita a solicitação de serviços mais complexos que os invocados pelas mensagens do tipo Comando/Resposta, como por exemplo, o gerenciamento de eventos, a definição de variáveis e a solicitação de recursos. As mensagens são geralmente pequenas e os tempos de resposta são razoavelmente curtos, porém, maiores que os presentes nas mensagens de Comando/Resposta.

d) SINAIS DE SINCRONIZAÇÃO: São mensagens enviadas periodicamente para sincronizar as ações de duas ou mais aplicações. A escala de tempo em que a sincronização pode ser obtida depende do tempo de resposta, que deve ser normalmente curto. Outro requisito é a confiabilidade. Este tipo de mensagem permite estabelecer uma base de tempo comum para as aplicações distribuídas que requeiram um alto sincronismo para a execução de serviços, como por exemplo, o registro de eventos que ocorram no processo.

e) MENSAGENS DE RELATÓRIO: São mensagens enviadas em resposta a uma solicitação de serviço ou a intervalos regulares de tempo. São utilizadas para registrar e apresentar o estado presente do processo ou uma coleção de acontecimentos passados que devem ser informados a algum nível hierárquico superior. Estas mensagens possuem um comprimento razoável, no entanto, as informações na maioria das vezes não são cruciais ao funcionamento imediato da fábrica, podendo possuir um tempo de resposta maior.

f) ARQUIVOS: Algumas aplicações podem necessitar a transferência de arquivos, que podem possuir até dezenas de

megabits de dados (por exemplo, para as aplicações de gerenciamento e planejamento). Nos níveis inferiores da hierarquia de controle, este tipo de mensagem raramente está presente. Elas se caracterizam por um longo tempo de resposta, um grande comprimento e alta confiabilidade.

g) PROGRAMAS: Para muitas aplicações, não é prático o armazenamento de todos os programas que formam uma aplicação na memória do computador que os executará. Por exemplo, um programa para produção de determinado componente somente necessita ser carregado quando aquela peça específica for produzida, uma vez que existem programas de produção diferentes para diferentes componentes. Os programas podem ser transferidos tanto na forma simbólica para interpretação ou compilação pelo dispositivo que o recebe, quanto na forma binária, pronto para ser carregado, estando o segundo método mais susceptível a erros. Os programas podem ser longos (da ordem de 600 kbits), necessitando, às vezes, de várias mensagens para a sua transferência. Entretanto, o tempo de resposta geralmente não é crítico.

### 3.3.2 Tamanho das Mensagens

Segundo [PRI 81], o tamanho das mensagens é um dos parâmetros mais significativos na análise das características de uma rede, pois, dada uma velocidade de transmissão e o tamanho do cabeçalho e da cauda, ele determinará o tempo de transmissão do quadro após uma estação conseguir o acesso ao meio de comunicação.

A maioria dos sistemas de comunicação impõe um limite no tamanho dos quadros, fundamentado em três razões principais. A primeira se deve ao fato dos sistemas utilizarem "buffers" internos de tamanho limitado; a segunda

razão é para evitar que uma estação, ao transmitir um quadro muito grande, monopolize o meio de transmissão compartilhado, impedindo que mensagens urgentes sejam transmitidas; e a terceira razão se prende ao aspecto de uma utilização otimizada do meio, tendo em vista a necessidade de retransmissão de quadros com erros.

Deste modo, mensagens muito longas são particionadas em vários quadros no transmissor e remontadas no receptor. Este processo de remontagem pode ser feito pelo programa de aplicação do usuário ou pelo próprio sistema de comunicação.

A tabela 3.2 apresenta o tamanho típico dos diferentes tipos de mensagens e os níveis hierárquicos mais freqüentemente envolvidos nas transferências destas mensagens. Ali pode se ver que, o comprimento das mensagens de aplicação nas redes industriais pode variar bastante, no entanto, a maioria possui menos de 2 Kbits. Constata-se também que, o comprimento predominante das mensagens varia em função do nível hierárquico de controle em que se situam as comunicações, enquanto nos níveis mais baixos de controle predominam as mensagens curtas, do tipo Comando/Resposta e Alarme, nos níveis superiores da hierarquia predominam as mensagens mais longas, do tipo Mensagens de Relatório e Arquivos.

TABELA 3.2 - Alguns parâmetros característicos dos diferentes tipos de mensagens.

TIPO DE MENSAGEM	TAMANHO (bits)	TEMPO (ms)	NÍVEIS HIERÁRQUICOS ENVOLVIDOS
COMANDO/RESPOSTA	8 - 256	100	CONTROLE DIRETO → SUPERVISÃO CONTROLE DIRETO → CONTROLE DIRETO
ALARME	8 - 64	10 - 20	CONTROLE DIRETO → SUPERVISÃO
REQUISIÇÃO DE SERVIÇOS	64 - 512	500	COORDENAÇÃO → SUPERVISÃO SUPERVISÃO → CONTROLE DIRETO
SINAIS DE SINCRONIZ.	8 - 64	100	SUPERVISÃO → CONTROLE DIRETO SUPERVISÃO → SUPERVISÃO CONTROLE DIRETO → CONTROLE DIRETO
MENS. DE RELATÓRIO	64 - 16K	1s - 10m	SUPERVISÃO → COORDENAÇÃO
ARQUIVOS	1K - 10M	1m - 1h	PLANEJAMENTO → GERENCIAMENTO COORDENAÇÃO → PLANEJAMENTO PLANEJAMENTO → PLANEJAMENTO
PROGRAMAS	4K - 1M	0.5 - 1m	COORDENAÇÃO → SUPERVISÃO → CONTROLE DIRETO

### 3.3.3 Fluxo de Informações

O padrão do fluxo de informações descreve as direções por onde fluem as mensagens através do ambiente, as associações entre os processos de aplicação e ainda, como estas associações se alteram ao longo do tempo. Este aspecto, juntamente com a taxa de transferência de informações e os requisitos de confiabilidade, são fatores determinantes para a seleção da topologia da rede [PRI 81].

A tabela 3.2 apresenta a direção predominante dos diferentes tipos de mensagens no ambiente industrial.

Outro fator característico, é o perfil que as

associações assumem em função do tipo de mensagem, da aplicação e do nível hierárquico. As associações entre os processos de aplicação típicos em uma rede podem ser:

- um para um: as mensagens são trocadas apenas entre dois processos de aplicação. Por exemplo, mensagens do tipo Comando/Resposta trocadas entre um CP e um CNC no nível de controle direto;

- um para vários: as mensagens são enviadas por um processo de aplicação para dois ou mais processos. Por exemplo, Sinais de Sincronização enviados por uma estação de supervisão para equipamentos do nível de controle direto que estejam detectando eventos do processo.

- vários para um: um processo de aplicação pode receber mensagens de dois ou mais processos. Por exemplo, o computador onde está a base de dados global da companhia, recebendo consultas de terminais ou de outros computadores.

Além disso, podem existir dois tipos associações, ou conexões, entre os processos: as chamadas estáticas (associações relativamente fixas ao longo da aplicação e que já são conhecidas quando o programa é escrito, podendo ser estabelecidas quando o sistema é inicializado), e associações dinâmicas (associações de caráter transitório que podem ser estabelecidas a qualquer momento em função de eventos detectados pelo processo de aplicação).

Antes que as informações possam ser transmitidas pela rede, algumas mensagens devem ser trocadas de forma a verificar e inicializar alguns parâmetros do protocolo a fim de estabelecer a associação, como por exemplo, o tamanho máximo das mensagens suportadas pelos processos. Uma vez que este estabelecimento de conexão consome um tempo considerável, ele deve ser feito preferencialmente quando os processos são inicializados ou alterados, sendo bastante restritivo nas associações dinâmicas, que necessitariam de

um modo de comunicação não orientado a conexões [FOL 86].

### 3.3.4 Tempos de Resposta

No projeto de redes de comunicação para ambientes industriais, é fundamental a determinação precisa dos intervalos máximos de tempo dentro do qual o sistema deve reagir à ocorrência de um evento. Isto garante que uma ação de controle será executada sobre o processo antes que algum dos seus parâmetros ultrapasse os limites estabelecidos.

Deste modo, a rede de comunicação projetada deve ser capaz de garantir que mensagens que ocasionarão ações de controle sejam transferidas, sem erro, ao controlador, em um intervalo de tempo hábil para a execução da ação de controle pretendida.

Neste trabalho, o termo "tempo de resposta" é utilizado com o sentido genérico de tempo gasto para que a mensagem, contendo informações de controle, atinga o processo de aplicação da estação destino, onde alguma ação de controle será tomada em função das informações recebidas. Esta estação destino pode ser alguma estação remota da rede, ou a própria estação originadora da mensagem ao receber informações de comando que foram previamente solicitadas.

Formalmente, o tempo de resposta de um sistema de comunicação é definido como o tempo decorrido entre o instante em que uma mensagem é entregue ao sistema de comunicação, até o instante em que a resposta à mensagem é recebida pela mesma estação que a enviou. Isto inclui o tempo de processamento da resposta pela estação remota, o tempo de acesso ao meio e os tempos de transmissão e propagação [SIP 76].

O conceito de tempo de transferência é o tempo transcorrido desde o instante em que o processo de aplicação

na estação transmissora indica que possui uma mensagem para ser transferida, até o instante em que o processo de aplicação da estação receptora seja notificado da chegada da mensagem.

O tempo de transferência em um sistema de comunicação é composto pelos seguintes itens:

- tempo de estabelecimento de conexão: é o tempo requerido pelas associações dinâmicas para estabelecimento da conexão nos sistemas de comunicação orientados a conexão. Se aplica somente nos casos em que a conexão ainda não houver sido estabelecida quando a mensagem necessitar ser transmitida;

- tempo de acesso ao meio: em um sistema de comunicação baseado em um meio de transmissão compartilhado, é o tempo necessário para que a estação assegure o acesso ao meio, seja através do recebimento de uma autorização para utilizar o meio (ficha ou "token"), seja através de uma tentativa de transmissão sem detecção de colisão;

- tempo de transmissão: é igual ao tamanho do quadro dividido pela taxa de transmissão;

- tempo de processamento do protocolo: é o tempo necessário para processar o protocolo de comunicação;

- atraso de propagação: depende da distância e do meio de transmissão utilizado. Normalmente é insignificante quando comparado com o tempo de transmissão.

Visto que muitas vezes nas aplicações industriais, o tipo de mensagem enviada resulta em uma ação de controle por parte do processo de aplicação da estação receptora, torna-se importante um tempo que denominou-se de tempo de execução e que corresponde à soma do tempo de atraso de transferência e do tempo de processamento para execução do serviço solicitado, sendo que a transmissão de uma resposta se presta simplesmente a uma confirmação de que o serviço

solicitado foi executado adequadamente.

Os conceitos de tempo de resposta, tempo de transferência e tempo de execução podem ser visualizados na figura 3.2.

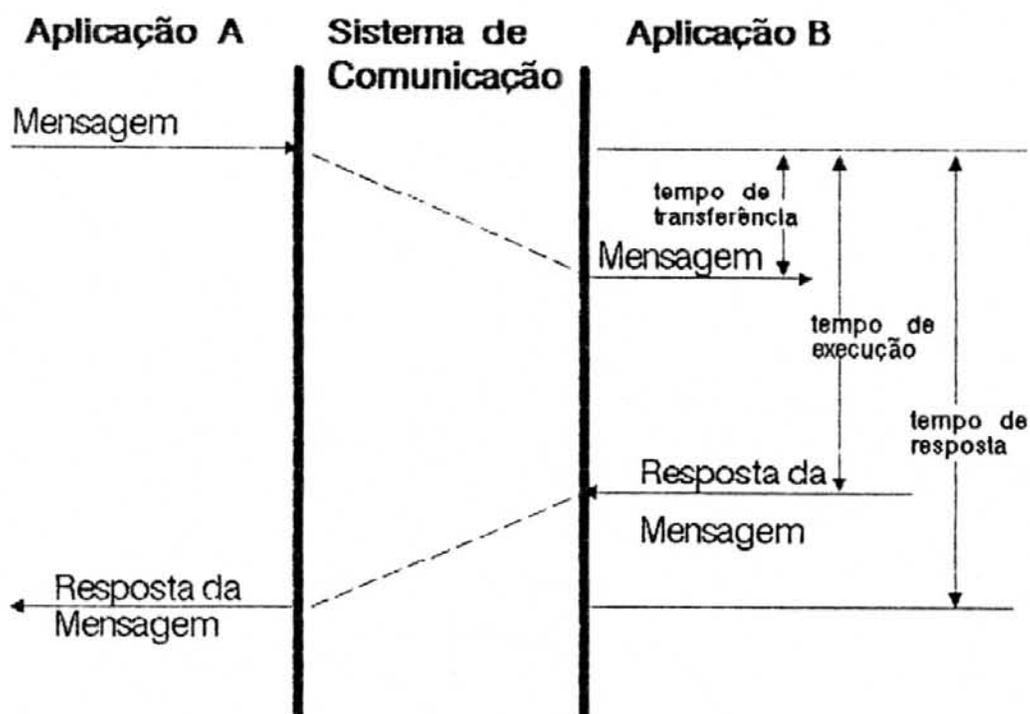


Figura 3.2 Principais tempos envolvidos na comunicação.

Os requisitos de tempo de resposta ou de tempo de execução variam bastante e são determinados pelo tipo de processo que está sendo controlado e pelo nível hierárquico de controle em que as ações estão sendo tomadas. Por exemplo, ao nível de controle direto da fábrica, para processos discretos, são comuns situações que exigem tempos de execução da ordem de dezenas de milissegundos. Conforme se for subindo dentro dos níveis hierárquicos, as constantes

de tempo dos processos de aplicação serão cada vez maiores, sendo admitidos tempos de execução mais elevados.

O tempo de resposta necessário, bem como o meio de transmissão e a topologia da rede são fatores essenciais na determinação da taxa de transmissão e do método de acesso utilizado pelo sistema de comunicação [PRI 81].

### 3.3.5 Confiabilidade

Esta seção aborda alguns conceitos básicos sobre a confiabilidade na transferência de informações e suas características nas redes industriais.

A confiabilidade do sistema de comunicação é de grande importância nas aplicações de controle industrial. Estas aplicações estão muitas vezes relacionadas com o controle de energia, pressão, de movimento de materiais, sendo que a existência de um parâmetro de controle incorreto ou a perda de uma mensagem de alarme pode resultar em uma situação perigosa e até mesmo fatal.

Suponhamos, por exemplo, que ocorra um erro de transmissão no comando que indica a pressão de operação de uma caldeira. Isto pode levar a um procedimento de emergência no sistema, uma parada na produção, a perda do produto que estava sendo fabricado ou ainda, em caso extremo, a explosão da caldeira.

A confiabilidade da transferência de informações é uma medida da correção e perfeição das informações que um processo de aplicação recebe de outro processo através de um sistema de comunicação. A confiabilidade é geralmente especificada através de uma Taxa de Erros (TE) ou através de uma Taxa de Erros Não Detectados (TEND).

A TE é obtida dividindo-se o número total de bits

errados por razões de perda, alteração ou duplicação, pelo número total de bits transmitidos. A TEND é definida como a relação entre o número de mensagens incorretamente recebidas, mas não detectadas nem corrigidas pelo equipamento de protecção contra erros, e o número total de mensagens transmitidas durante um período de tempo.

Segundo [PRI 81], os sistemas de controle para as aplicações industriais podem necessitar de uma TE de até  $3 \times 10^{-15}$ , assumindo-se 100% de utilização do meio de transmissão a uma velocidade de 1Mbps.

As taxas de erros dependem de uma série de fatores: do método de sinalização; da taxa de transferência; do meio de transmissão; da forma de detecção e das características do ambiente pelo qual passará a linha de transmissão. Ainda de acordo com o mesmo autor, não existem muitas informações a respeito das características dos meios de transmissão nos ambientes industriais, no entanto, ele afirma que algumas características dos erros resultantes do ruído elétrico provavelmente são similares àsquelas das redes públicas, principalmente no que se refere à característica dos erros ocorrerem em rajadas. Entretanto, se forem utilizados cabos devidamente protegidos, a TE em ambientes industriais provavelmente será bem menor do que a das redes públicas.

O padrão IEEE 802.4 especificado pela IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) para o método de acesso conhecido como Barramento com Passagem de Permissão ("Token Passing Bus"), recomendado para redes de comunicação de dados no ambiente industrial, apresenta uma TE de  $10^{-9}$  [BAL 85].

Quanto à questão da TEND, algumas técnicas de controle e detecção de erros são apresentadas e discutidas

em [MOR 77], [TAR 77] e [TEC 80].

### 3.4 Aspectos Tecnológicos

Nesta seção são estudados os aspectos tecnológicos que constituem o sistema de comunicação; como eles se relacionam para formar a rede e como isto afeta a aplicação no ambiente industrial.

As principais alternativas tecnológicas que determinam a natureza de uma rede local são: a sua topologia, o meio de transmissão, as técnicas de transmissão de sinais e os métodos de acesso. A escolha de cada alternativa é determinada por uma série de fatores, e mesmo as alternativas não são independentes entre si, pois certas combinações são atualmente incompatíveis.

#### 3.4.1 Topologias

A topologia de uma rede é o modo como as estações são interconectadas. A escolha de determinada topologia é determinada por uma série de fatores, tais como: custo, confiabilidade, flexibilidade, tempos de resposta, complexidade da interface, etc [ANG 87].

Assim como os próprios sistemas de comunicação, não existe uma topologia que seja apropriada para todas as aplicações. O que se procura é particionar o sistema de comunicação em sub-redes independentes e interconectadas, refletindo uma partição funcional, hierárquica e geográfica do sistema de controle.

As topologias mais comuns são: em estrela; em anel; em barra e mistas. Estas topologias são mostradas na figura 3.3. e uma análise detalhada das características das várias topologias existentes pode ser encontrada em [STA 85]

e [MEN 84].

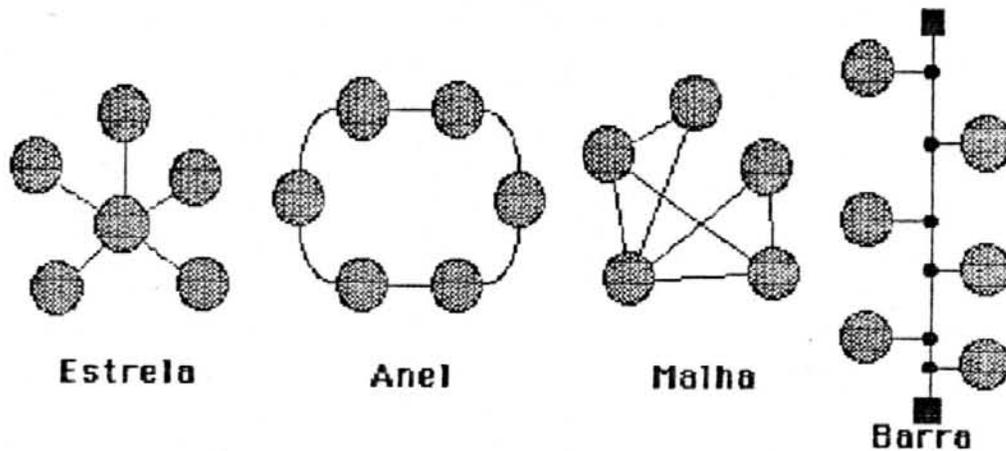


Figura 3.3 Topologias mais frequentes.

Na automação industrial, a topologia predominante é a em barra ("bus"), devido ao fato de que uma mensagem transmitida por uma estação é recebida por todas as outras, já que todas estão conectadas a um mesmo meio de transmissão. Isto resulta em baixos custos de fiação e expansão, e em técnicas mais simples de roteamento e de controle de erros de transmissão [GOM 86]. Além disso, o grau de confiabilidade é alcançada é bastante superior às outras topologias, uma vez que as conexões são passivas e a falha de uma estação não inviabiliza a utilização da rede pelas outras estações.

#### 3.4.2 Meios de Transmissão

O meio de transmissão é o meio físico que liga um transmissor a um receptor, em um sistema de comunicação. Os meios de transmissão, juntamente com as técnicas de transmissão, determinam: a distância máxima de transmissão, a velocidade de transferência, a imunidade a ruídos, a possibilidade de derivações e os custos de projeto,

instalação e manutenção.

Os meios de transmissão mais difundidos atualmente no ambiente industrial são os cabos coaxiais, pares trançados e fibras óticas.

Os cabos coaxiais, dependendo da técnica de transmissão utilizada, permitem uma velocidade de transmissão de até 500 Mbps em distâncias de vários quilômetros, sem regeneradores ou amplificadores de sinal e com uma boa imunidade ao ruído. Utilizando-se a banda base ("base band") como técnica de transmissão, as redes de cabo coaxial podem atingir distâncias de mais de 1000 m, permitindo a conexão de aproximadamente até 200 estações. Se for utilizada a técnica de transmissão em banda larga ("broadband"), milhares de estações podem ser conectadas com uma distância total de até 50 km [MEN 84].

O par trançado é um dos meios mais comuns de transmissão, no entanto, são altamente susceptíveis a ruídos e interferências, não suportando velocidades de transmissão muito altas.

A fibra ótica, por sua vez, possui uma capacidade de transmissão superior a 1 Gbps, muito maior que a dos cabos coaxiais, sendo completamente imune ao ruído elétrico. Hoje em dia, seu uso ainda é restrito devido aos problemas tecnológicos envolvidos nas derivações necessárias na topologia de barramento [STA 85]. Na medida em que estas limitações tecnológicas forem eliminadas e os custos forem reduzidos, este meio de transmissão tende a ser o mais utilizado nos ambientes industriais.

### 3.4.3 Técnicas de Transmissão

A técnica de transmissão é a forma como a informação é entregue ao meio físico de transmissão para ser propagada pela rede até a estação receptora.

Uma das técnicas mais simples e difundida para transferência de informações entre computadores, instrumentos ou outros dispositivos consiste em enviar pulsos digitais de corrente ou tensão diretamente no meio de transmissão, e é chamada de transmissão em banda base. Este mecanismo funciona relativamente bem para pequenas distâncias e cabos de pequeno diâmetro. No entanto, para distâncias mais longas, esta técnica é bastante afetada pela distorção dos sinais e pelos ruídos, requerendo o uso de repetidores para amplificação e regeneração do sinal.

Em um ambiente eletricamente ruidoso, como o de uma indústria, deve-se procurar utilizar uma técnica de transmissão que seja altamente imune ao ruído. A técnica de sinalização analógica dos dados, chamada de modulação, alcança maiores distâncias com menor sensibilidade ao ruído. A modulação é o processo pelo qual se imprime uma informação em uma onda portadora através da variação de um de seus parâmetros (amplitude, frequência ou fase). O processo inverso, no qual a informação é retirada da onda portadora, é chamado demodulação [TAR 77].

No contexto de redes locais, a modulação geralmente se confunde com a chamada transmissão em banda larga.

Entre as características que a tecnologia de transmissão em banda larga possui, pode-se citar o fato de que ela permite a utilização de vários canais de comunicação no mesmo meio físico através da multiplexação por frequência. O espectro de frequências do cabo pode ser dividido em diferentes canais com faixas de frequência

distintas. Cada canal pode então ser alocado para uma aplicação específica, como por exemplo: tráfego de dados, sinais de TV, etc.

As desvantagens deste sistema associado à topologia de barramento, advém do fato dele ser inerentemente unidirecional, ou seja, as transmissões são feitas em um canal de frequência, remoduladas por um conversor de frequências ("headend") e retransmitidas na rede utilizando outro canal, por onde as mensagens são recebidas pelas estações. Por isto, a confiabilidade é mais baixa (se o conversor falha, falha a rede) e os modems são mais complexos e caros, porém a sensibilidade a ruídos é muito baixa.

Um tipo de transmissão utilizando a técnica de modulação, porém mais simples e barato, é aquele em que somente um canal é modulado, isto é, onde a onda portadora tem sua frequência constantemente alterada de acordo com o valor dos bits (0, 1). A este tipo de transmissão mais simples, [GOM 86] chamou de "transmissão em banda-portadora" ("carrierband").

Informações detalhadas e estudos comparativos entre as diferentes técnicas de transmissão, podem ser encontradas em [STA 85], [BAL 85], [GAL 85] e [KLE 86].

A figura 3.4 ilustra as modulações em banda larga e banda portadora.

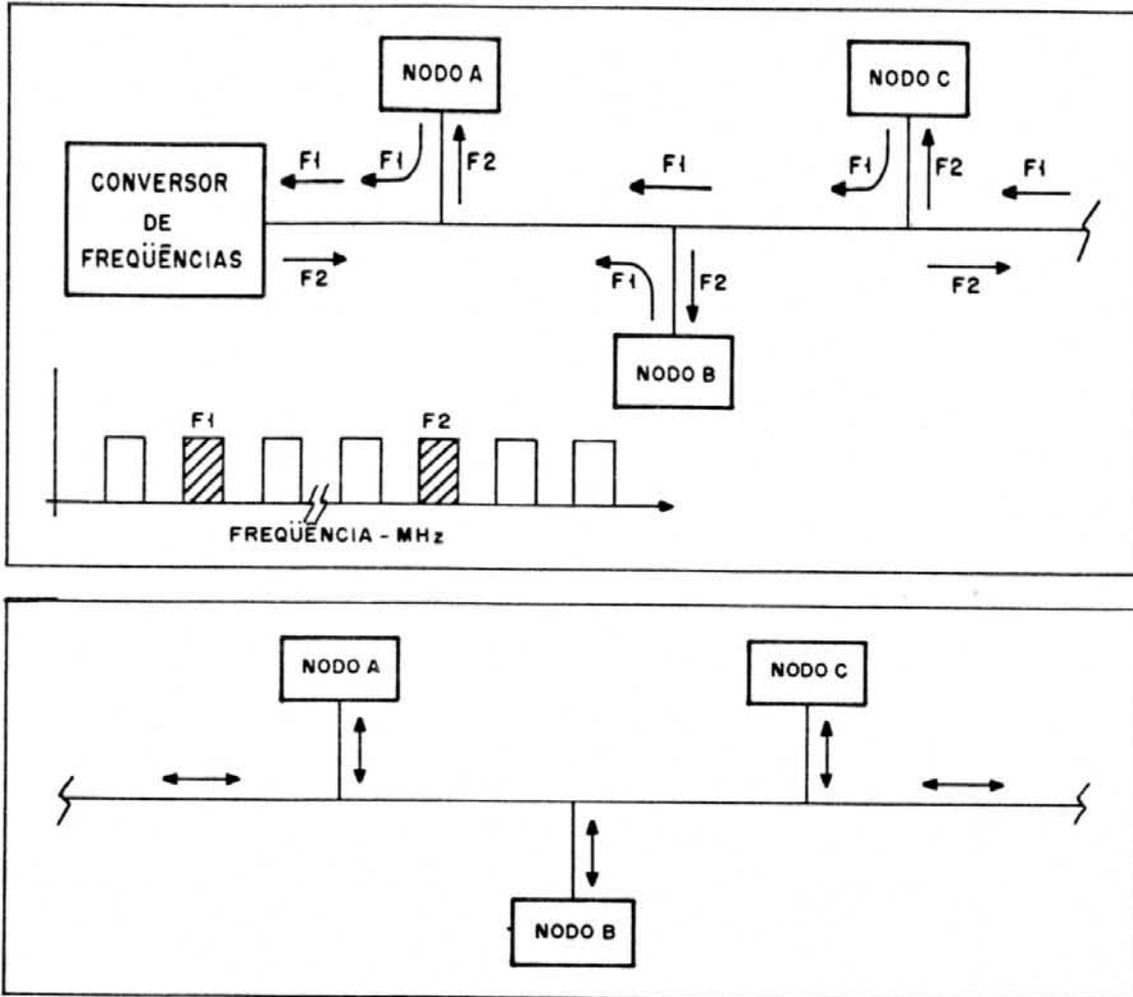


Figura 3.4 Modulação banda larga X modulação banda portadora

#### 3.4.4 Métodos de Acesso

Após estarem interconectados através de um meio físico de transmissão e segundo uma topologia selecionada, é necessário que todas as estações possam utilizar o meio para transmissão das informações. O método de acesso, define as regras que devem ser seguidas pelas estações para que, em algum instante, uma estação que deseje transmitir informações, possa acessar o meio físico.

A seleção do método de acesso está intimamente relacionada com o meio de transmissão e principalmente, com

a topologia utilizada.

Como a topologia mais utilizada em ambientes industriais é a em barra, dois tipos particulares de método de acesso são de interesse: Acesso Múltiplo com Detecção de Portadora e Detecção de Colisão - CSMA/CD ("Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection") e Passagem de Permissão ("Token Passing").

- CSMA/CD - É uma das técnicas mais populares e difundidas para controle de acesso ao meio. Neste método, para transmitir, uma estação aguarda um período de silêncio do meio de transmissão (isto é, um instante em que nenhuma estação esteja transmitindo) e então envia a mensagem desejada de uma forma bit-serial. Se após iniciada a transmissão, a mensagem colidir com alguma mensagem de outra estação, esta colisão será detectada pelas estações transmissoras. Então, cada estação transmissora propositalmente envia alguns bits adicionais para garantir a propagação da colisão por todo o sistema. Após, a estação permanece em silêncio durante um intervalo de tempo aleatório antes de tentar transmitir novamente [ANS 85].

É um método de acesso simples, de implementação barata, e encontrou ampla divulgação na automação de escritórios e outras aplicações. No entanto, este método não garante o acesso determinístico, particularmente no caso de grandes taxas de ocupação do meio.

- PASSAGEM DE PERMISSÃO - Na técnica de Passagem de Permissão, as estações formam um anel lógico no barramento, em função do seu endereço. Além disso, cada estação conhece o endereço da sua estação sucessora e predecessora. Um pacote de controle, chamado ficha ou bastão ("token") circula pelo anel lógico.

Quando uma estação está de posse da ficha, ela tem

garantido o acesso ao meio por um período de tempo determinado, durante o qual ela pode transmitir um ou mais pacotes, consultar outras estações e receber respostas.

Quando não houver mais nada a transmitir, ou após expirado o intervalo de tempo, a ficha é passada para a próxima estação do anel lógico [IEE 83].

A implementação deste método é mais complexa que a do CSMA/CD, principalmente devido aos procedimentos de: inicialização do anel lógico, adição de novas estações e tratamento de erros, tais como perda ou duplicação da ficha. No entanto, o método apresenta como vantagens a possibilidade de utilização de prioridades (através de diferentes tempos de retenção da ficha); além disso, como no modo normal de operação não ocorrem colisões, é possível garantir que cada estação terá sua chance de transmitir dentro de um limite máximo de tempo, o que torna o método determinístico, o que é altamente desejável para aplicações em tempo real.

Organizações de padronização trataram de uniformizar e formalizar os diferentes métodos de acesso ao meio. Os métodos CSMA/CD e "Token Passing Bus" foram transformados em "International Standard" 8802/3 e 8802/4 respectivamente pela ISO [ANG 87].

### 3.5 Modelo de Referência OSI=ISO

Para que os computadores possam se comunicar através de uma rede, não basta que o meio de transmissão, o método de acesso e a técnica de transmissão sejam comuns a todos os computadores, é necessário que os serviços de comunicação (mecanismo de recuperação de erros, tamanho máximo das mensagens, forma de codificação das informações, etc.) utilizados também sejam comuns. Este conjunto de

regras que governa a troca de dados entre os participantes de uma rede é chamado de protocolo.

Quando equipamentos heterogêneos e de diferentes fabricantes necessitam trocar informações através de uma rede de comunicação de dados, é necessário que o protocolo utilizado por estes equipamentos seja idêntico. Assim, torna-se evidente a necessidade de um conjunto de padrões que sejam divulgados e adotados internacionalmente.

Em 1977, a ISO ("International Standards Organization") iniciou estudos sobre Interconexão de Sistemas Abertos (OSI - "Open Systems Interconnection") para solucionar as questões de padronização [DAY 83].

O objetivo do Modelo de Referência para Interconexão de Sistemas Abertos é fornecer um referencial comum no desenvolvimento de padrões para interconexão de sistemas de computadores.

O fato dos sistemas serem abertos não implica na implementação de um sistema específico ou de determinada tecnologia, mas se refere a um reconhecimento mútuo e suporte aos padrões que se aplicam àquela aplicação [STA 85].

O Modelo de Referência OSI-ISO é um modelo abstrato de comunicação no qual são descritas as funções referentes à comunicação. A idéia básica é representada pela decomposição funcional do mecanismo de comunicação em uma hierarquia de camadas funcionais. Estas camadas são descritas através de um conjunto de serviços, protocolos, interfaces e unidades de dados.

Uma camada é um conjunto de unidades funcionais (entidades), que fornecem serviços à camada superior seguinte. Esta por sua vez, utiliza os serviços das camadas

inferiores.

A motivação principal desta divisão, é a de que cada camada adiciona valor aos serviços providos pelo conjunto de camadas inferiores de tal modo que, na mais alta são oferecidos o conjunto completo de serviços necessários para a execução das aplicações distribuídas. Assim, o problema total é dividido em partes menores.

O protocolo é um conjunto de regras que dirige a comunicação entre as unidades funcionais da camada específica. O protocolo define o formato da informação a ser transferida e as ações a serem tomadas quando determinada informação for recebida. O protocolo da camada-(N) define como uma unidade funcional troca dados com uma unidade funcional da camada-(N) de outra estação.

Uma interface define o mecanismo através do qual as camadas se comunicam. Ela define as regras e os formatos para troca de informação entre camadas adjacentes em uma estação local. A interface pode ser definida em termos de características mecânicas, elétricas, temporais ou de software.

As unidades funcionais comunicam-se através da troca de unidades de dados definidas pelo protocolo. As unidades de dados, também chamadas unidades de dados do protocolo (PDU - "Protocol Data Unit"), correspondem às mensagens, aos quadros, aos pacotes, etc. Assim, para transferir um quadro da camada-(N+1) de acordo com o protocolo-(N+1), esta deve passar o quadro pela interface-(N) de forma a atingir a camada-(N). A unidade de dados da interface-(N) não corresponde exatamente ao protocolo da camada-(N+1), pois pode conter informações adicionais para controle da própria comunicação. Pode indicar informações de controle como: o tipo de serviço requerido; o tempo de

espera por uma resposta; uma indicação de que uma resposta não é esperada; o nível de prioridade, etc [ISO 82], [GOM 86], [STA 85], [DAY 83] e [LIN 83].

Estes conceitos podem ser visualizados nas figuras 3.5 e 3.6.

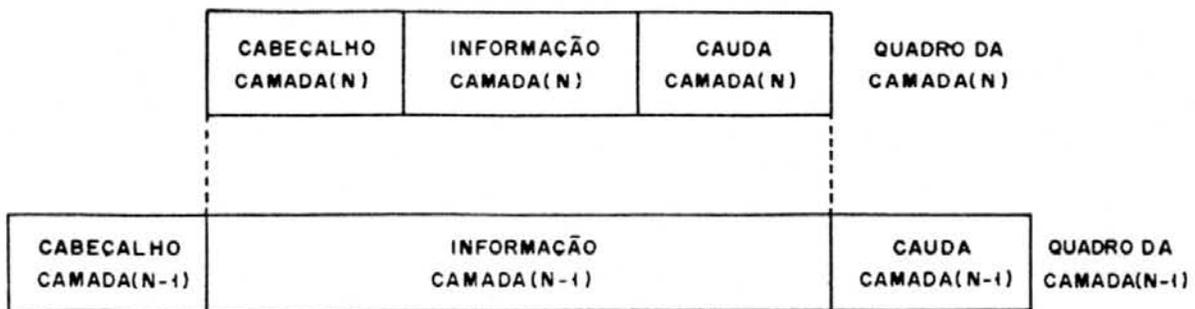


Figura 3.5 Unidades de dados.

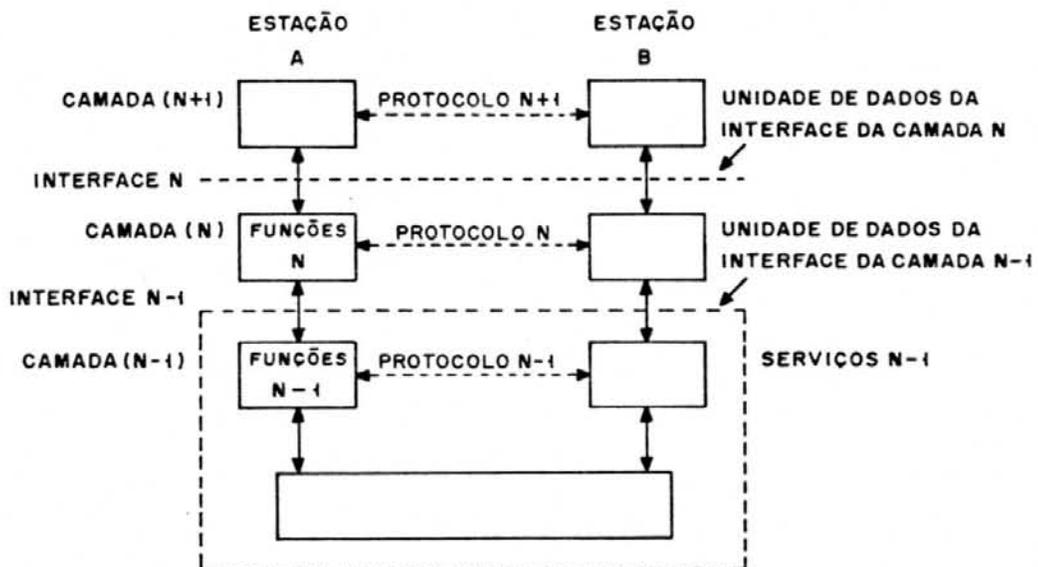


Figura 3.6 Decomposição funcional do mecanismo de comunicação no Modelo de Referência OSI/ISO.

A definição da estrutura em camadas traz uma série de vantagens:

- Independência: uma camada só conhece os serviços fornecidos por outro, sendo transparente o modo como estes serviços são implementados;

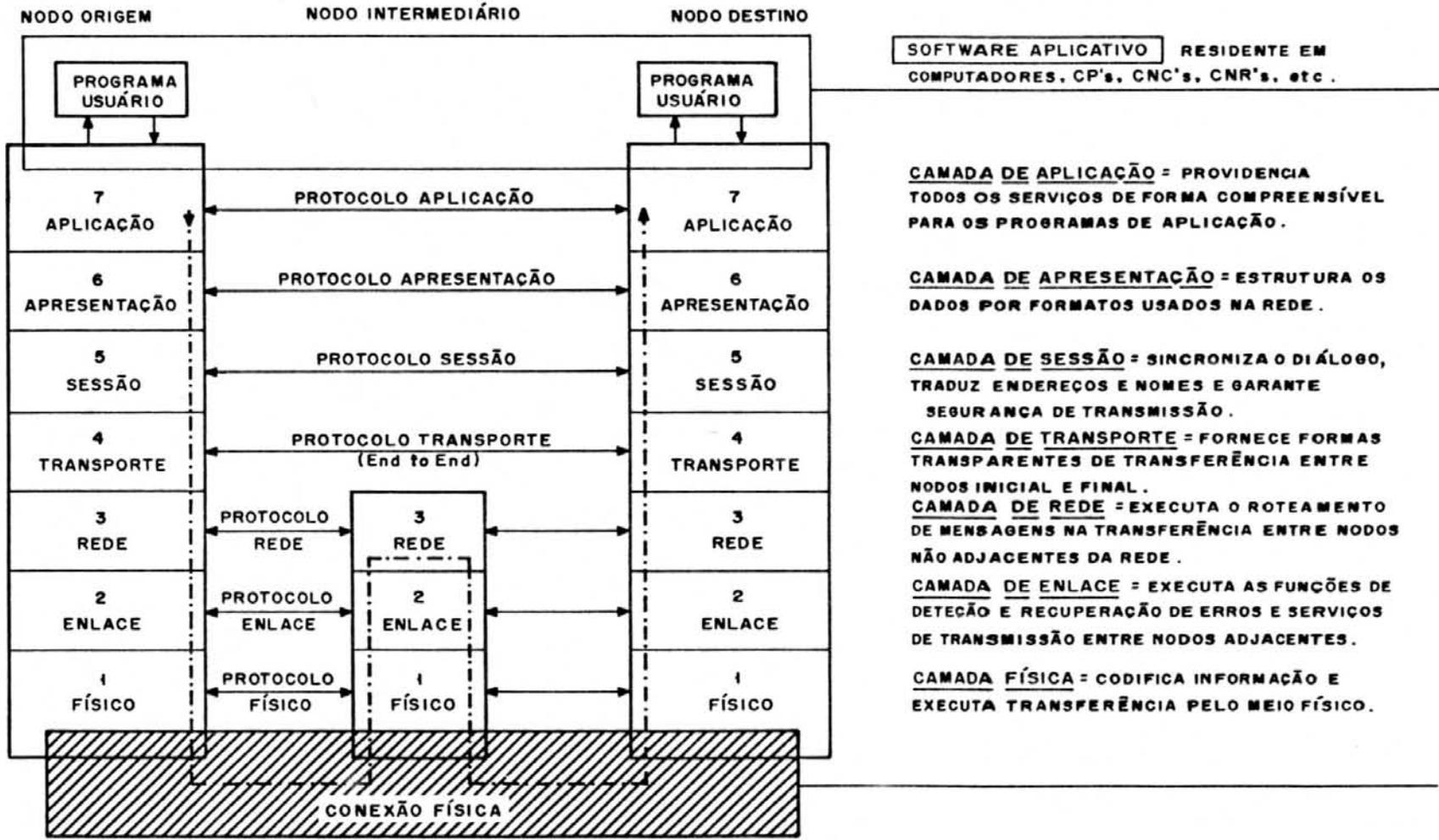
- Flexibilidade: as modificações por ventura feitas em uma, ou em um conjunto de camadas não afeta as camadas superiores, contanto que os serviços oferecidos não sejam alterados;

- Separação Física: permite a implementação de cada camada pelo uso da tecnologia mais apropriada (hardware LSI, VLSI ou software);

- Simplicidade de Implementação: torna a implementação de sistemas complexos gerenciável, uma vez que decompõe os serviços globais em partes mais facilmente compreensíveis.

O Modelo de Referência proposto pela ISO foi subdividido em sete camadas independentes. Este número foi escolhido de forma a escalonar o problema em partes menores que pudessem ser consideradas relativamente independentes. As sete camadas são apresentadas resumidamente na figura 3.7 e descritas mais detalhadamente na seção 4.2.3, quando for apresentada a especificação do padrão MAP.

Figura 3.7 Descrição funcional das camadas do Modelo de Referência OSI/ISO.



- CAMADA DE APLICAÇÃO** = PROVIDENCIA TODOS OS SERVIÇOS DE FORMA COMPREENSÍVEL PARA OS PROGRAMAS DE APLICAÇÃO.
- CAMADA DE APRESENTAÇÃO** = ESTRUTURA OS DADOS POR FORMATOS USADOS NA REDE.
- CAMADA DE SESSÃO** = SINCRONIZA O DIÁLOGO, TRADUZ ENDEREÇOS E NOMES E GARANTE SEGURANÇA DE TRANSMISSÃO.
- CAMADA DE TRANSPORTE** = FORNECE FORMAS TRANSPARENTES DE TRANSFERÊNCIA ENTRE NODOS INICIAL E FINAL.
- CAMADA DE REDE** = EXECUTA O ROTEAMENTO DE MENSAGENS NA TRANSFERÊNCIA ENTRE NODOS NÃO ADJACENTES DA REDE.
- CAMADA DE ENLACE** = EXECUTA AS FUNÇÕES DE DETECÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ERROS E SERVIÇOS DE TRANSMISSÃO ENTRE NODOS ADJACENTES.
- CAMADA FÍSICA** = CODIFICA INFORMAÇÃO E EXECUTA TRANSFERÊNCIA PELO MEIO FÍSICO.

## 4 PROPOSTAS DE PADRONIZAÇÃO PARA REDES DE COMUNICAÇÃO DE DADOS EM AMBIENTE INDUSTRIAL

### 4.1 Introdução

A utilização crescente de dispositivos de controle programáveis, no setor industrial, fez com que surgissem no mercado, inúmeros fabricantes e diversos equipamentos de controle. Estes equipamentos normalmente, eram dotados de canais seriais que possibilitavam sua comunicação com o mundo exterior.

Conseqüentemente, um grande número de sistemas de comunicação e protocolos foram desenvolvidos pelos fabricantes de equipamentos de controle. Com isto, informações detalhadas sobre determinado sistema de comunicação ou protocolo eram conhecidas apenas pelo próprio fabricante do equipamento e, geralmente, os diferentes sistemas eram incompatíveis entre si, causando enormes dificuldades na integração destes dispositivos através de redes de comunicação.

Sem a utilização de padrões, os usuários se viam forçados a compor soluções parciais, tendendo a resolver problemas específicos individualmente. Mais tarde, a integração se mostrava difícil, ineficiente, muitas vezes impossível e certamente custosa do ponto de vista financeiro.

Um exemplo típico deste problema aconteceu na General Motors Co., um dos maiores fabricantes mundiais de veículos que, se vendo premiada pela crescente competição a nível mundial na indústria automobilística, decidiu automatizar suas operações, visando melhorar a qualidade e a eficiência e obter custos de produção mais baixos.

O resultado desta automação no entanto, foi o

surgimento de "ilhas de automação" onde uma "ilha" não podia comunicar-se com outras. Para sanar este problema, a companhia teve que desenvolver software e hardware para permitir que equipamentos de diferentes fabricantes pudessem comunicar-se uns com os outros.

As interconexões ponto-a-ponto entre os vários dispositivos nas redes de comunicação da GM requeria numerosos pacotes de software para manipulação dos diferentes protocolos de comunicação, como pode ser visto na figura 4.1. No nível físico, o número de cabos necessários para esta topologia de interconexões ponto-a-ponto produzia um "emaranhado" de fios entrelaçados de forma confusa e difícil de gerenciar [BAR 85]. O custo para desenvolvimento destas interfaces era considerável (50% do custo total para a automação [KAM 86]), o tempo de desenvolvimento era longo, e uma vez colocadas em funcionamento eram inflexíveis, já que a interconexão com novas ilhas requeria a repetição de toda a carga de trabalho.

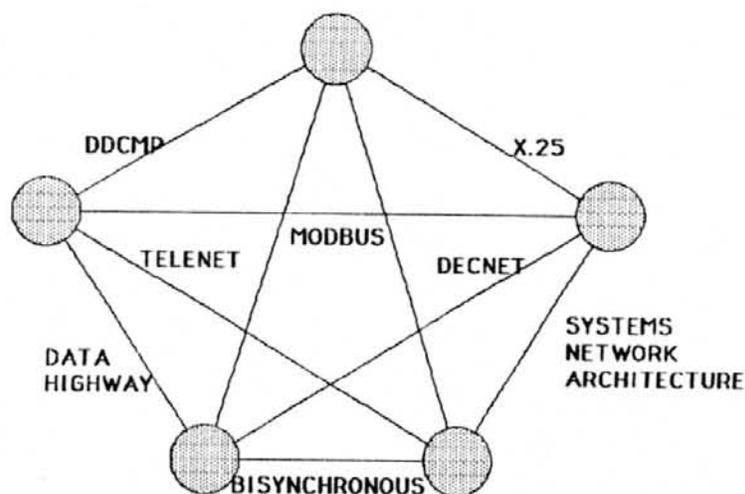


Figura 4.1 Interconexão ponto-a-ponto entre ilhas de automação.

A solução visualizada pela GM ao se defrontar com este crescente problema de interligação das "ilhas de automação" foi desenvolver uma abordagem padronizada para a comunicação de dados no ambiente industrial. Assim como a GM, diversas outras organizações vêm empreendendo esforços para o desenvolvimento de padrões visando integrar estas funções de informação e controle.

Este capítulo apresenta os principais projetos atualmente em desenvolvimento para padronização em redes de comunicação de dados no ambiente industrial, analisando suas características, serviços oferecidos, vantagens e desvantagens.

## 4.2 Projeto MAP

Para que a integração dos setores industriais pudesse ser alcançada, era necessário um padrão que fosse amplamente divulgado e adotado pelos diversos fabricantes de equipamentos computadorizados. O Projeto MAP ("Manufacturing Automation Protocol"), é atualmente o padrão que mais se aproxima destes requisitos, sendo uma das mais importantes iniciativas para possibilitar uma efetiva automação fabril.

Suas diretrizes e especificações objetivam definir uma rede local capaz de suportar comunicações entre terminais, recursos computacionais e dispositivos programáveis dentro de uma fábrica ou complexo fabril.

A arquitetura adotada admite a interconexão de múltiplas redes locais, bem como a conexão de redes de longa distância ou PBXs digitais.

### 4.2.1 Histórico

Em 1980, um grupo de trabalho ("task force") foi formado pela GM com o intuito de investigar o uso do Modelo

de Referência OSI da ISO como base para uma abordagem padronizadora para a comunicação de dados no ambiente industrial. Representantes de sete divisões da GM integraram este grupo para garantir que um largo espectro dos requisitos de comunicação fossem considerados.

Em 1982, a GM decidiu agir como catalizadora do processo de padronização das redes de comunicação através do desenvolvimento de um conjunto de protocolos de comunicação conhecido como MAP. O grupo de trabalho selecionou uma série de padrões disponíveis considerados apropriados para o ambiente industrial e a automação da produção, e combinou com algumas especificações temporárias da GM sempre que determinado tópico não fosse atendido por nenhum padrão já existente, tendo sido publicado um primeiro documento a este respeito, contendo considerações gerais sobre redes, bem como informações sobre implementação.

Uma segunda versão do documento MAP foi publicada em 1984, sendo referenciada como versão 1.0 e contendo um detalhamento maior de informações. Este documento, assim como todas as versões posteriores, é destinado aos fornecedores que desejem fabricar produtos utilizados pela GM em redes industriais, bem como aos funcionários da própria GM que desejem entender os requisitos para redes MAP em detalhes.

A versão 2.0, datada de fevereiro de 1985, referencia novos padrões desenvolvidos recentemente e atividades da GM nos protocolos das camadas superiores do OSI.

Devido à base fortemente instalada de redes banda larga na GM, bem como a grande experiência anterior das pessoas envolvidas no projeto neste assunto, a versão 2.1 do MAP, publicada em março de 1985, dava forte ênfase à

tecnologia de compartilhamento de um meio de transmissão em banda larga como sendo a linha tronco ("backbone") de uma rede local que percorre toda a fábrica e que permite a comunicação entre qualquer nó dentro da fábrica. No entanto, esta versão não satisfazia completamente os requisitos de comunicação para células de manufatura de baixo custo, comunicação em tempo real, funções de gerenciamento de rede e sistemas de controle de processos [CRO 86].

A versão 2.2, publicada em fins de 1986, procurou tratar do problema de comunicação para células de manufatura, extendendo as especificações MAP para incluir o que foi chamado "Arquitetura de Célula MAP" ("MAP Cell Architecture").

Durante o ano de 1986, o projeto TOP ("Technical and Office Protocol"), voltado para a comunicação de dados no ambiente técnico-administrativo das empresas, se incorporou ao MAP e os dois passaram a ser coordenados conjuntamente, resultando no projeto MAP/TOP. Um "draft" das especificações MAP3.0/TOP3.0 foi publicado no início de 1987 e continha novos aspectos na camada de apresentação e protocolos de aplicação, como o FTAM e o MMS, bem como protocolos de Diretórios e de Administração de Redes. O grupo de usuários MAP, formado nos EUA em março de 84, estendeu-se a diversos países na Europa, Japão e Austrália contando hoje em dia com mais de 1600 companhias participantes oficiais [MEN 86], [MEN 87] e [CRO 85].

#### **4.2.2 Estruturas para Interconexão de Redes e Sub-redes**

Para que todos os dispositivos possam se conectar à rede MAP, o meio físico de transmissão da rede deve ser acessível de qualquer local da planta. No entanto, a

instalação do cabeamento físico por todas as áreas de uma fábrica encontra dificuldades, seja em função do "lay-out", do meio físico utilizado, ou mesmo do número de dispositivos interligados, que pode exceder a capacidade de um único tronco. Em vista destes problemas, a especificação MAP reconhece a necessidade da existência de diversas sub-redes ou segmentos interligados através de dispositivos do tipo "ponte" ("bridge"), "roteador" ("router") ou "conversor" ("gateway") [GEN 86].

a) PONTES ("BRIDGES") - Pontes são dispositivos transparentes para o usuário final, utilizados para conectar dois segmentos de uma mesma rede. Os protocolos de Enlace destes segmentos geralmente são idênticos. Uma ponte pode ser utilizada para estender uma rede além da distância máxima definida para um único segmento, também pode ser utilizada para interligar redes com taxas de transmissão diferentes ou com diferentes técnicas de modulação. A arquitetura de uma ponte pode ser vista na figura 4.2.

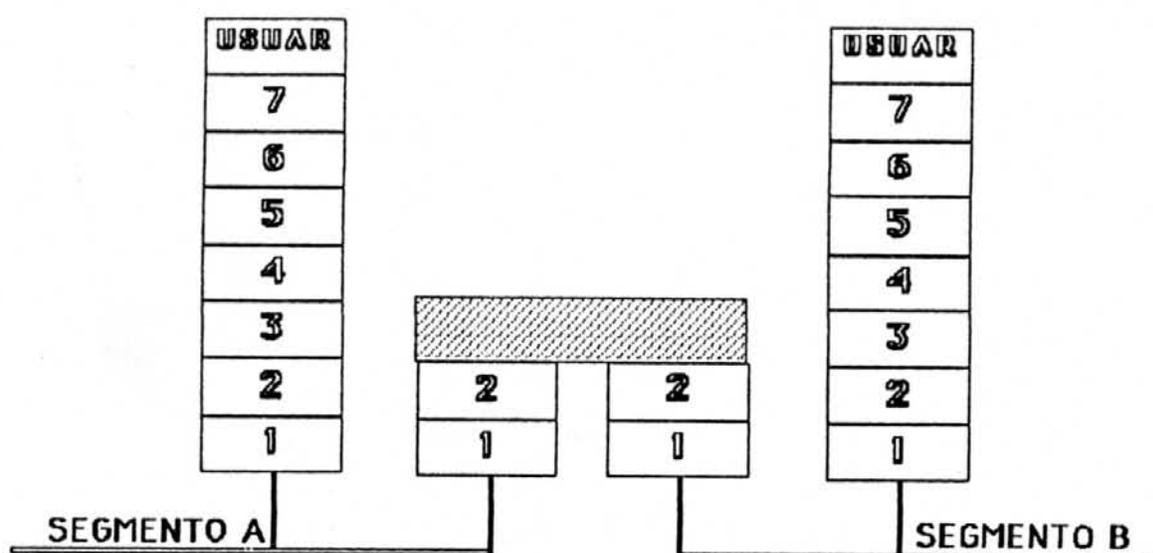


Figura 4.2 Estrutura de uma ponte.

b) **ROTEADORES ("ROUTERS")** - Roteadores são dispositivos normalmente utilizados para conectar várias redes em um ponto comum. O roteador provê seleção de caminhos ou de chaveamento baseado no endereço de rede, nas informações e no estado das redes a ele conectadas. A arquitetura de um roteador pode ser vista na figura 4.3.

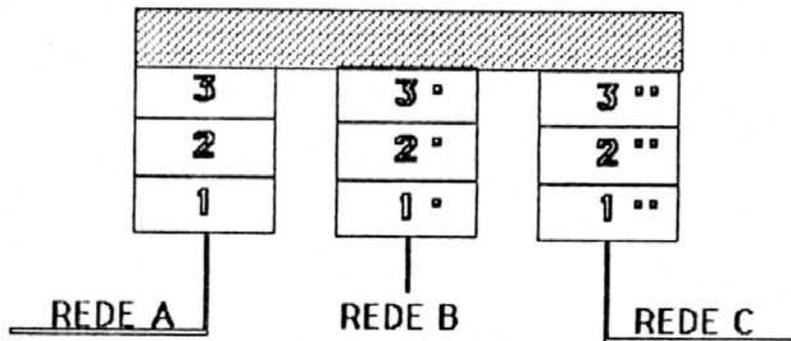


Figura 4.3 Estrutura de um roteador.

c) **CONVERSORES ("GATEWAYS")** - Conversores são dispositivos que conectam redes com diferentes arquiteturas através de uma "tradução" de protocolos. A diferença básica entre uma ponte e um conversor é que este último utiliza todas as sete camadas do RM-OSI, enquanto que uma ponte utiliza apenas as camadas 1 e 2. Dentro do ambiente MAP, os conversores permitem interconectar as redes proprietárias mantidas por razões históricas ou de migração à linha tronco. A arquitetura de um conversor pode ser vista na figura 4.4.

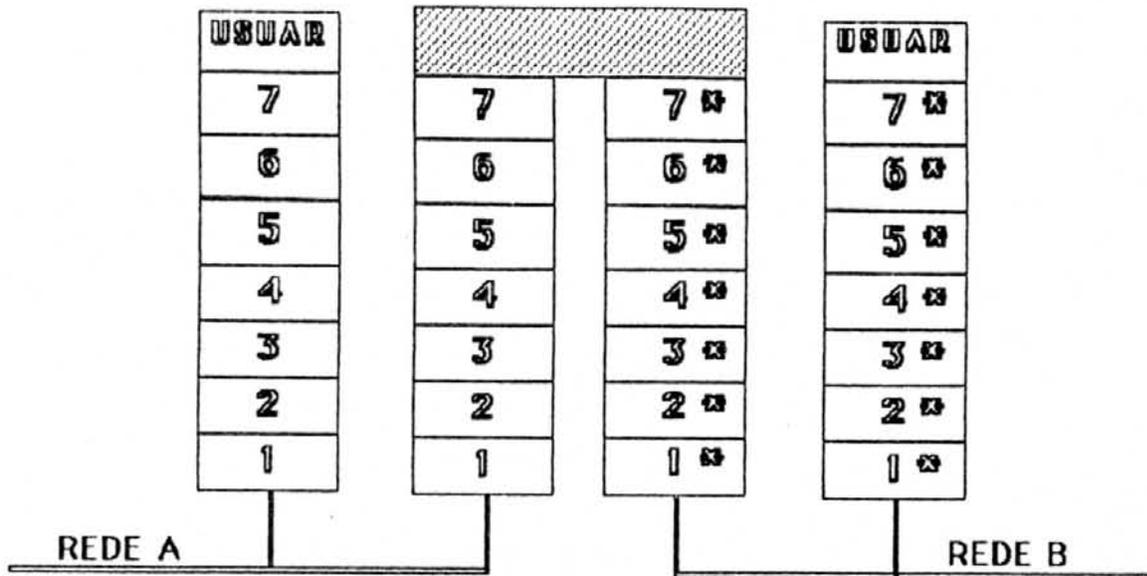


Figura 4.4 Estrutura de um conversor.

#### 4.2.3 Especificação das Camadas

Como já foi exposto anteriormente, um dos objetivos específicos da especificação MAP é aderir à estrutura de protocolo proposta pelo Modelo de Referência OSI/ISO, já que este modelo é adotado pela maioria das organizações nacionais e internacionais de padronização.

A seleção dos protocolos para as camadas ISO/OSI no "draft" da versão 3.0, estão esquematizadas na figura 4.5 e são apresentadas a seguir [MEN 87], [GEN 86] e [CRO 85].

APLICAÇÃO	EIA 1393 Draft 5 (MMS)    ISO 8571 (FTAM) SASE ISO 8649    ISO 8650 (KERNEL)    ACSE
APRESENTAÇÃO	NULO
SESSÃO	ISO 8326    ISO 8327 (SESSION KERNEL) (FULL DUPLEX)
TRANSPORTE	ISO 8072    ISO 8073 (CLASSE 4)
REDE	ISO 8473    ISO 8348    ISO 8348/AD1
ENLACE	ISO 8802/2 (LLC Tipo 1 Classe 1) ISO 8802/4 (MAC Token-passing bus)
FISICO	ISO 8802/4 (PHY Broadband/Carrierband)

Figura 4.5 Protocolos MAP.

a) CAMADA FÍSICA - A camada física executa a sinalização elétrica entre estações em uma rede, isto é, a transferência de bits entre nós da rede incluindo a velocidade de transmissão, níveis de sinais, propriedades mecânicas e elétricas dos conectores.

Na especificação MAP foram adotados dois tipos de transmissão física da especificação IEEE 802.4 "token bus":

- Cabo coaxial, transmissão em banda larga ("broadband"), taxa de 10 Mbps, modulação AM-PSK ("Phase-Shift Keying"), duobinária com alocação "mid-split" dos canais de transmissão e recepção;

- Cabo coaxial, transmissão em banda portadora ("carrierband"), taxa de 5 Mbps, fase-coerente, canal único.

Os sistemas banda larga são instalados de acordo com os padrões industriais de televisão por cabo (CATV), e destinam-se à implementação da linha tronco ("backbone") da

rede, em virtude das características de baixa atenuação do sinal, da baixa interferência eletro-magnética e da capacidade que oferecem para a transmissão simultânea de dados, voz e imagem.

Já os sistemas em banda portadora destinam-se aos níveis inferiores de transmissão na fábrica e foram especificados devido à necessidade de se possuir alternativas mais simples e baratas que os sistemas em banda larga, uma vez que suportam um único canal bi-direcional, não necessitam de tradutor de frequências ("head-end") e as interfaces são passivas, mais simples, confiáveis e baratas.

Estes sistemas suportam, no máximo, algumas dezenas de estações a distâncias inferiores a 1000m, utilizando cabo coaxial do tipo RG-11 de 75 ohms.

b) CAMADA DE ENLACE - Esta camada transfere quadros entre dois nós adjacentes da rede, incluindo controle do acesso a meios de transmissão compartilhados além de detecção e correção de erros. A ISO distingue duas sub-camadas de protocolos: - a sub-camada de Controle de Enlace Lógico ("LLC - Logical Link Control") que se constitui na sub-camada superior da Camada de Enlace e provê os serviços de conexão, detecção de erros, endereçamento, etc; e - a sub-camada de Controle de Acesso ao Meio ("MAC - Medium Access Control"), responsável pela interface com a camada física e pelos algoritmos e métodos de controle de acesso da estação ao meio físico e controle de colisões.

A sub-camada LLC especificada pelo MAP adota os serviços do tipo 1 (não orientado a conexão, sem reconhecimento - ("unacknowledged connection-less"), uma vez que as camadas superiores, em particular a de transporte, suportam as funções de seqüenciamento, controle de fluxo e recuperação de erros.

Devido à necessidade da implementação de respostas rápidas para estações sem o "token" e se alcançar maior segurança em sub-redes com Arquitetura de Célula, foram incluídos na especificação MAP serviços do tipo 3, sem conexão/com reconhecimento - "single-frame".

Os serviços e primitivas para a implementação da sub-camada LLC tipo 3 podem ser vistos na tabela 4.1.

TABELA 4.1 - Serviços e primitivas da sub-camada LLC tipo 3.

Serviços	Primitivas
L-DATA-ACK	request indication confirm
L-REPLY	request indication confirm
L-REPLY-UPDATE	request confirm

O serviço L-DATA-ACK permite a transmissão de dados com reconhecimento; o serviço L-REPLY requisita dados com resposta e o serviço L-REPLY-UPDATE informa a unidade remota que ela deve preparar os dados a serem eventualmente transmitidos quando da recepção de um L-REPLY-indication.

A sub-camada MAC especificada pelo MAP adotou para disciplina de acesso ao meio o método de passagem de permissão descrito pelo padrão IEEE 802.4 "token-passing bus". As vantagens deste método de acesso já foram apresentadas na seção 3.4.4. Além disso, as justificativas para seleção destes protocolos da camada de enlace estão amplamente descritas em [GEN 86].

c) CAMADA DE REDE - Esta camada fornece os serviços necessários ao roteamento de pacotes de informação entre os nós origem e destino em uma rede de comunicação

complexa através das sub-redes, mantendo a qualidade da comunicação apropriada para a transmissão. Nesta camada é realizada a conversão do endereço global em instruções de roteamento, através de tabelas e/ou outros algoritmos.

O protocolo da camada de rede especificado para o MAP é o Protocolo para Comunicação de Dados que provê Serviços de Rede Não-Orientados à Conexão (CLNS - "Connectionless Network Service") definido pela ISO 8473.

De acordo com [MEN 87], na especificação MAP foi adotada a estrutura de divisão da camada de rede em sub-camadas conforme descrito na ISO/DIS 8648. A divisão em sub-camadas permite uma maior modularidade na descrição das funções desta camada, porém não implica necessariamente que as sub-camadas sejam implementadas desta forma modular. As sub-camadas identificadas são:

- o "Subnetwork Access function/protocol" (SNAc), é responsável pela interface com a camada de enlace e os protocolos específicos de acesso a sub-rede;

- o "Subnetwork Dependent Convergence function/protocol" (SNDC), é responsável por prover a "harmonização" das características de duas sub-redes, uniformizando os serviços para a sub-camada superior. A especificação prevista segue o padrão ISO/DIS 8473/DAD1;

- o "Subnetwork Independent Convergence function/protocol" (SNIC), suporta todas as primitivas de serviços de rede e permite a execução do roteamento ("routing").

O MAP considera três níveis de roteamento:

- entre empresas diferentes;
- entre redes diferentes da mesma empresa;
- entre um sistema final ("endsystem") e outro sistema final ou intermediário ("intermediate system") da

mesma rede.

[MEN 87] informa ainda, que a camada de rede ainda está em evolução e que não foi "congelada" para efeitos de implementação.

d) CAMADA DE TRANSPORTE - A camada de transporte proporciona a transferência de uma mensagem, de um nó origem para um nó de destino de uma forma confiável. Esta camada proporciona os serviços que tornam transparente, para as entidades de sessão, todos os detalhes físicos de transporte de dados através da rede, constituindo-se em um protocolo "fim-a-fim". É também responsável tanto pela partição da mensagem em vários quadros a serem transmitidos pela rede, quanto pela montagem da mensagem após a sua chegada. A ISO definiu cinco classes diferentes para a camada de transporte, cada uma com diferentes níveis de complexidade, desde a classe 0 (Classe Simples) adequada para ambientes simples de transmissão não multiplexada, até a classe 4 (Detecção de Erros e Recuperação de Dados\*), a mais sofisticada, com todos os serviços de multiplexação, detecção e recuperação de erros.

Os serviços que implementam a camada de transporte na especificação MAP foram os definidos pela classe 4 da ISO/DIS 8072 e 8073. Esta é a classe de serviços mais complexa e que provê serviços orientados à conexão suportando controle de fluxo, multiplexação, além de detecção de erros para pacotes fora de seqüência, perdidos ou destruídos. Apesar do tempo adicional de processamento inserido, a segurança oferecida por esta classe é bastante desejável em sistemas de alta responsabilidade.

e) CAMADA DE SESSÃO - A camada de sessão provê os serviços de administração do diálogo de forma a que as entidades pares troquem dados de forma organizada e

sincronizada. Para isso, a camada de sessão ativa e desativa conexões entre nós, gerencia e controla o diálogo entre dois usuários dos serviços de sessão e mapeia nomes lógicos em endereços físicos. Proporciona também funções de validação e de resincronização.

A especificação MAP pretende seguir os protocolos ISO 8326 e 8327 na extensão necessária ao suporte dos protocolos de aplicação. Segundo [MEN 87], até o presente momento apenas as seguintes unidades funcionais foram adotadas:

- "Kernel Functional Unit", que suporta os serviços básicos de estabelecimento e término de conexão bem como transferência normal de dados;

- "Duplex Functional Unit", para transferência bi-direcional de dados; e

- "Resynchronize Functional Unit", com a definição dos pontos intermediários de sincronização do diálogo.

f) CAMADA DE APRESENTAÇÃO - A camada de apresentação proporciona a negociação da representação da informação que as entidades de aplicação que estão se comunicando podem utilizar ou referenciar na sua conversação. Aplicações que desejem se comunicar poderão não possuir uma forma comum de representação da informação a ser transferida, no entanto, elas possuirão um entendimento comum sobre a semântica associada à informação. A camada de apresentação provê a maneira de preservar a semântica da informação durante a transmissão, isto é, providencia uma representação comum dos dados e das estruturas de dados e especifica o conjunto de ações a serem realizadas sobre a estrutura de dados. Esta forma de representação comum é denominada sintaxe de transferência.

Esta camada era nula nas versões MAP anteriores à 3.0. No entanto, com a publicação da notação "Abstract

Syntax Notation" - ASN.1 no ISO/DIS 8824 para sintaxes abstratas e regras de codificação correspondentes para sintaxes de transferência no ISO/DIS 8825, a especificação MAP passou a utilizar a unidade funcional de "Presentation Kernel" do ISO/DIS 8823 e 8824 publicada no final de 1986.

g) CAMADA DE APLICAÇÃO - A camada de aplicação provê todos os serviços que estão diretamente disponíveis para o usuário final de uma rede. Deste modo, para que um processo de aplicação acesse um ambiente OSI, ele deve utilizar os serviços oferecidos por esta camada.

Um Processo de Aplicação (PA) é um conjunto de requisições para processamento da informação (o programa do usuário). Uma Entidade de Aplicação (EA) é o conjunto de elementos para processamento de informação que dizem respeito à comunicação de dados.

Um Elemento do Usuário (EU) representa a parte do Processo de Aplicação que utiliza os Elementos do Serviço de Aplicação necessários para efetuar a comunicação. Especificamente, o Elemento do Usuário é como o Processo de Aplicação enxerga o mundo OSI. Os Elementos do Serviço de Aplicação (ESA) são as rotinas utilizadas para efetuar a conexão, liberação e transferência de dados. Juntos, o Elemento do Usuário e os Elementos do Serviço de Aplicação formam a Entidade de Aplicação.

A camada de aplicação compreende três categorias principais de protocolos: Serviços Comuns de Aplicação ("CASE - Common Application Service Elements"), Serviços Específicos da Aplicação ("SASE - Specific Application Service Elements") e Serviços de Gerenciamento de Rede.

Os Serviços Comuns de Aplicação formam uma sub-camada que proporciona recursos para o controle de uma

associação entre duas entidades de aplicação que se comunicam através de uma associação de aplicação.

Os Serviços Específicos da Aplicação proporcionam uma categoria genérica de protocolos que fornecem serviços específicos para aplicações, tais como transferência, acesso e Gerenciamento de Arquivos ("FTAM - File Transfer Access and Management"), Protocolos para Terminais Virtuais ("VTP - Virtual Terminal Protocol"), Manipulação e Transferência de Tarefas ("JTM - Job Transfer and Manipulation") e Sistemas para o Manuseio de Mensagens ("MMS - Message Handling Systems") como o Correio Eletrônico. Serviços de Gerenciamento de Rede fornecem protocolos para o gerenciamento da rede OSI juntamente com os serviços de gerenciamento contidos em cada camada.

Estes conceitos podem ser visualizados na figura 4.6.

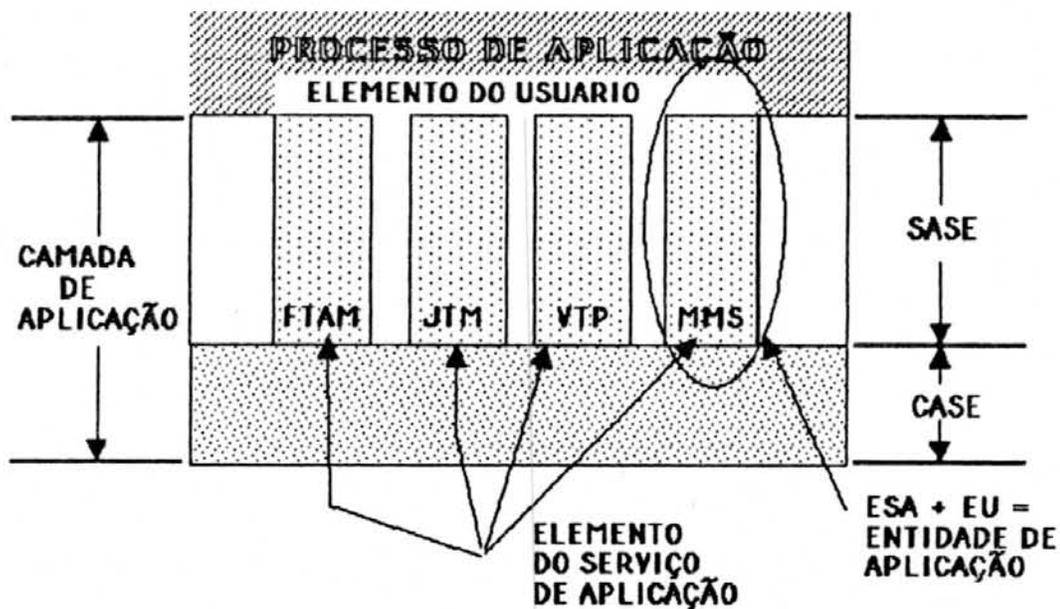


Figura 4.6 Camada de aplicação.

Na especificação MAP os Elementos do Serviço de Aplicação são divididos em duas classes:

- os Elementos do Serviço para Controle da Associação são os responsáveis pelo estabelecimento, término ou aborto das associações entre os PAs pares.

- os Elementos do Serviço Específicos à Aplicação responsáveis pelos serviços específicos de uma dada aplicação, tais como serviços para transferência, acesso e gerenciamento de arquivos remotos providos pelo padrão FTAM ("File Transfer Access and Management" e outros.

Estudos ainda estão em curso sobre os protocolos de aplicação a serem utilizados na especificação MAP, estando em definição os seguintes protocolos:

- Elementos do Serviço para Controle da Associação - ACSE - com serviços de "associate", "release" e "abort" segundo o ISO 8649/2 e 8650/2;

- Serviços para Transferência, Acesso e Gerenciamento de Arquivos Remotos - FTAM - com um conjunto de serviços para transferência de informação entre PAs e arquivos de dados englobando manipulação de arquivos binários ou de texto (criação, deleção, transferência, leitura, escrita, mudança e localização);

- Serviços para gerenciamento de rede;

- Serviços de Diretórios baseados no ISO/DP 9594/1, com o objetivo de facilitar referências a objetos na rede. O sistema de diretórios não deverá ser uma base de dados de uso geral, pois se supõe que as consultas são muito mais frequentes que as alterações;

- Serviços para Troca de Mensagens no Ambiente da Produção, reunidos no padrão denominado MMS ("Manufacturing Message Service for Bidirectional Transfer of Digitally Encoded Information"). O MMS, também chamado de RS-511 foi desenvolvido em conjunto com a EIA WG-1393 e possui características para utilização em tempo real no controle de

células e processos. Define nomes e operações para quatro classes de equipamentos: comandos numéricos, controladores programáveis, robôs e sistemas de controle de processos.

Os serviços e protocolos definidos na norma MMS estão sendo adotado como padrão para a camada de aplicação em todos os projetos atuais de padronização, razão pela qual será descrito com maiores detalhes na seção seguinte.

#### 4.2.4 Serviços para Troca de Mensagens - O Padrão MMS

O MMS é uma linguagem de comandos de comunicação que possibilita a troca de mensagens entre os processos de aplicação dos equipamentos da fábrica, tais como: computadores, CNCs, CPs e outros dispositivos de controle.

A utilização do MMS permite que um engenheiro de controle direcione seus esforços para a solução de problemas de controle e produção, uma vez que a linguagem de comandos fornece os serviços padrões que permitem o acesso a dados e a execução de ações de controle em dispositivos remotos, independentemente do equipamento ou do fabricante.

Os serviços são organizados em uma série de funções correlatas, chamadas Classes de Serviços, que por sua vez podem ser compostas por uma ou mais Unidades Funcionais (U.F.). As Classes de Serviços do padrão MMS, suas U.Fs e os serviços que as compõem são descritas sucintamente a seguir, informações mais completas podem ser encontradas em [EIA 86] e [HAG 86].

a) GERENCIAMENTO DE CONTEXTO - Os serviços da U.F. de Gerenciamento de Contexto são utilizados para iniciar, finalizar e abortar comunicações dentro do contexto MMS. Permite ainda que os usuários MMS troquem informações sobre suas capacidades e necessidades, tais como: versões da norma

suportadas, privilégio requisitado e oferecido, tamanho máximo das mensagens, número máximo de serviços pendentes, etc.

Os serviços que compõem esta U.F. são:

- initiate;
- conclude; e
- abort.

b) ACESSO REMOTO A VARIÁVEIS - É composto por três U.F. que permitem o acesso e definição remota de variáveis dentro de um ambiente MMS.

A U.F. de Acesso a Variável é composta pelos seguintes serviços:

- read;
- write; e
- informationReport.

A U.F. de Definição de Nome de Variável é composta pelos seguintes serviços:

- defineVariableName;
- getVariableName; e
- deleteVariableName.

A U.F. de Definição de Tipo de Variável é composta pelos seguintes serviços:

- defineTypeName;
- getTypeNameDefinition; e
- deleteTypeName.

Os serviços de Acesso Remoto a Variáveis manipula objetos chamados variáveis. Os atributos de uma variável são: seu nome (opcional), seu endereço, seu tipo e seus requisitos de proteção, se existirem. Uma variável pode ser definida, lida ou escrita, podendo ser acessada pelo seu nome ou pelo seu endereço e tipo.

O nome de uma variável, se existir, pode ser definido local ou remotamente. Além disso, o escopo de validade do nome pode ser específico ao processo de aplicação, o que faz com que ela possa ser acessada por outros usuários pelo mesmo nome, ou o seu escopo de validade pode ser específico da associação de aplicação, ou seja, acessável por um único usuário em uma única associação de aplicação.

c) GERENCIAMENTO DE EVENTOS REMOTOS - O objetivo desta Unidade Funcional é permitir que usuários MMS coordenem suas ações baseados na ocorrência de eventos. A U.F. de Gerenciamento de Evento também provê um modificador, "attachToEventCondition", o qual pode ser utilizado por um usuário MMS para solicitar que as ações associadas à requisição de um serviço específico sejam retardadas até a ocorrência de um evento especificado.

Os serviços que compõem esta U.F. são:

- defineEventConditionName;
- alterEventConditionName;
- deleteEventConditionName;
- reportEventConditionStatistics;
- programEventAction;
- alterEventActionState;
- cancelEventaction;
- alarmTransitionNotification;
- getAlarmSummary; e
- alarmTransitionAcknowledgement.

O MMS define dois tipos de eventos: um evento chamado "automático" ou "monitorado", e um evento chamado "de rede". Um evento automático é aquele que ocorre devido à ação autônoma de um usuário MMS respondedor o qual possui a responsabilidade de monitorar a condição de evento para

detectar uma mudança de estado. Um evento de rede é um evento que ocorre devido à ação explícita ("polling") de um usuário MMS requisitante.

No MMS um evento "automático" é definido como a mudança detectada no estado de uma "condição de evento". Uma condição de evento é identificada por um nome e representada por um par de expressões booleanas: a condição "set" e a condição "clear". Em qualquer instante de tempo, o estado de uma condição de evento pode ser "SET" ou "CLEAR". Caso o estado corrente de uma condição de evento seja CLEAR e a expressão booleana que representa a condição set é detectada como sendo verdadeira, então a condição de evento transiciona para o estado SET e diz-se que o evento ocorreu. Do mesmo modo, a transição inversa também representa um evento.

Um evento de rede é identificado e representado por um nome. Ao contrário dos eventos automáticos, eventos de rede não são monitorados pelo usuário MMS respondedor. Em vez disso, é a recepção de uma requisição do serviço "alterEventConditionMonitoring" especificando a ação "activate" para determinado evento de rede, que faz com que o evento, representado pelo nome, aconteça. O MMS não provê mecanismos para prioritização de condições de evento de rede ou para classificação destes eventos como alarmes.

d) GERENCIAMENTO E TRANSFERÊNCIA DE ARQUIVOS - Os serviços de Gerenciamento e Transferência de Arquivos são compostos por três U.F. que provêm os meios necessários para transferência de programas de controle e arquivos de dados de/para dispositivos de controle, bem como facilidades para manipulação de diretórios de arquivos em dispositivos de controle.

A U.F. de Transferência de Arquivo é composta

pelos seguintes serviços:

- fileOpen;
- fileClose; e
- fileRead.

A U.F. de Obtenção de Arquivo é composta pelo serviço de obtainFile.

A U.F. de Gerenciamento de Arquivo é composta pelos seguintes serviços:

- fileRename;
- fileDelete; e
- fileDirectory.

O modelo MMS de um arquivo pretende suportar a transferência de arquivos seqüenciais contendo segmentos de programas de controle ou dados. Cada arquivo reconhecido pelo MMS possui um nome que é utilizado para identificar o arquivo. Além do nome, cada arquivo possui um "tipo de conteúdo" que define a sintaxe abstrata do conteúdo do arquivo. Para que a transferência do arquivo seja bem sucedida, os processos de aplicação cooperantes devem possuir um entendimento comum a respeito do significado semântico do tipo de conteúdo do arquivo.

Um usuário MMS que suporta o modelo MMS de arquivo deve manter um diretório de arquivos que podem ser abertos para transferência. A entrada para um arquivo neste diretório deve conter as seguintes informações:

1. o nome do arquivo;
2. o tamanho do arquivo em octetos;
3. o tipo de conteúdo do arquivo, se conhecido;
4. a data e horário de criação, se conhecido;
5. a data e horário da última alteração, se conhecido;

6. o nome do criador do arquivo, se conhecido.

e) GERENCIAMENTO DE SEMÁFOROS E RECURSOS - A U.F. de Gerenciamento de Semáforos e Recursos contém serviços que permitem o controle e a coordenação de recursos e semáforos específicos do processo de aplicação. Recursos são associados a nomes pré-definidos, e não podem ser acessados internamente do nó ou externamente através dos serviços MMS a menos que o controle tenha sido solicitado e garantido. Os semáforos, ao contrário, não estão associados a nenhum recurso, mas podem ser definidos quando necessário para coordenar ações entre usuários MMS cooperantes.

Esta U.F. é composta pelos seguintes serviços:

- takeControl;
- relinquishControl;
- defineSemaphore;
- deleteSemaphore;
- reportSemaphoreStatus; e
- attachToSemaphore modifier.

f) SERVIÇOS PARA ESCALONAMENTO DE TAREFAS - Os serviços para Escalonamento de Tarefas são agrupados em três U.F. que fornecem os meios pelos quais todos os aspectos da execução de programas podem ser gerenciados. Estes serviços devem ser coordenados com os serviços de Gerenciamento de Semáforos e Recursos nos casos em que mais de um usuário MMS remoto pode especificar e executar o programa de controle. Em particular, o semáforo "\_Execute" pode ser utilizado para restringir o controle de tarefas a um único usuário remoto por vez.

Estes serviços permitem a definição de programas a serem executados por dispositivo remoto, possibilitam operações de "start", "stop" e execução em ordem inversa

("backup"); permitem também a execução seqüencial ou incremental de um programa e a definição e utilização de filas de execução de programas.

A U.F. de Execução Incremental é composta pelos seguintes serviços:

- setIncrementalExecuteMode;
- setProgramExecuteMode; e
- incrementalexecute.

A U.F. de Controle de Job é composta pelos seguintes serviços:

- start;
- stop; e
- backup.

A U.F. de Enfileiramento de Job é composta pelos seguintes serviços:

- enableQueue;
- disableQueue;
- createJob;
- addJobToQueue;
- deleteJobFromQueue;
- reportQueueStatus; e
- appendToJob modifier.

g) SERVIÇOS PARA COMUNICAÇÃO COM OPERADOR - A U.F. de Comunicação com Operador permite a uma aplicação acessar uma estação de operação simples de modo a escrever textos simples em um "display" com instruções para o operador e ler um texto com dados digitados pelo operador. A estação de operação deve estar sob o controle do usuário requisitante do serviço (através de um semáforo associado à estação) antes que os serviços de comunicação sejam solicitados.

Esta U.F. é composta pelos seguintes serviços:

- input; e
- output.

h) GERENCIAMENTO DE ESTADO DE DISPOSITIVOS E FUNÇÕES DE CONTROLE - Os serviços da U.F. de Estado de Dispositivos permitem obter informações sobre as condições de operação gerais de um dispositivo. A especificação define as condições de operação "funcional" ou "não-funcional", sendo que definições mais exatas sobre condições de operação são de responsabilidade dos implementadores dos serviços.

Os serviços que compõem esta U.F. são:

- status;
- unsolicitedStatus; e
- runSelfDiagnostics.

Os serviços da U.F. de Controle de Dispositivos permitem o controle de dispositivos de saída dedicados para os modos "pulsante" ou "chaveado". Um usuário pode controlar diretamente um dispositivo remoto comandando-o para um ponto de referência conhecido.

Os serviços que compõem esta U.F. são:

- activateDeactivate; e
- calibrate.

i) SERVIÇOS GERAIS - A U.F. de Serviços Gerais contém serviços que são geralmente úteis aos usuários MMS, mas que não se encaixam adequadamente em nenhuma U.F. em particular. Estes serviços possibilitam ao usuário obter uma lista de nomes (de tipos, variáveis, eventos, semáforos, programas, configuração, relatórios, etc.) definidos em um sistema remoto. Permitem ainda cancelar uma requisição pendente, identificar as capacidades e serviços disponíveis no sistema remoto e receber a notificação de que ocorreu um erro no protocolo.

Os serviços que compõem esta U.F. são:

- getNameList;
- cancel;
- identify; e
- reject.

j) GERENCIAMENTO DE RELATÓRIOS - As aplicações muitas vezes necessitam que um histórico com os principais eventos e dados do processo seja mantido e atualizado.

Os serviços de Gerenciamento de Relatórios permitem a uma aplicação programar um par MMS remoto para registrar e armazenar uma lista dos eventos ocorridos, os dados associados e o horário da ocorrência.

Uma vez que a especificação do relatório prevê uma tabela de tamanho finito, as ocorrências mais antigas são descartadas de modo a abrir espaço para novas ocorrências na tabela.

Os serviços que compõem esta U.F. são:

- defineJournalName;
- alterJournaling;
- deleteJournalName;
- readJournal; e
- writeToJournal.

k) SERVIÇOS DE CARGA DE PROGRAMAS - Existem 4 U.F.s que se encaixam nesta categoria de serviços:

- U.F. de Carga de Programa ("download");
- U.F. de Obtenção de Programa ("upload");
- U.F. de Transferência de Programa ("program load"); e
- U.F. de Configuração de Carregamento.

As U.F.s de "download" e "upload" são utilizadas

para colocar/retirar programas executáveis na/da memória de sistemas remotos. Estes serviços são fundamentalmente diferentes das operações de transferência de arquivos.

Transferência de arquivos se dá entre sistemas de armazenamento de arquivos, sem interferência específica no hardware do dispositivo remoto. Os serviços de transferência de programas podem requerer que o sistema seja colocado em um estado conhecido, com valores conhecidos para as entradas e saídas, de modo a prevenir possíveis danos ao equipamento.

Os serviços que compõem a U.F. de Carga de Programa são:

- initiateDownloadSequence;
- transmitDownloadSegment; e
- terminateDownloadSequence.

Os serviços que compõem a U.F. de Obtenção de Programa são:

- initiateUploadSequence;
- receiveUploadSegment; e
- terminateUploadSequence.

O objetivo da U.F. de "program load" é preparar um programa para execução, no entanto, funções que complementam este objetivo também são incluídas. Esta U.F. permite instruir um sistema remoto a:

1. colocar um arquivo executável (que já esteja residente no sistema de arquivos do usuário remoto) no estado "pronto-para-execução";
2. armazenar um programa no sistema de arquivo;
3. carregar um arquivo de dados em uma variável; e
4. carregar uma variável em um arquivo de dados.

Os serviços que compõem esta U.F. são:

- programLoad; e

- storeProgramToFile.

A U.F. de Definição de Configuração de Carregamento permite criar, deletar ou obter uma configuração de memória na qual será carregado o programa.

Os serviços que compõem esta U.F. são:

- defineLoadConfiguration;
- getLoadConfiguration;
- deleteLoadConfiguration; e
- clearLoadConfiguration.

#### 4.2.5 Análise Crítica da Especificação MAP

Com o que foi visto até o momento, é possível proceder-se a uma análise a respeito da conveniência da especificação MAP como padrão para uma rede capaz de atender a todos os requisitos de comunicação de dados em todos os níveis de controle do ambiente industrial.

De acordo com Michael Kaminski Jr., gerente do projeto MAP na GM, o MAP é necessário em todos os níveis de controle de uma fábrica, provendo informações gerenciais no nível mais alto de controle, coordenando várias estações ao nível de controle funcional das células de produção e controlando dispositivos em tempo-real ao nível do controle direto da produção [KAM 86].

Existe uma série de vantagens advindas da adoção da especificação MAP, entre elas pode-se citar: a utilização do mesmo meio físico da rede para várias finalidades; a facilidade para interconexão de equipamentos de fabricantes diferentes; a possibilidade de escrever programas de controle sem a necessidade de considerar as peculiaridades do sistema de comunicação; a possibilidade de interconectar ilhas de automação em sistemas perfeitamente sincronizados e

coordenados; o aumento da flexibilidade para modificações e expansões na rede; e a melhora na qualidade dos serviços de comunicação oferecidos [HER 86].

Com a implementação de sub-redes MAP em banda portadora, existirá uma tendência a se eliminar as redes proprietárias ao nível da produção, já que as primeiras proporcionarão interconexões rápidas e baratas. [KAM 86] preconiza ainda, que a ligação de redes proprietárias ao tronco MAP através de conversores será desencorajada, pois os conversores são caros, lentos e complexos.

Apesar das diversas vantagens advindas desta primeira tentativa de padronização em grande escala da comunicação de dados no ambiente industrial, e do fato do MAP ter sido pela primeira vez um padrão proposto por usuários e não por fabricantes, alguns autores colocam restrições à pretensão da especificação MAP em ser um padrão obrigatoriamente utilizado em todos os níveis de controle da fábrica.

A estrutura de protocolos MAP atende aos requisitos de comunicação nos níveis superiores da hierarquia de controle. Porém a enorme gama de serviços e a grande segurança de comunicação oferecida pelo padrão trazem efeitos adversos que dificultam ou mesmo impedem a sua utilização nos níveis inferiores da hierarquia de controle. Nos primeiros sistemas instalados os tempos de resposta eram da ordem de 200 a 400 ms. Estes tempos são considerados muito altos para as necessidades de comunicação no nível de controle direto da produção por exemplo [LEI 87].

Além disso, os níveis inferiores da hierarquia de controle caracterizam-se pela existência de uma grande variedade e quantidade de equipamentos de controle. A comunicação entre estes equipamentos não é viável de ser

feita utilizando-se as estruturas MAP, pois devido a sua complexidade, as interfaces são extremamente caras se comparadas com o preço do próprio equipamento de controle (em torno de US\$ 25.000 um nó "full" MAP segundo Kaminski). Coloca-se em dúvida também a necessidade da utilização dos protocolos das camadas de rede, transporte e sessão devido à simplicidade da topologia de barramento e caráter localizado da informação, além do "overhead" suplementar imposto pelo processamento dos protocolos destas camadas.

Os artigos mais recentes das revistas especializadas apresentam várias críticas ao projeto MAP, segundo William Johnson, vice-presidente da DEC, o principal problema em comunicação de dados no ambiente industrial não é a comunicação entre "mainframes" ou mini-computadores, mas a interconexão dos vários equipamentos de controle dos níveis inferiores da hierarquia, tais como robôs, CNCs e CPs [GAR 85].

Análises críticas e discussões do projeto MAP também podem ser vistas em [SHA 87], [GRAB6], [BAB 87a] e [BAB 87b].

Para resolver estes problemas algumas alternativas estão sendo propostas tanto no âmbito do projeto MAP, como por exemplo a Arquitetura de Desempenho Aperfeiçoado ("Enhanced Performance Architecture" - EPA/MAP) e a Arquitetura Mini-MAP; quanto por outras organizações de padronização como o projeto PROWAY e o padrão ARCnet.

### 4.3 PROWAY

O PROWAY ("Process data highway for distributed control systems") é um padrão desenvolvido inicialmente pelo comitê SP72 da ISA e posteriormente, com o surgimento

do projeto IEEE 802, aprimorado pelo IEC como PROWAY-C. Ele tem por objetivo definir um sistema de comunicação para aplicação no ambiente de controle de processos industriais, onde são necessários baixos tempos de resposta e dispositivos baratos. Um sistema PROWAY pode suportar até 127 estações trocando informações a uma taxa de 1 Mbps em um cabo coaxial de até 1 Km de extensão [CRO 85].

A arquitetura PROWAY é composta por quatro camadas hierarquicamente ordenadas. Como no Modelo de Referência OSI, cada camada utiliza serviços da camada abaixo dela na hierarquia. As camadas são denominadas "line", "highway", "network" e "application" correspondendo às camadas físicas, de enlace, de rede e de aplicação na terminologia ISO.

No "draft" publicado em junho de 1983 estavam bem definidas as camadas "line" e "highway", tendo esta última inclusive servido de modelo para o tipo 3 da sub-camada de controle lógico do enlace do padrão IEEE 802.2.

O acesso ao meio físico é controlado pela camada "highway" utilizando uma estratégia de passagem de permissão.

A camada "highway" fornece também, à camada superior, elementos de serviço na interface "network"- "highway". As interações entre a camada superior e a camada "highway" são descritas em termos de primitivas de serviço, as quais contém informações estruturadas em parâmetros.

Existem três tipos de primitivas:

- a) "Request From User" (RFU) - enviada pela camada superior para solicitar um dos serviços da camada "highway";
- b) "Response From Highway" (RFH) - enviada pela camada "highway" para notificar à camada superior o resultado de um RFU;
- c) "Indication From Highway" (IFH) - enviada pela

camada "highway", ela pode ser gerada internamente ou causada pela chegada de um RFU de uma estação remota.

Estas primitivas podem ser vistas na figura 4.7.

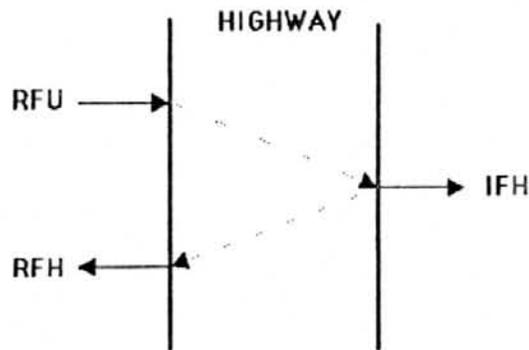


Figura 4.7 Primitivas do PROWAY.

Cada primitiva transporta os seguintes parâmetros:

- a) Código do Serviço - define qual serviço da camada "highway" está sendo solicitado;
- b) Endereço - endereço da estação originadora (em IFHs) ou da estação destinatária (em RFUs e RFHs);
- c) Estado - utilizado apenas em RFH para informar o resultado de uma operação solicitada;
- d) Ponteiro para Informação - aponta para uma área de memória compartilhada entre a camada "highway" e a camada superior para troca de qualquer informação não contida nos parâmetros da primitiva, sendo de responsabilidade de cada usuário definir estas áreas.

Cinco serviços estão definidos para a camada "highway":

- a) Envio de Dados com Reconhecimento - ("Send Data

with Acknowledgment" - SDA) - iniciada pela camada superior para enviar dados para uma estação remota; os dados enviados são identificados pelo parâmetro de Ponteiro para Informação; uma RFH informa à estação iniciadora que a estação remota recebeu os dados;

b) Envio Global de Dados - ("Global Send Data" - GSD) - solicitada pela camada superior para enviar dados a todas as outras estações conectadas ao barramento; neste caso, a RFH apenas informa que os dados foram transmitidos na linha;

c) Requisição de Dados com Resposta - ("Request Data with Reply" - RDR) - Permite à camada superior obter dados previamente produzidos por uma estação remota; esta última coloca os dados em um "buffer" de onde eles serão retirados pela camada "highway" para serem enviados ao solicitante (o acesso ao "buffer" é controlado por um semáforo). Nenhuma IFH informa ao produtor que a transmissão do "buffer" está sendo realizada;

d) Gerenciamento do PROWAY - ("Management of PROWAY" - MOP) - solicitado pela camada superior para realizar operações de gerenciamento na camada "highway", tais como inicializações ou definições de recursos necessários para a execução de um serviço. Esta operação é solicitada por uma RFU e reconhecida através de um RFH; paralelamente, a camada "highway" pode gerar internamente um MOP IFH para notificar sua camada superior um evento, como por exemplo uma alteração na lista de estações ativas;

e) Recuperação de Estação Remota - ("Remote Station Recovery" - RSR) - permite a uma estação gerar até três pulsos com 100 ms em uma estação remota visando, por exemplo iniciar procedimentos de carga de programa ("bootstrap") ou "reset".

Um resumo das principais características do padrão

PROWAY pode ser vista na tabela 4.2.

TABELA 4.2 - Principais características do padrão  
PROWAY.

<p>Topologia: barramento serial</p> <p>Número máximo de estações: 127</p> <p>Velocidade de transmissão: 1 Mbps</p> <p>Taxa de erros: <math>10^{-6}</math></p> <p>Campo de dados: 1024 bytes</p> <p>Classes de serviços de comunicação</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1-Envio de Dados com Reconhecimento</li> <li>2-Envio Global de Dados</li> <li>3-Requisição de Dados com Resposta</li> <li>4-Gerenciamento do PROWAY</li> <li>5-Recuperação de Estação Remota</li> </ol>
--

Tendo em vista o Modelo de Referência OSI e as aplicações em tempo-real, o PROWAY tende a adotar o seguinte conjunto de protocolos [GOM 86]:

- a) Camada de Aplicação - padrão EIA RS-511 - MMS;
- b) Camada de Enlace - LLC IEEE 802.2 tipo 3;  
MAC - "Token Passing Bus";
- c) Camada Física - barramento serial, cabo coaxial, modulação "phase-continuous" canal único, velocidade de transmissão de 1 a 5 Mbps, tempo de acesso menor que 50 ms;

As demais camadas são nulas como ilustra a figura 4.8.

CAMADA	PROWAY
7	PROTOCOLO MMS
6	NULOS
5	
4	
3	
2	MEIO DE ACESSO : PASSAGEM DE FICHA PROTOCOLO LLC SEGUNDO ISA S 72.01 SERVIÇOS DO TIPO SDA E RDR
1	BARRAMENTO SERIAL CABO COAXIAL, MODULAÇÃO DO TIPO "PHASE-CONTINUOUS" CANAL ÚNICO DE TRANSMISSÃO VELOCIDADE DE 1 A 5 Mbit/s TEMPO DE ACESSO MENOR QUE 50ms

Figura 4.8 Estrutura PROWAY-C.

#### 4.4 EPA/MAP = Arquitetura de Desempenho Aperfeiçoado do MAP

A medida que a especificação MAP progrediu, o usuário da área de controle de processos começou a demonstrar uma necessidade por um sub-conjunto dos serviços MAP que, através da perda de alguma funcionalidade, obtivesse menores tempos de resposta. Durante o ano de 1985 surgiram dentro do projeto MAP estruturas que procuravam solucionar os problemas de comunicação em tempo-real dentro das ilhas e células de manufatura baseando-se nas idéias básicas do PROWAY [LEI 87].

Dois tipos de arquiteturas foram previstas, a arquitetura EPA/MAP ("Enhanced Performance Architecture") e uma arquitetura mais simples chamada Mini-MAP, ambas inicialmente descritas na versão 2.2 da especificação MAP.

A arquitetura EPA, além de especificar para a camada física a transmissão a 5 Mbps e modulação em banda

portadora, permite que o protocolo de certas camadas do Modelo OSI utilizados na especificação MAP sejam opcionalmente omitidos a fim de aumentar o desempenho da rede. Ao mesmo tempo as comunicações seguindo a especificação MAP completa, também devem ser mantidas quando necessário. Deste modo, um nó EPA/MAP suporta tanto as sete camadas especificadas pela arquitetura MAP completa, quanto uma arquitetura para comunicações com restrições de tempo, através da ligação direta da camada de aplicação com uma camada de enlace que provê serviços de reconhecimento imediato (LLC IEEE 802.2 tipo 3), saltando as camadas 3, 4, 5 e 6, como ilustra a figura 4.9 [CRO 86].

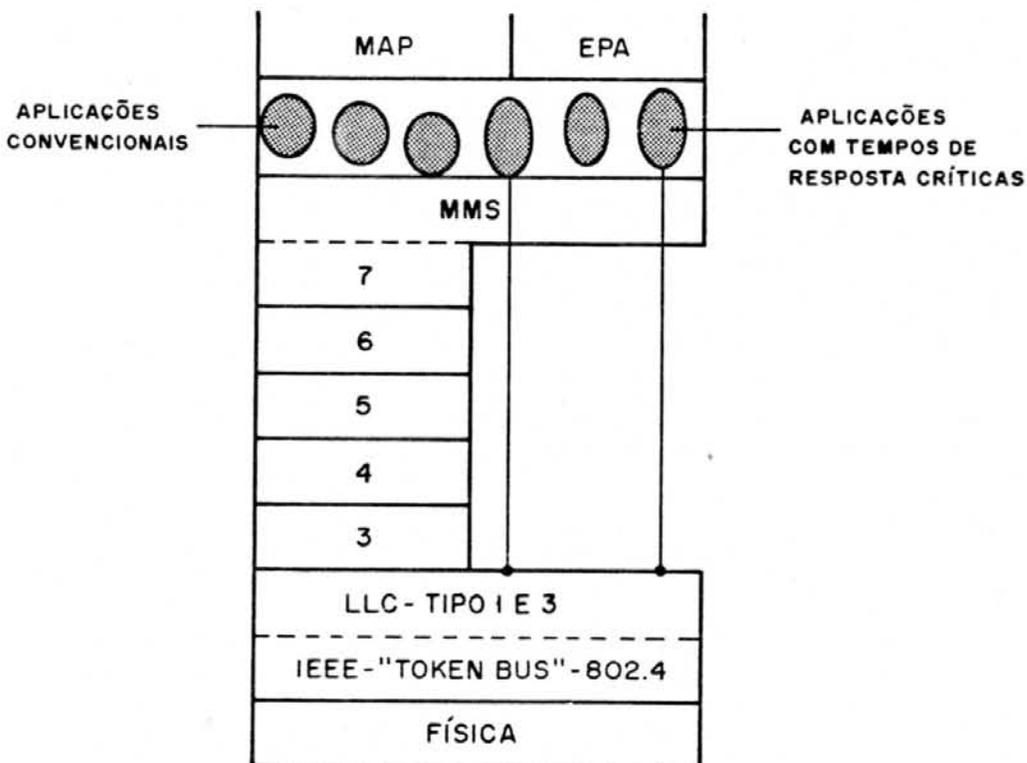


Figura 4.9 Estrutura EPA/MAP.

O serviço de reconhecimento imediato permite a um nó receptor reconhecer imediatamente a recepção de quadros

sem a necessidade de esperar pelo "token". O nó emissor mantém o controle sobre o meio de transmissão por tempo suficiente para que o nó remoto reconheça o quadro ou envie dados previamente preparados, o que permite baixos tempos de resposta com relativa segurança para comunicações em tempo-real.

A arquitetura EPA pode então ser utilizada em células de manufatura, onde 70 a 95% do tráfego de comunicação está localizado dentro da célula; e em sistemas de controle de processos onde são necessários baixos tempos de resposta. Um eventual aumento do tempo de acesso à rede pelos outros nós, pode ser controlado pelo tempo de retenção do "token" pelo nó emissor.

Os requisitos gerais que esta rede deve prover são os seguintes [GEN 86]:

- a) baixos tempos de resposta para mensagens curtas de alta prioridade;
- b) alta confiabilidade do meio e do método de sinalização, mesmo para ambientes altamente ruidosos;
- c) uma rede que possa ser mantida e modificada pelo pessoal de manutenção da fábrica;
- d) uma rede que possa ser facilmente conectada à rede principal da fábrica (através de uma ponte ou roteador);
- e) uma rede que possa manter alguma segurança de acesso a fim de poder evitar conexões não autorizadas.

Apesar de atender a estes requisitos, uma série de limitações passam a ser impostas à arquitetura EPA em função da ausência dos serviços providos pelas camadas 3, 4, 5 e 6 que foram "saltadas". Estas limitações são [GEN 86]:

- a) a perda dos serviços de entrega garantida de mensagens com alta qualidade. Os serviços EPA não garantem a

entrega da mensagem, eles asseguram apenas que serão feitas tentativas de entregar a mensagem e receber um reconhecimento e, que uma falha na recepção do reconhecimento será comunicada ao usuário do serviço;

b) o tamanho máximo das mensagens quando utilizando-se os serviços EPA são limitados ao tamanho máximo da unidade de dados do protocolo de enlace;

c) como não existe a camada de sessão, é impossível resincronizar diálogos entre aplicações ou prover "checkpoints";

d) como não existe a camada de apresentação, a sintaxe de apresentação deve ser conhecida "a priori" pelas aplicações que utilizam os serviços EPA; e

e) as aplicações que utilizam os serviços EPA podem manter apenas uma mensagem pendente (não reconhecida) de cada vez.

Uma restrição fundamental à adoção das estruturas EPA/MAP nos equipamentos de controle de células de manufatura e sistemas de controle advém do alto custo do nó de comunicação, pois é necessária a implementação de uma arquitetura dupla, tanto as estruturas "full" MAP quanto as estruturas EPA, o que torna o software embutido nestas estações bastante complexo e conseqüentemente bastante oneroso.

#### 4.5 Mini\_MAP

Através da simplificação dos requisitos de interconexão e da análise das necessidades específicas dos dispositivos que se comunicam em uma rede simplificada, é possível implementar um conjunto de protocolos consideravelmente reduzido se comparado com o conjunto de protocolos utilizado no MAP completo, e que seja capaz de prover comunicações no nível de controle direto, com o tempo

de resposta e segurança exigidas pelas aplicações, além de possuir um custo compatível com os equipamentos de controle deste nível. A arquitetura resultante destas simplificações é chamada de Mini-MAP.

A arquitetura Mini-MAP é constituída unicamente das camadas 1, 2 e 7 da estrutura EPA, como ilustra a figura 4.10. Assim, nesta arquitetura, a camada de aplicação comunica-se diretamente com a camada de enlace, isto, em conjunto com um método de transmissão barato e confiável como a modulação em banda portadora a 5 Mbps, permite a confecção de módulos de comunicação mais simples e com um custo compatível ao do equipamento de controle que se deseja interconectar à rede. Além disso, devido à remoção de várias camadas de protocolos e conseqüente redução do "overhead" introduzido por estas camadas, o desempenho em termos de tempo de resposta da rede é melhorado, permitindo sua utilização em aplicações de tempo-real [GRA 86].



Figura 4.10 Estrutura Mini-MAP.

A descrição dos protocolos que compõem a arquitetura Mini-MAP e as justificativas para a exclusão das camadas 3, 4, 5 e 6 do Modelo OSI são apresentadas por [GRA

86], [SWE 86] e [GEN 86].

O protocolo da camada de aplicação selecionado é o MMS. Este protocolo define tanto a sintaxe como a semântica que permite que computadores se comuniquem com robôs, CNCs, CPs e outros equipamentos de controle.

Normalmente, o MMS como a sub-camada superior da camada 7, utiliza os serviços do ACSE, a sub-camada inferior da camada 7. No entanto, em pequenos sistemas, o ACSE não é necessário. Além disso, como o MMS define a sintaxe das mensagens, o protocolo de apresentação também pode ser omitido.

O protocolo de apresentação normalmente solicita serviços à camada de sessão. No entanto, como o diálogo entre dispositivos simples é também bastante simples, funções como a resincronização do diálogo não são essenciais, portanto, o protocolo da camada de sessão não é necessário.

Como a quantidade de erros existentes na comunicação entre dispositivos da mesma sub-rede é bastante reduzida, e devido às características de tempo de validade das mensagens, é permitido dispensar a existência do protocolo da camada de transporte. Ainda, como os dispositivos se comunicam geralmente apenas dentro da própria sub-rede, o protocolo da camada de rede também pode ser omitido.

Para compensar a perda de segurança devido à retirada da camada de transporte, adota-se uma camada de enlace com um grau de complexidade e segurança mais elevada, como por exemplo o tipo 3 do padrão IEEE 802.2. Finalmente, substitue-se a sofisticação e complexidade da modulação em banda larga por uma rede com modulação mais simples e

barata, como por exemplo a modulação em banda portadora.

O resultado destas simplificações é um sistema de comunicação simples, com apenas três camadas essenciais, a metade superior da camada de aplicação, a camada de enlace e a camada física, mais especificamente, o padrão MMS na camada 7, ligado diretamente à sub-camada de controle lógico do enlace IEEE 802.2 tipo 3 na camada de enlace, um controle de acesso ao meio determinístico, como a passagem de permissão e uma técnica de modulação simples e barata como a banda portadora. Deste modo, obtém-se um sistema de comunicação adequado para pequenos sistemas industriais, células de manufatura e sistemas de controle que exijam comunicação em tempo-real.

Algumas questões podem ser levantadas a respeito da conveniência ou não da implementação de sub-redes Mini-MAP. Uma das questões se refere ao fato da rede Mini-MAP criar uma nova "ilha de automação" que não pode se comunicar com outras áreas internas ou externas à fábrica.

[GRA 86] responde a esta questão, colocando que, apesar da interconexão de estações de diferentes redes ter sido dificultada pelo Mini-MAP, isto não é impossível, sendo que a interligação de várias "ilhas" Mini-MAP pode ser facilmente conseguida através da utilização de repetidores, a fim de aumentar a distância alcançada pela modulação em banda portadora ou preferencialmente através da utilização de pontes.

Outra questão colocada, baseia-se no fato do Mini-MAP ser incompatível com a rede MAP, o que obrigaria a que sub-redes possuíssem um conversor para possibilitar comunicações através da linha tronco MAP.

De fato, os dispositivos Mini-MAP não podem se comunicar diretamente com a linha tronco ou com dispositivos

MAP completos. No entanto, como o protocolo da camada de aplicação é idêntico nas duas redes, a implementação do conversor é bastante simplificada, pois não existe a necessidade de uma tradução sintática e semântica das mensagens de aplicação, necessitando-se apenas adicionar os protocolos das camadas ausentes. Mesmo este conversor é de certa forma "padronizado" podendo ser utilizado um dispositivo EPA/MAP para esta finalidade.

## 5 IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO Mini-MAP NA UFRGS

### 5.1 Introdução

A medida em que a especificação MAP parece se firmar em termos mundiais como um padrão globalmente aceito para as linhas tronco que permitirão a automação e integração de todo o sistema de manufatura, diversas restrições têm sido levantadas quanto à sua aplicabilidade nos níveis inferiores da hierarquia de controle, onde se faz necessário um controle em tempo-real, além de equipamentos mais simples e baratos.

Em termos nacionais, a grande maioria das indústrias são de pequeno e médio porte, com no máximo algumas centenas de máquinas. Além disso, estas indústrias apenas há poucos anos iniciaram o processo de automação da produção através de equipamentos computadorizados, sendo que poucas delas estão vislumbrando ou ingressando na etapa de integração de todo o sistema de manufatura.

Segundo pesquisa de [AAU 85], no Estado de São Paulo, 56% das empresas industriais são de pequeno porte (20 a 100 empregados), 33% são de médio porte (100 a 500 empregados) e apenas 11% são de grande porte (mais de 500 empregados). Além disso, a pesquisa indica que no mesmo Estado, 84% das empresas industriais consideram que nunca sofreram qualquer processo de automação.

Diversas razões podem ser apontadas para a automação apenas incipiente do parque industrial brasileiro e a automação de equipamentos isolados, sem previsões para uma integração futura. Isto se deve em parte pela falta de previsão dos empresários e em parte pela conjuntura nacional de um país em processo de desenvolvimento, onde grande parte da tecnologia é importada diretamente dos países

desenvolvidos, sem uma adaptação à realidade nacional. No caso da integração do ambiente da manufatura, deve-se procurar um padrão que atenda às necessidades apresentadas pelo estágio atual da indústria nacional. A realidade brasileira necessita de redes simples e baratas, capazes de atender fábricas de pequeno e médio porte sem toda a complexidade do padrão MAP.

O objetivo deste capítulo é descrever a proposta para uma sub-rede capaz de atender aplicações em tempo-real típicas de células de manufatura, bem como a fábricas de pequeno e médio porte, levando em consideração possibilidades de expansão futura e facilidade para interligação com uma linha tronco MAP.

Deste modo, são apresentadas duas arquiteturas, uma considerada ideal, que suporta a implementação da proposta Mini-MAP; e uma implementável com equipamentos de comunicação comercialmente disponíveis no mercado nacional.

Finalmente será descrita a implementação de um protótipo de uma estação de supervisão para células de manufatura utilizando a arquitetura implementável de tal modo que se possa avaliar a viabilidade da utilização de uma sub-rede, baseada na proposta Mini-MAP, porém utilizando equipamentos de comunicação comercialmente disponíveis e com método de acesso não determinístico (CSMA/CD), para aplicações em tempo-real.

## **5.2 Arquitetura Ideal**

### **5.2.1 Requisitos de Comunicação Típicos**

Antes de apresentar a arquitetura proposta é conveniente resumir os requisitos típicos de comunicação que deverão ser suportados pela arquitetura.

Como já foi visto anteriormente, os tempos de resposta nas aplicações existentes no nível de controle direto da produção são tipicamente da ordem de 50 a 100 ms. Além disso, o tamanho das mensagens de aplicação, excluindo os cabeçalhos introduzidos pelas camadas inferiores do Modelo OSI, varia de 16 a 256 octetos. O tamanho da linha varia de 500 metros a 1 quilômetro, sendo que dificilmente existirão mais de 32 estações na mesma sub-rede. Uma configuração típica pode ser vista na figura 5.1.

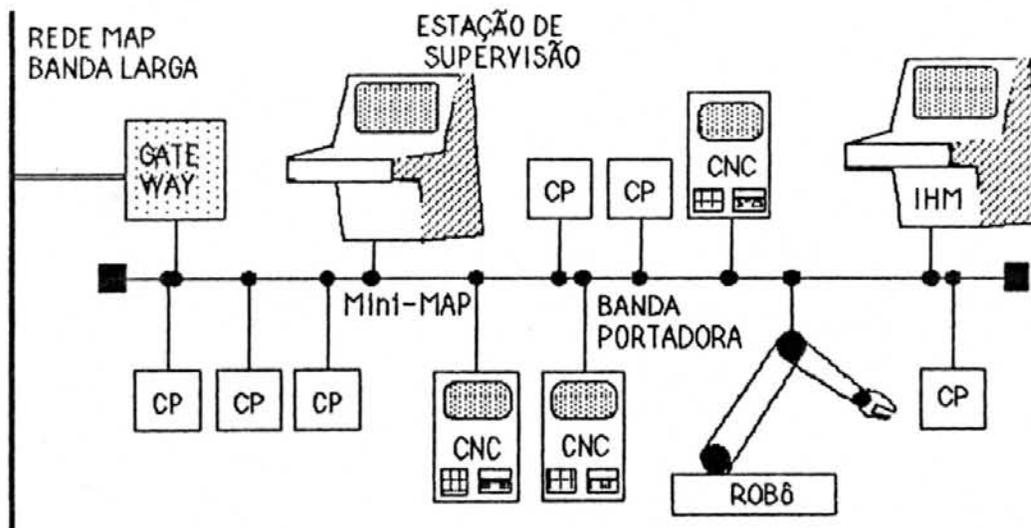


Figura 5.1 Configuração típica de uma sub-rede em uma célula de manufatura.

### 5.2.2 Descrição do Hardware

A partir destes requisitos e das propostas de padronização apresentadas no capítulo anterior, a arquitetura descrita deve ser capaz de suportar a implementação da proposta Mini-MAP, visto ser esta a mais viável atualmente para as sub-redes dos níveis inferiores da

hierarquia de controle.

Arquiteturas semelhantes são propostas por [KLE 86] e pelos principais fabricantes de placas de comunicação para redes MAP, tais como a INI (Industrial Networking Incorporated) com as placas de comunicação MV-400, MM-400, MQ-400 e MP-400 para barramentos Multibus, VME, Q-bus e PC-bus; a Intel com a placa iSXM 554 MAP Board e a Motorola com a placa MVME 372.

Devido à alta taxa de transmissão e aos serviços de comunicação requeridos de um nó, a arquitetura proposta é constituída por duas CPUs com funções específicas, uma tratando das funções de comunicação e outra das funções de controle do processo.

A CPU responsável pelas funções de comunicação forma o Sub-Sistema de Comunicação (SSCOM) e contém um barramento local a fim de não sobrecarregar o barramento do equipamento de controle com dados de comunicação. Deste modo, um microprocessador local pode processar as funções de comunicação referentes às camadas superiores do Modelo tais como: controle lógico do enlace; montagem/desmontagem das PDUs da camada de aplicação; conversão de nomes em endereços, etc, enquanto um dispositivo de controle de acesso ao meio em hardware gerencia o fluxo das mensagens que circulam pelo meio físico. A interface com o barramento da outra CPU (o Sistema de Controle (SC) propriamente dito) pode ser feita através de uma memória do tipo "dupla-porta", ou através de alguma interface padronizada do tipo Multibus, VME, Q-bus, PC-bus, etc.

O microprocessador presente no SSCOM deve ser suficientemente rápido e poderoso a fim de processar os serviços de comunicação necessários, de modo que o tempo dispendido para o processamento de funções de comunicação

seja mínimo no SC. Para isso, deve-se utilizar um processador de 16 bits preferencialmente com funções de acesso direto à memória (DMA) embutidas, tais como o MC68010 da Motorola ou o 80186 da Intel.

O dispositivo para controle de acesso ao meio a ser utilizado deve implementar todas as funções descritas no padrão IEEE 802.4. Este dispositivo já é comercializado por indústrias como a Motorola (MC68824 Token Bus Controller chip - TBC) e a Intel.

A quantidade de memória local requerida depende fundamentalmente do número de camadas que serão implementadas no SSCOM. Assim, quanto mais serviços forem executados pelo processador local, mais capacidade de memória será requerida. Segundo [KLE 86], se todos os serviços forem executados localmente, um total de 0.5 a 1 Mbyte de memória ROM e RAM são facilmente utilizados.

Um esquema geral da arquitetura pode ser visto na figura 5.2.

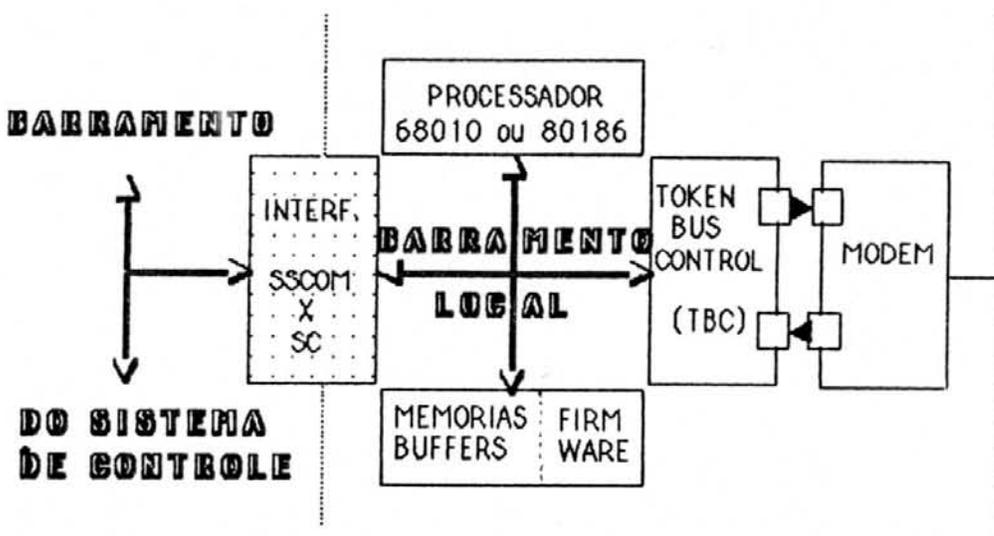


Figura 5.2 Arquitetura para implementação da proposta Mini-MAP.

### 5.2.3 Descrição do Software

O software proposto para ser implementado nesta arquitetura constitui-se nas camadas constantes da proposta Mini-MAP, ou seja, a sub-camada de Elementos de Serviços Específicos do Protocolo de Aplicação (SASE), segundo o padrão MMS, e a sub-camada de Controle Lógico do Enlace (LLC), segundo o padrão IEEE 802.2 Tipo 3. Propostas semelhantes são descritas por [SWE 86] e [GRA 86]. Além disso, deve ser implementado um módulo para interface com o equipamento de controle e outro módulo para interface entre as sub-camadas SASE e LLC substituindo as camadas ausentes, de tal modo que solicitação de serviços à sub-camada de Elementos de Serviços de Controle da Associação (ACSE) e à camada de Apresentação sejam transformados em solicitações de serviços diretamente à sub-camada LLC. Um diagrama esquemático dos módulos de software componentes pode ser visto na figura 5.3.

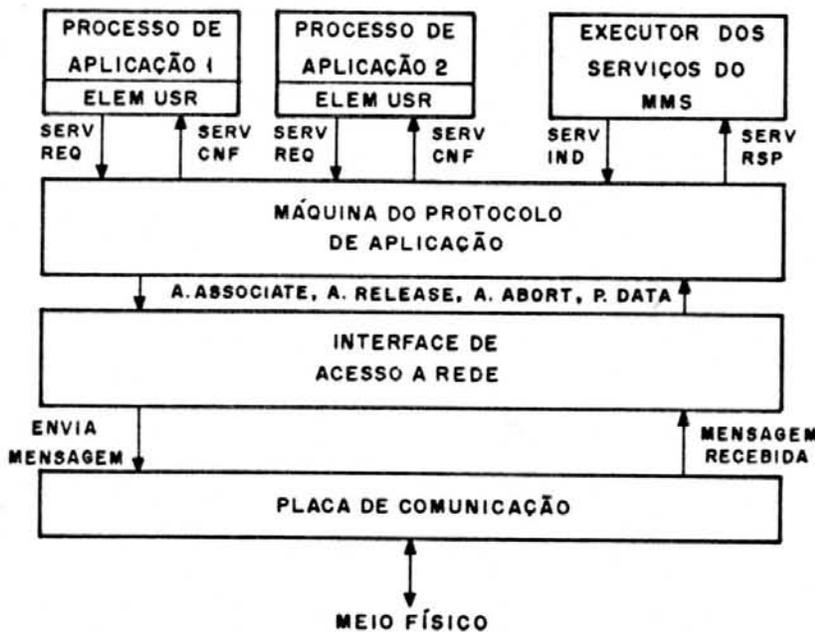


Figura 5.3 Módulos de software principais da arquitetura ideal.

Existem vários aspectos interessantes para análise e que merecem estudos posteriores visando uma otimização na performance global do sistema. Alguns destes estudos são realizados ao longo desta dissertação.

Deve-se, por exemplo, analisar quais serviços do MMS devem ser implementados para cada tipo de equipamento, já que existem serviços voltados para utilização em CNs e robôs, como por exemplo o serviço de "calibrate", bem como serviços voltados para utilização em CPs, estações de supervisão, etc. Apesar disto, segundo [HAG 86], os serviços do MMS procuram suprir apenas os aspectos gerais da comunicação no ambiente industrial, sendo que, padrões específicos para cada tipo de equipamento estão sendo elaborados por organizações de padronização especializadas (RIA R15.04 para robôs; EIA 1393 para máquinas-ferramentas; NEMA IS4.SC21.TF1 RS511-PC para controladores programáveis e ISA SP72.02 para controle de processos).

Na presente dissertação, procurou-se avaliar quais os serviços de maior significância para os dispositivos programáveis geralmente utilizados nas células de manufatura, de modo a formar um conjunto padrão de serviços a serem implementados nos equipamentos que suportam a arquitetura do tipo Mini-MAP proposta. Os serviços selecionados, dentre os relacionados na seção 4.2.4, foram os seguintes:

- initiate, conclude, abort;
- reject, identify;
- read, write, informationReport;
- initiateUploadSequence, transmitUploadSegment, terminateUploadSequence;
- initiateDownloadSequence, transmitDownloadSegment, terminateDownloadSequence;
- start, stop;

- status, runSelfDiagnostics;
- defineEventConditionName,

deleteEventConditionName;

- programEventAction, cancelEventAction;

Estes serviços serão descritos detalhadamente na seção 5.4.4.

Os serviços de initiate, conclude, abort, reject e identify, além de permitir o estabelecimento e liberação de uma associação de aplicação, devem ser implementados de forma obrigatória por qualquer equipamento que deseje estar em conformidade com o padrão MMS, visto ser esta uma exigência do próprio padrão [EIA 86].

Os serviços restantes são voltados para as atividades básicas de operação, como carga e leitura de programas, bem como para as atividades de intertravamento dos equipamentos de controle, de modo que a atividade de sincronização entre os processos dentro da célula, considerada o objetivo primordial para interligação dos equipamentos, seja mais facilmente implementável, independentemente do tipo ou fabricante dos equipamentos.

Outro aspecto que merece análise mais aprofundada refere-se à interface entre o SSCOM e o SC propriamente dito, bem como quanto a proporção em que os serviços do MMS devem ser executados pelo SC e ou executados localmente pelo próprio SSCOM.

Para ilustrar esta análise, suponha-se como exemplo, o serviço de "read" de variáveis do processo em um equipamento de controle, duas alternativas para implementação deste serviço podem ser descritas. Na primeira, o SSCOM solicitaria a execução deste serviço ao SC que deveria interromper a tarefa de controle que por acaso estivesse executando, adquiria os valores das variáveis

solicitadas e os passaria ao SSCOM através da interface definida. A segunda alternativa seria o próprio SSCOM possuir uma "imagem" das variáveis do processo. Deste modo, o SC não ficaria sabendo que um serviço de "read" foi solicitado e não teria a atividade de controle interrompida para atender a um serviço de comunicação.

A primeira alternativa oferece como vantagem uma interface mais padronizada entre o SSCOM e o SC, permitindo que o SSCOM seja projetado de maneira independente dos SCs. Uma vez definida uma interface padronizada, o SSCOM poderia ser utilizado com qualquer SC que utilizasse a mesma interface. No entanto, o SC teria parte do seu tempo de processamento utilizado para funções relacionadas com os serviços de comunicação, como por exemplo, detecção de transições para condições de evento, conversão de nomes de variáveis em endereços físicos de memória, etc.

Estes problemas não aparecem na segunda alternativa, pois a grande maioria dos serviços de comunicação seriam executados pelo próprio SSCOM, de modo que, praticamente todo o tempo de processamento do SC seria dedicado à tarefa de controle. A desvantagem desta alternativa está em que o projeto do SSCOM não é mais independente do SC, estando intimamente relacionados pois o SSCOM deve, por exemplo, poder adquirir de forma autônoma a imagem das variáveis do processo. Nesta segunda alternativa, o SSCOM provavelmente deveria ser projetado e fabricado pelo próprio fabricante do equipamento de controle.

Estas duas alternativas podem ser visualizadas na figura 5.4.

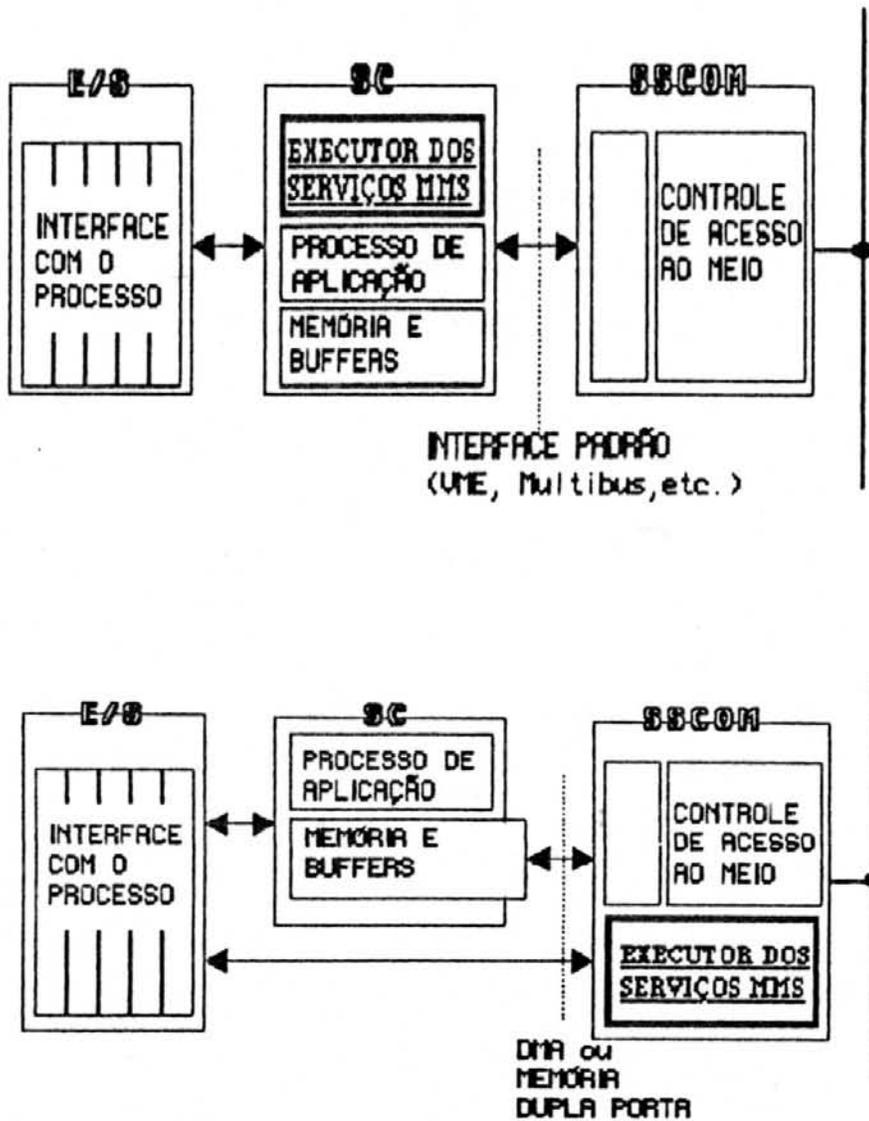


Figura 5.4 Implementação disjunta e integrada do SSCOM.

### 5.3 Arquitetura Implementável

Para que se conseguisse aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo da dissertação e validar as hipóteses levantadas quanto à aplicabilidade da arquitetura de sub-rede proposta, era necessária a implementação de um protótipo onde estivessem presentes as principais características levantadas para a arquitetura, tais como: ligação direta da sub-camada SASE com a camada LLC; inexistência das camadas 6, 5, 4 e 3 do Modelo OSI;

utilização do sub-conjunto proposto dos serviços do MMS; etc.

### 5.3.1 Ambiente de Implementação

Ao verificar-se a disponibilidade de algum hardware de comunicação apropriado à implementação da arquitetura proposta, ou seja, uma placa de comunicação comercialmente disponível no mercado nacional que implementasse o padrão IEEE 802.4 - token passing bus", constatou-se, na época da elaboração da proposta da dissertação, a inexistência de tal equipamento. Optou-se então pela utilização de placas de comunicação para automação de escritórios amplamente disponíveis no mercado nacional. Particularmente, optou-se pelos equipamentos CETUS já disponíveis na Universidade.

Estes equipamentos consistem de nós CS-1000PC conectados a computadores IBM-PC compatíveis. Como características fundamentais destas placas podemos citar:

- método de acesso: CSMA/CD;
- velocidade: 1 ou 2 Mbps;
- distância máxima por segmento utilizando cabo coaxial: 1.5 quilômetro;
- número máximo de estações por segmento: 255;
- o "firmware" residente na placa oferece serviços para envio e recepção de pacotes sem necessidade de estabelecimento prévio de conexão. Além disso, é possível especificar-se, no envio de pacotes, a exigência ou não de respostas de reconhecimento (ACK), bem como o número máximo de tentativas de retransmissão em casos de "time-out" e não reconhecimento de mensagens (NACK).

Estas características introduzem uma série de limitações à arquitetura ideal e que devem ser consideradas na avaliação da viabilidade desta alternativa de

implementação. Além disso, o fato de constituir-se em um produto "fechado", faz com que os demais módulos de comunicação, como por exemplo a camada de aplicação, sejam implementadas no SC, responsável pelo processamento do software de controle, ao invés de serem implementadas no SSCOM.

O computador utilizado na implementação do protótipo é um IBM-PC compatível, com 640 Kbytes de memória e "clock" de 8 MHz. Para avaliação do desempenho do protótipo, implementou-se em um dos computadores da rede um processo de aplicação que simule as funções de uma estação de supervisão de uma célula de manufatura, enquanto que nos outros computadores da rede foram implementados processos de aplicação que simulem algoritmos de controle semelhantes aos executados por equipamentos do tipo controladores programáveis.

A escolha deste ambiente para implementação foi dirigida de modo a não se inviabilizar aplicações comerciais futuras, já que a placa de comunicação pode ser utilizada por equipamentos de controle cuja CPU seja compatível com o IBM-PC, ou que utilizem o barramento PC, ou ainda, que possuam um conversor do seu barramento específico para o barramento PC.

Quanto ao ambiente de software para desenvolvimento da implementação, primeiramente optou-se pela utilização de um sistema operacional multi-tarefa, de modo que os módulos e camadas implementadas, bem como o processo de aplicação, se constituíssem em processos autônomos executando em "time-sharing" e que se comunicassem com outros processos através de algum esquema de sincronização disponível.

Os sistemas operacionais multi-tarefa disponíveis

na época da implementação eram o AMX da Kadak e o QNX da Quantum. O primeiro foi descartado devido à complexidade da implementação de um esquema de "time-sharing" entre os processos, pois o sistema não permite que dois ou mais processos possuam a mesma prioridade. Procurou-se então utilizar o sistema operacional QNX. No entanto, não se dispunha de documentação completa e suficiente sobre este software. Como consequência, as experiências realizadas não produziram os resultados esperados no momento de implementação dos "drivers" de acesso à placa de comunicação, já que não havia informação de como o QNX manipulava as interrupções que também eram acessadas pelos "drivers".

Devido a estes fatores, optou-se então pela utilização do sistema operacional mono-usuário MS-DOS já bastante conhecido e com farta documentação, e pela elaboração de um pequeno escalonador entre as tarefas de controle e de comunicação. Deste modo, obteve-se inclusive maior controle sobre o Sistema para medições de tempos de execução dos diversos módulos componentes.

Este escalonador consiste basicamente de uma rotina instalada na interrupção de tempo do IBM-PC e que verifica se existem requisições pendentes nos "buffers" de comunicação entre os módulos. Em caso afirmativo, o módulo correspondente é executado. Esta rotina é executada aproximadamente 18 vezes por segundo.

### 5.3.2 Descrição do Funcionamento do Sistema

O Sistema é composto basicamente por quatro módulos que interagem entre si através da solicitação de serviços, visando a transferência de mensagens de aplicação do MMS através da sub-rede, bem como a execução dos serviços

definidos pela norma MMS.

Os principais módulos que compõem o Sistema são:

- Módulo do Processo de Aplicação (PA);
- Módulo Executor (ME) dos serviços MMS; e
- Módulo MMS correspondente à sub-camada SASE da camada de Aplicação. Este módulo é composto por três sub-módulos:

- Sub-módulo de Montagem (SMM) de Unidades de Dados do Protocolo de Aplicação (APDUs);

- Sub-módulo de Desmontagem (SMD) de APDUs;

- Máquina do Protocolo de Mensagens (MMPM - "Manufacturing Message Protocol Machine");

- Módulo de Interface (MI) entre o Módulo MMS (sub-camada SASE) e a placa de comunicação;

A passagem de parâmetros entre os módulos se dá através de "buffers", onde o módulo que fará a chamada coloca os argumentos necessários à execução da função requerida. O módulo acionado retira estes parâmetros durante a execução do seu processamento, montando um novo "buffer" com os parâmetros para o módulo seguinte.

A seguir é feita uma descrição global de funcionamento do Sistema que permite uma visualização geral da função de cada módulo, bem como a sua interação. Um esquema geral do Sistema pode ser visto na figura 5.5. e o fluxo das mensagens envolvidas pode ser visto na figura 5.6.

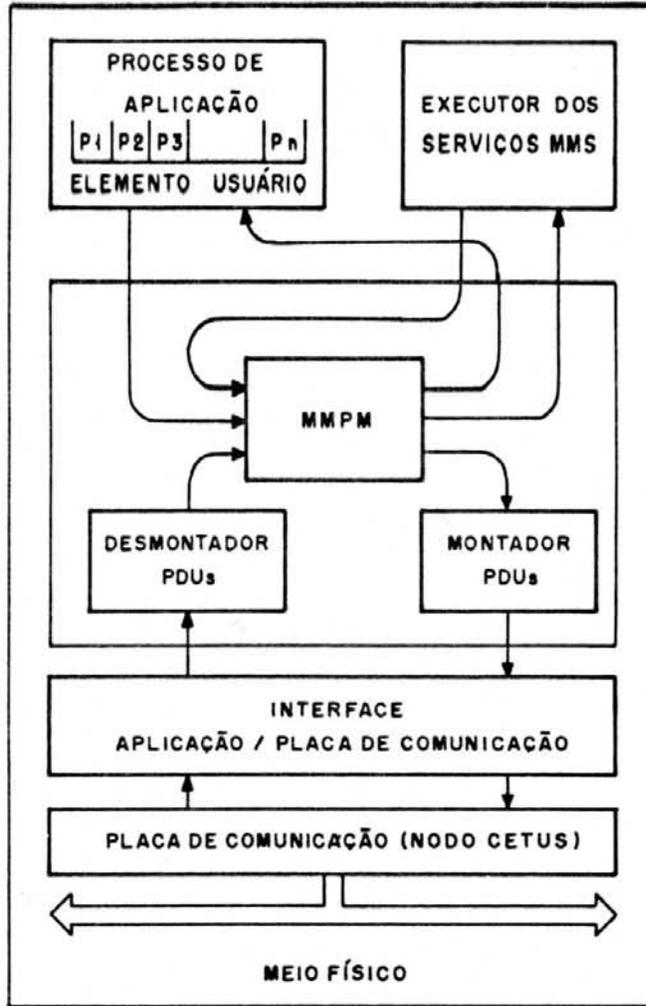


Figura 5.5 Módulos de software principais do protótipo implementável.

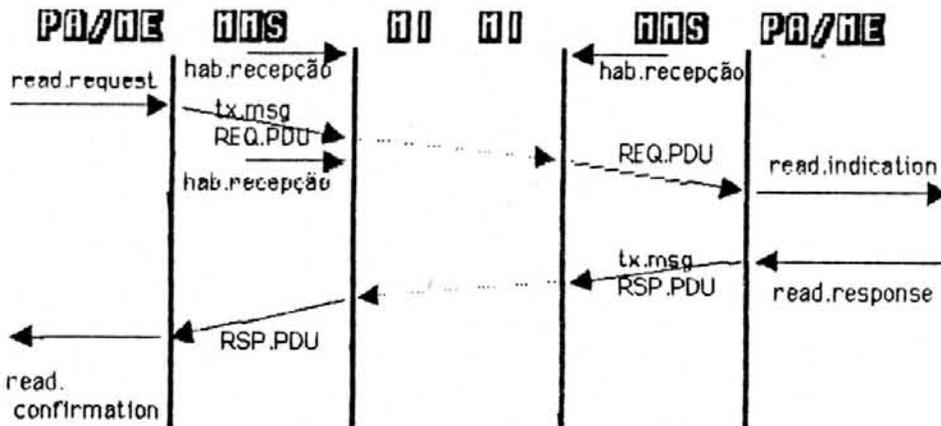


Figura 5.6 Fluxo das mensagens no sistema implementado.

Suponhamos, por exemplo, um Processo de Aplicação sendo executado na estação de supervisão da célula de manufatura. Uma das variáveis necessárias ao PA é um valor de pressão que está sendo controlado por algum CP da célula. Para adquirir o valor desta variável, o PA requisita o serviço de "read" ao CP da rede através de uma Entidade de Aplicação.

A Entidade de Aplicação transfere esta requisição ao módulo MMS. No MMS, ela é recebida pelo MPPM que identifica o serviço como sendo um "read.request", verifica as condições de associação à estação de destino através da consulta a uma Tabela de Registro de Processos (TRP) e gera as informações necessárias para que o SMM monte uma APDU de requisição daquele serviço segundo a sintaxe definida pelo padrão ASN.1 [ISO 85a] e [ISO 85b]. Após a montagem da APDU, esta é transferida para o MI, responsável pela interface com os serviços oferecidos pela placa de comunicação. Deste modo, as mensagens que chegam à placa de comunicação são transferidas pela rede até a estação destino.

Na estação de destino a mensagem recebida pela placa de comunicação é passada ao MI que a transfere ao SMD onde a mensagem será desmontada a fim de que seja identificado o serviço solicitado e os parâmetros necessários para sua execução. Estas informações são então transferidas ao MPPM que atualiza uma estrutura denominada Tabela de Registro de Canais (TRC), que mantém as informações dinâmicas das associações tais como, serviços pendentes, identificador da requisição, etc.

O serviço de "read" é então solicitado, como um "read.indication", ao ME que adquire o valor da variável solicitada enviando novamente ao MPPM o resultado do serviço executado na forma de um "read.response".

Ao receber a indicação de resposta do serviço executado, o MPPM atualiza a TRC indicando que a transação foi completada pelo lado da estação destino e solicita ao SMM a geração da APDU e seu envio à estação emissora.

A estação de supervisão recebe então a resposta ao serviço que é desmontada, passada ao MPPM para que a TRC da estação emissora seja atualizada e finalmente então, a confirmação do serviço com o valor da variável é entregue ao PA através de um "read.confirmation", encerrando ciclo de execução deste serviço na rede.

### 5.3.3 Estruturas de Dados Principais

Existem no Sistema duas estruturas de dados básicas que são utilizadas para suportar o gerenciamento da interconexão entre os PAs e MEs das estações remotas.

A primeira estrutura é chamada de Tabela de Registro de Processos (TRP) e mantém as informações estáticas de cada associação de aplicação estabelecida entre uma estação local e estações remotas da rede. Estas informações estáticas referem-se às características do contexto da associação, estabelecidas pelo serviço "initiate", tais como: a versão MMS suportada; privilégios; tamanho máximo das mensagens; número máximo de condições de evento monitoráveis; número máximo de serviços pendentes; e número máximo de ações de evento programadas; Além disso, nesta tabela são mantidas: informações sobre o endereço físico de rede da estação destino; o tempo de resposta máximo suportado pela aplicação e um apontador que permite acessar a estrutura onde são mantidas as informações dinâmicas sobre os serviços pendentes daquela associação de aplicação.

Cada entrada na TRP é identificada de forma única

pela combinação do identificador do PA da estação que iniciou a associação e do identificador do ME da estação respondedora.

A segunda estrutura mantém as informações dinâmicas de cada associação de aplicação e é chamada de Tabela de Registro de Canais (TRC). Existe uma TRC para cada associação registrada na TRP.

Na TRC são mantidas as informações sobre os serviços pendentes de cada associação, tais como: o identificador da transação ("Invoke ID"); o código do serviço que está pendente; o local onde o serviço está sendo executado (na estação local ou na estação remota); o estado atual na máquina do protocolo do MMS; e o tempo decorrido desde o início do serviço.

Cada entrada na TRC é identificada de forma única pelo identificador da transação. Este identificador é um valor inteiro que, juntamente com o identificador do PA da estação que iniciou a associação, permite identificar de forma inequívoca uma transação de serviço MMS entre duas estações remotas. O mesmo valor do identificador da transação é utilizado nas PDUs de "request", "response" ou "error" durante a troca de mensagens para execução de um serviço. Desta forma, em qualquer instante de tempo, existirá em uma dada estação apenas um serviço pendente com aquela combinação de identificador de transação e identificador do PA da estação iniciadora da associação.

Estas duas estruturas são descritas através de diagramas de Jackson [JAC 76] nas figuras 5.7 e 5.8.

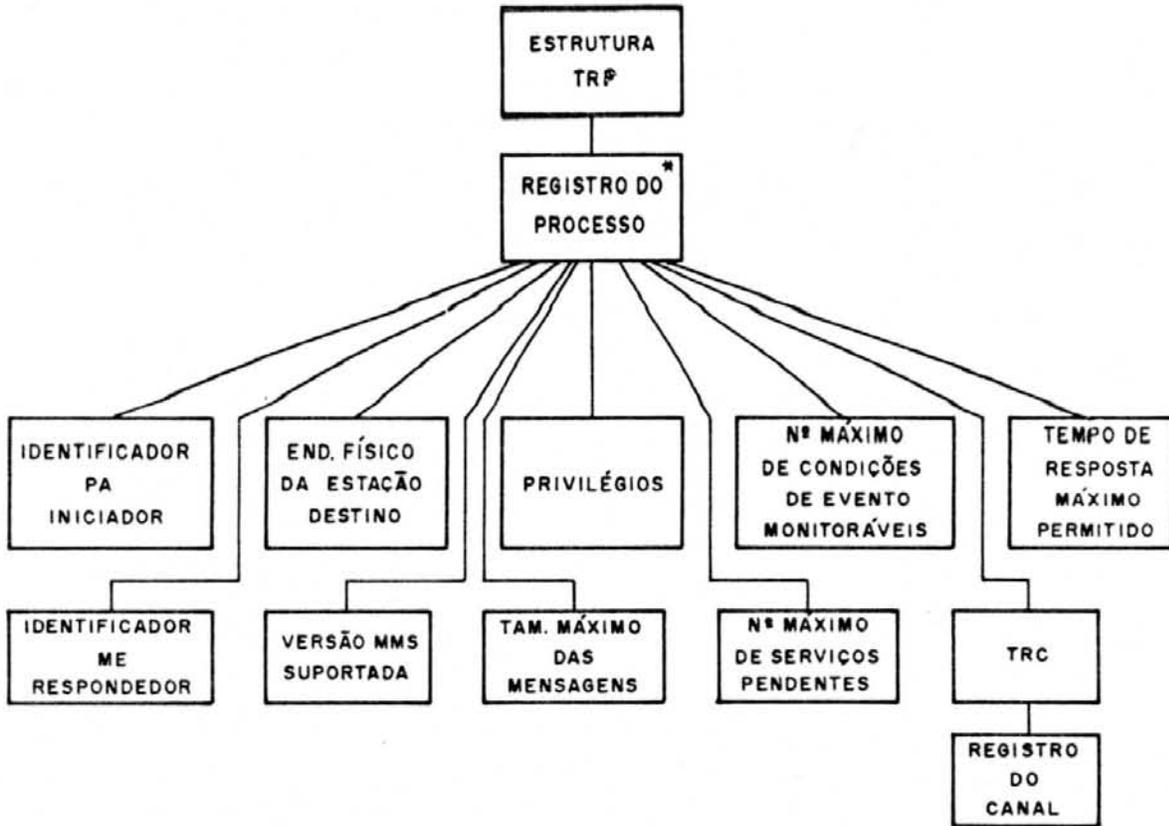


Figura 5.7 Descrição da estrutura  
Tabela de Registro de Processos (TRP).



Figura 5.8 Descrição da estrutura  
Tabela de Registro de Canais (TRC).

#### 5.3.4 Alternativas de Implementação

Na implementação de serviços de comunicação, duas alternativas podem ser adotadas sobre a forma de sincronização entre a solicitação de um serviço por um PA e como o resultado da execução deste serviço se torna disponível ao PA.

A forma mais simples de implementação pode ser chamada de "síncrona" e consiste na espera do PA pela resposta do serviço solicitado, ou seja, ao solicitar um serviço de comunicação, o PA fica em um laço aguardando a chegada da resposta do serviço.

A segunda forma, mais complexa, pode ser chamada de "assíncrona", sendo que nela, após solicitar um serviço de comunicação, o PA continua a processar normalmente o programa do usuário. Ao chegar a resposta ao serviço solicitado isto é indicado ao PA, seja através de uma interrupção, seja acionando-se uma variável que será consultada em momento oportuno pelo PA.

A escolha da alternativa deve levar em conta o tipo de aplicação que está sendo processado pelo PA. No caso, por exemplo, de uma estação de supervisão de uma célula de manufatura, normalmente o tipo de processamento admite que o PA fique em um laço esperando a resposta a um serviço solicitado, visto que o processamento geralmente se resume a fornecer ao operador humano quadros sinóticos e informações sobre o estado e variáveis do processo. Assim, pode-se implementar a primeira alternativa. No caso de estações de coordenação ou equipamentos de controle, devido à característica de processamento de tempo-real, estes dispositivos não podem parar o processamento do seu algoritmo de controle esperando pela resposta a um serviço solicitado. Nestes casos deve-se adotar a alternativa

assíncrona, sendo que a recepção do resultado solicitado normalmente é atendida por uma interrupção e colocada à disposição do PA em pontos específicos do processamento, geralmente no início de um ciclo de execução do algoritmo de controle.

Estas duas formas de sincronização podem ser visualizadas na figura 5.9.

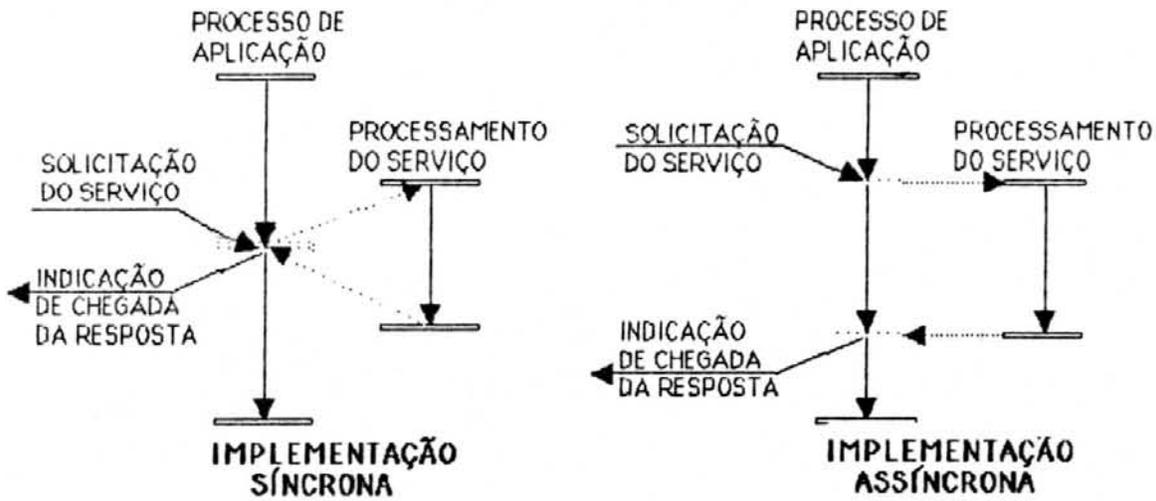


Figura 5.9 Implementação síncrona e assíncrona.

No protótipo implementado adotou-se a primeira alternativa, ou seja, um atendimento síncrono, já que este tipo de implementação facilita a medição de tempos de resposta e do "overhead" resultante do processamento dos módulos de comunicação do Sistema permitindo sua otimização. Além disso, a ativação do módulo ME é realizada em um ponto fixo durante o processamento do PA, isto simplifica em grande parte a implementação do protótipo, tendo em vista a utilização de um sistema operacional mono-usuário.

## 5.4 Descrição dos Módulos do Sistema

### 5.4.1 A Linguagem SDL

Para que o processamento de um sistema possa ser descrito de forma clara e precisa, é necessária a utilização de uma ferramenta de descrição formal.

Uma linguagem para especificação e descrição formal apresenta as seguintes vantagens:

- possibilita uma maior facilidade de entendimento e interpretação dos processos;
- reduz a ambiguidade na especificação do processo;
- facilita a comparação entre os diferentes processos;
- permite descrever precisamente as características funcionais oferecidas pelos processos.

O CCITT, aprovou na assembléia de 1980 em Genebra, recomendações denominadas "Proposed Revised and Expanded Recommendations for the CCITT Specification and Description Language (SDL)". Estas recomendações apresentam uma linguagem para especificação de descrição de processos e particularmente de protocolos chamada SDL [DIC 83].

A SDL utiliza um método gráfico baseado no conceito de máquina de estados finitos. A série Z define conceitos associados a símbolos gráficos que representam: estados, transições, entradas, salvamento, saídas, decisões e tarefas.

A formalidade e simplicidade da SDL tem permitido o seu uso em várias fases do projeto. Além disso, estima-se que mais de 10000 engenheiros de telecomunicações em todo mundo, possuem algum tipo de conhecimento da linguagem e pelo menos a metade deles a estão utilizando, possivelmente

com algumas adaptações a fim de ajustá-la ao seu ambiente [SAR 87].

Nesta dissertação, a descrição dos módulos do Sistema implementado é feita de maneira discursiva, sendo que em alguns procedimentos principais utilizou-se a SDL para facilitar a visualização e o entendimento sobre o funcionamento de cada módulo.

A definição dos conceitos da SDL é apresentada a seguir, e os símbolos gráficos associados podem ser vistos na figura 5.10.

- SINAL - é um fluxo de dados que transporta as informações para o processo. Um sinal pode ser dado por hardware ou por software;

- ENTRADA - é um sinal que será reconhecido por um processo;

- ESTADO - é uma condição na qual a ação de um processo é suspensa à espera de uma entrada;

- SALVAMENTO - é a transferência de um sinal, quando um processo está no estado de reconhecimento, e este não ocorre;

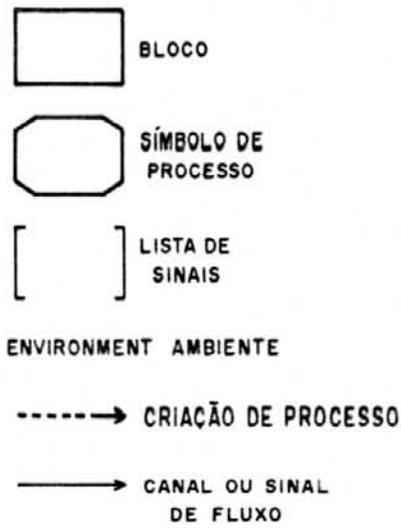
- TRANSIÇÃO - é uma seqüência de ações acarretando uma troca de estado do processo em resposta a uma entrada;

- SAÍDA - é uma ação com transição gerada por um sinal que aciona uma ação qualquer com relação a uma entrada;

- DECISÃO - é uma ação de transição que inclui uma pergunta;

- TAREFA - é qualquer ação com transição que não envolva decisão e saída;

- PROCESSO - é um objeto que está no estado de espera, entrada ou transição.



Símbolos de Diagrama de Interação.



Símbolos de Diagramas de Processos.

Figura 5.10 Símbolos gráficos básicos utilizados na SDL.

#### 5.4.2 Módulo de Interface (MI)

O MI é responsável pela conversão dos serviços solicitados pelo Módulo MMS às camadas ACSE e de Apresentação do Modelo de Referência OSI em serviços oferecidos pela placa de comunicação, substituindo as camadas ausentes. Por sua vez, os serviços oferecidos pela placa de comunicação são acessados via um "driver", fornecido pela CETUS, que fica residente em memória e que é chamado através da INT 6DH do IBM-PC.

As funções oferecidas pela placa de comunicação são as seguintes:

- "status" de nós;
- ressetar "status" de nós;
- enviar pacotes;
- cancelar envio de pacote;
- cancelar incondicionalmente envio de pacote;
- habilitar recepção de pacote;
- desabilitar recepção de pacote; e
- endereço físico da placa.

Algumas destas funções requerem como parâmetro a utilização de uma estrutura de dados chamada Bloco de Controle de Rede (BCR), acessada tanto pelo "driver" como pelo "firmware" da placa de comunicação. A mensagem a ser enviada ou recebida deve ser associada a um BCR.

A entrada no MI pode se dar através de quatro pontos: (1) pela recepção de um pacote contendo uma mensagem destinada à estação; (2) pela indicação do resultado do envio de um pacote; (3) pela requisição de envio de uma mensagem pelo SMM do Módulo MMS; ou ainda (4) pelo pedido de habilitação para recepção de mensagem, como pode ser visto na figura 5.11.

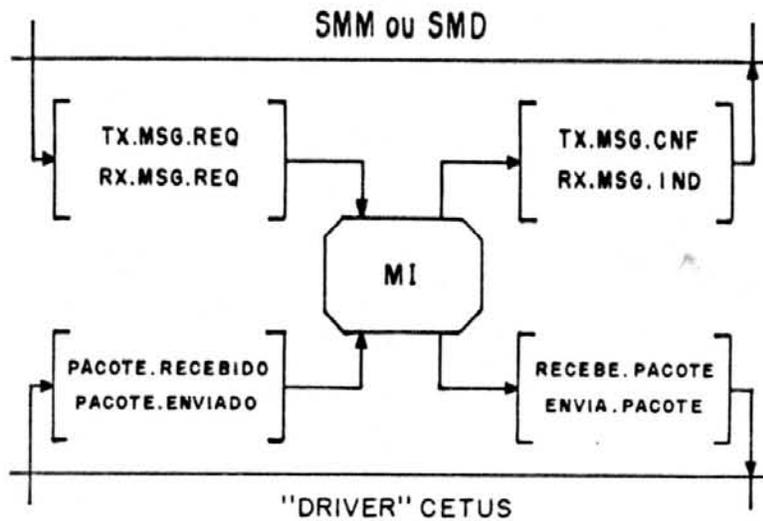


Figura 5.11 Pontos de entrada e saída do módulo MI.

Ao receber uma solicitação de transmissão de mensagem do SMM, o MI aloca um BCR e prepara os dados a serem transmitidos para o formato especificado pelo "driver". Logo após, a função de "envio de pacote" da placa de comunicação é chamada. Tão logo o comando é executado pela placa, isto é informado ao MMS, caso o serviço MMS transmitido seja do tipo confirmado, e se o pacote foi entregue, o mesmo BCR é alocado para a recepção da resposta do serviço solicitado à estação destino, invocando-se a função de "habilitação de recepção" da placa. Caso a placa de comunicação não tenha conseguido entregar a mensagem mesmo após as tentativas de retransmissão, seja por problema de "time-out" ou de "nack", uma indicação de "aborto" da mensagem é passada ao Módulo MMS.

Ao receber um pacote do nó, o MI retira do BCR a mensagem e o endereço da estação originadora, passando estas informações ao SMD do Módulo MMS. Na inicialização do Sistema, um BCR é alocado e o comando de "habilitar recepção

de pacote" é ativado. Deste modo, existe sempre um BCR disponível para receber: uma solicitação de serviço MMS a ser executado pela estação; ou a resposta à solicitação de um serviço.

A descrição em SDL deste módulo pode ser vista na figura 5.12.

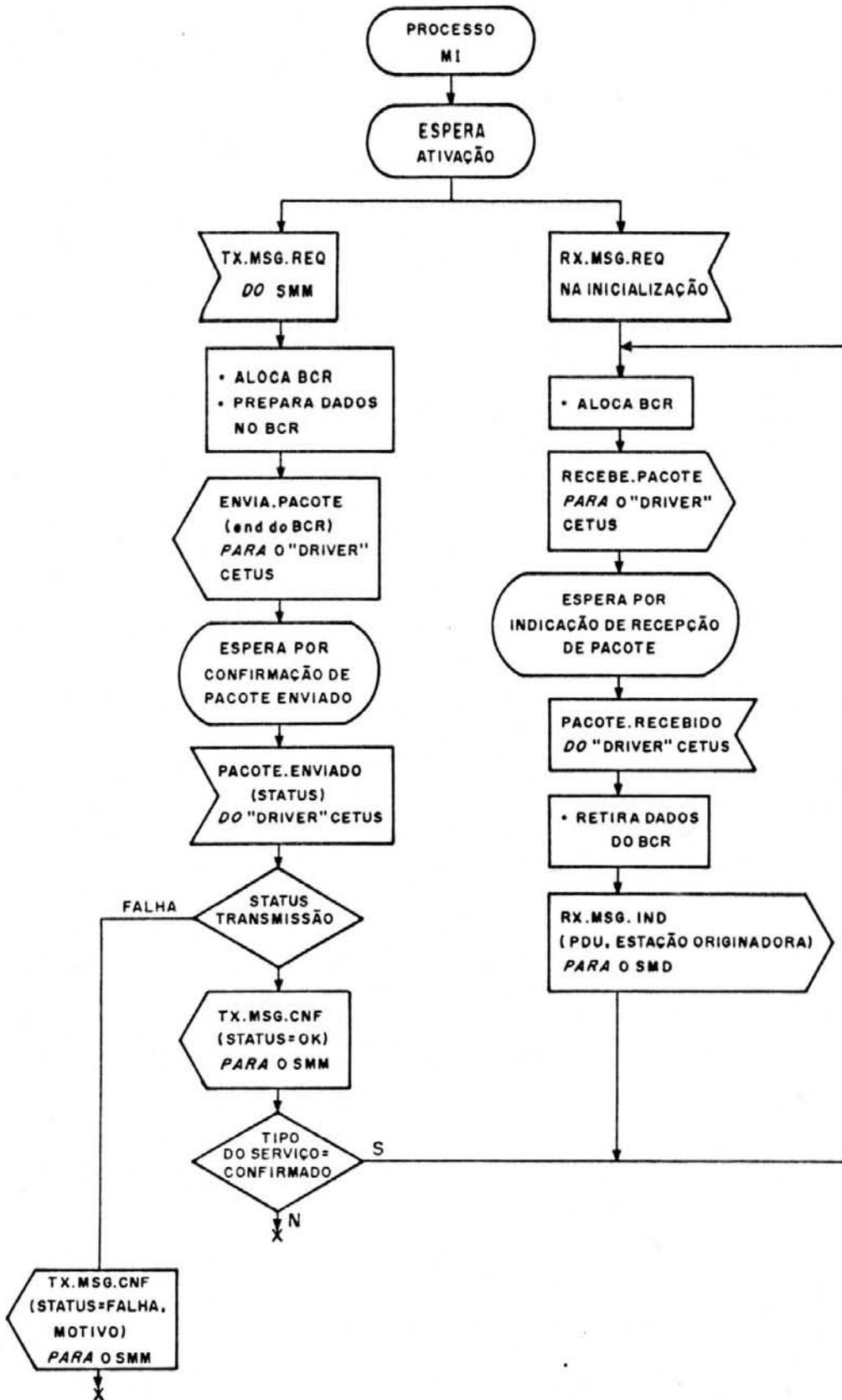


Figura 5.12 Descrição SDL do Módulo MI.

### 5.4.3 Módulo MMS

O Módulo MMS corresponde a um SASE da camada de Aplicação do Modelo OSI permitindo que um PA possa acessar os recursos disponíveis através da rede. Neste módulo estão os processos responsáveis pelo gerenciamento das associações entre as aplicações e o controle do fluxo de dados entre estações remotas, além da execução das funções necessárias ao processamento do serviço pelo ME.

O funcionamento do MMS é descrito em [EIA 86]. Lá são descritos os procedimentos do protocolo relacionados ao envio e recepção de PDUs MMS e sua relação aos eventos das primitivas de serviço nas interfaces com as camadas superiores (módulos PA e ME) e inferiores (módulo MI) da arquitetura.

O Módulo MMS é composto basicamente por três sub-módulos: o sub-módulo que executa a Máquina de Protocolo (MMPM), o Montador de APDUs (SMM) e o Desmontador de APDUs (SMD).

#### 5.4.3.1 Máquina de Protocolo (MMPM)

O MMPM é o sub-módulo que gerencia o acesso ao ambiente MMS. É responsável pelo controle do fluxo do processamento no MMS através da evolução da máquina de estados que define o comportamento do protocolo realizando a interface do PA e do ME com os níveis inferiores da arquitetura.

O MMPM é composto basicamente por uma máquina de estados que define o comportamento do protocolo MMS, por um identificador de serviços que realiza a consistência quanto à validade dos serviços solicitados pelos módulos PA e ME, e a existência da associação de aplicação; e por um gerenciador que controla todas as associações estabelecidas,

serviços pendentes, status do nó, e executa as mudanças de estado dentro do ambiente MMS.

A entrada no MPPM pode se dar através de dois pontos: (1) pela solicitação ou resposta de um serviço MMS pelo módulo PA ou ME; ou (2) pela indicação de chegada de uma PDU pelo SMD, como pode ser visto na figura 5.13.

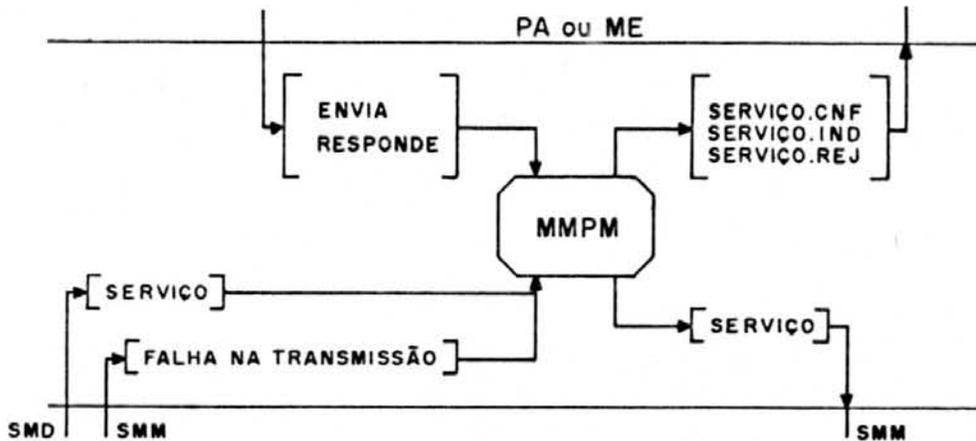


Figura 5.13 Pontos de entrada e saída do Sub-módulo MPPM.

Ao receber uma solicitação de um serviço do PA ou uma resposta de um serviço do ME, o identificador do MPPM faz a consistência da entrada verificando se o serviço existe, se os argumentos estão consistentes e se o MMS está em um estado apto para o envio daquela mensagem (já existe a associação com o PA destinatário). As informações necessárias sobre o serviço e a associação de aplicação (tamanho máximo da mensagem suportada, privilégio requerido, se existe algum serviço pendente) são obtidas consultando a TRP e a TRC. Estas informações são então passadas ao gerenciador. Este executa a mudança de estado dentro da

máquina de estados e atualiza a TRC que contém o registro das transações estabelecidas pelo PA, chamando então o SMM para que este possa construir a respectiva PDU.

Ao receber uma chamada do SMD, o MMPM ativa o gerenciador para que este execute a mudança de estado dentro da máquina de estados do protocolo e atualize a TRC e a TRP se necessário. Uma indicação do serviço é então gerada para o ME ou uma confirmação de serviço é gerada para o PA.

Uma descrição SDL deste módulo pode ser vista na figura 5.14.

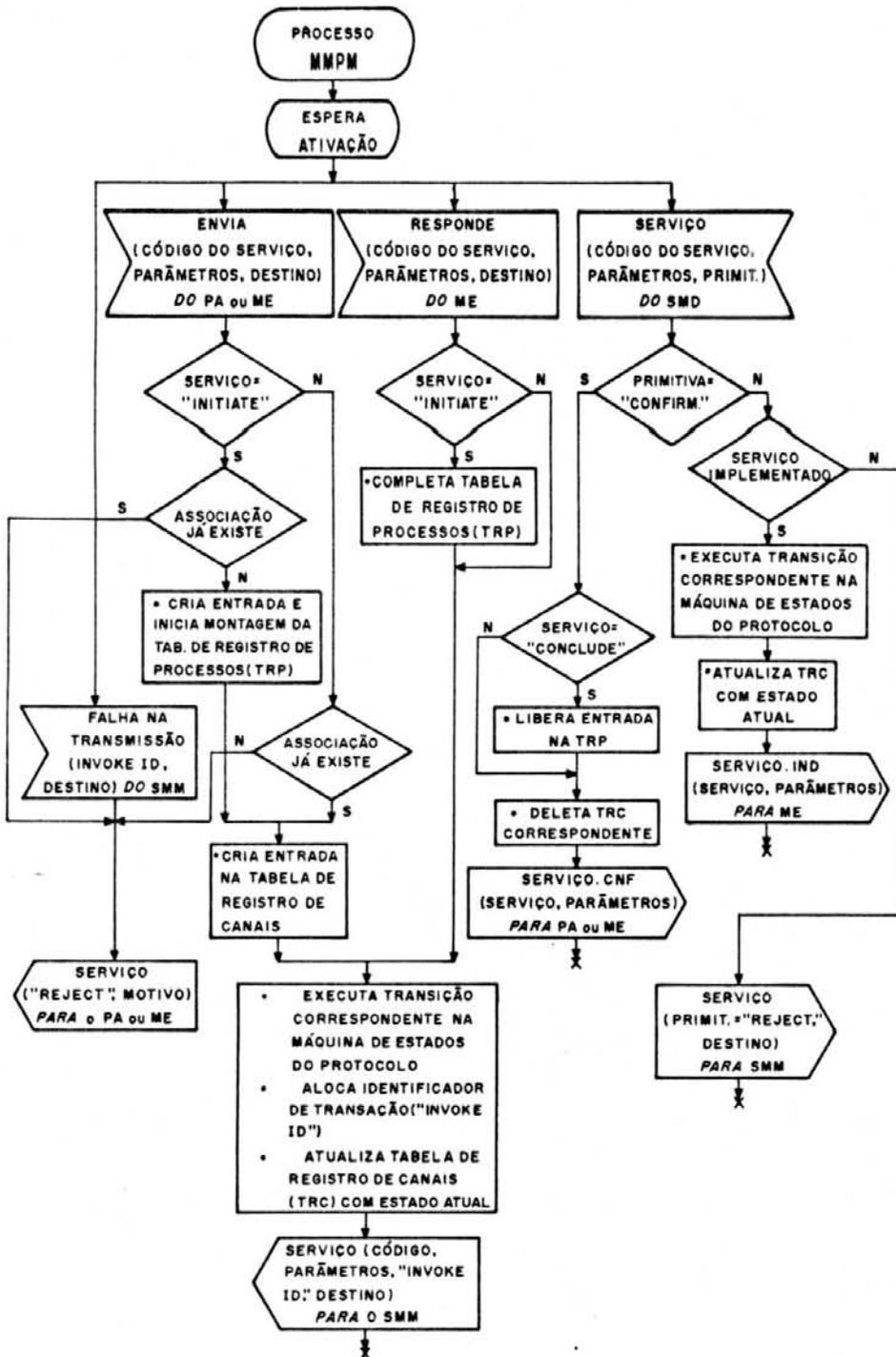


Figura 5.14 Descrição SDL do Sub-módulo MPM.

O comportamento do protocolo MMS é determinado por uma máquina de estados. Esta máquina é descrita em [EIA 86] e apresentada a seguir, podendo ser visualizada na figura 5.15.

ENTRANDO E SAINDO DO AMBIENTE MMS

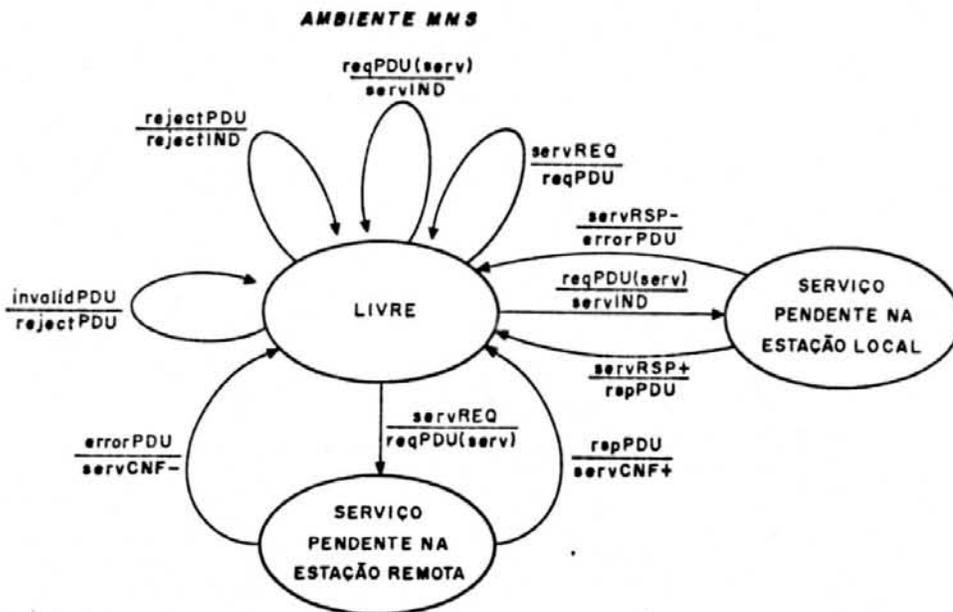
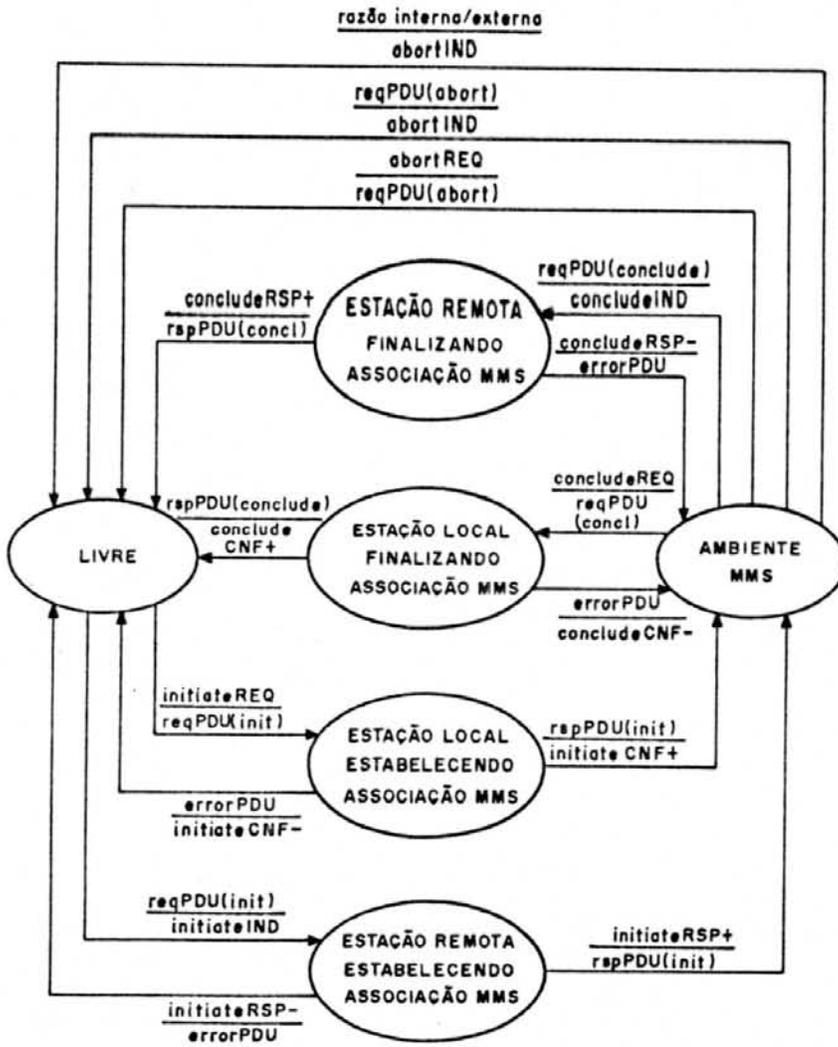


Figura 5.15 Máquina de estados do protocolo MMS.

As figuras utilizadas para ilustrar os procedimentos do protocolo empregam mecanismos descritivos de diagramas de estados. Cada estado é representado por um círculo. O nome do estado é mostrado dentro do círculo. Cada flecha representa uma transição de/para o estado. O sentido da flecha mostra o estado a que se chegou como resultado da transição.

Cada transição é rotulada com a ação de entrada que causou a transição, e as ações de saída que são tomadas devido a transição. As entradas são mostradas sobre as saídas, estando separadas destas por uma linha horizontal contínua.

Para que duas estações possam trocar mensagens dentro do contexto MMS, elas devem primeiramente conhecer suas limitações e características, bem como reservar recursos para a troca de mensagens. Isto é feito através do estabelecimento de uma associação. Esta troca de informações sobre as características e limitações de cada estação é conseguida utilizando-se o serviço "initiate" do MMS. A entrada no "Ambiente MMS" pode se dar através de dois pontos: (1) pela recepção de uma requisição do serviço "initiate" do PA; ou (2) pela recepção de uma PDU de "request" de uma estação remota especificando o serviço "initiate".

Quando da recepção de uma requisição de serviço "initiate" pelo PA, o MMS envia à estação remota uma PDU de "request" especificando o serviço e transiciona para o estado "Estação Local Estabelecendo Associação MMS". Se uma PDU de "error", especificando o serviço, for recebida como resposta, uma indicação do serviço contendo o parâmetro "Resultado(-)" é enviada ao PA voltando o MMS ao estado "Livre". No entanto, caso uma PDU de "response", especificando o serviço, seja recebida como resposta, uma

indicação contendo o parâmetro "Resultado(+)" é enviada ao PA e o MMS transiciona para o estado "Ambiente MMS".

Quando da recepção de uma PDU de "request" especificando o serviço de "initiate", o MMS envia uma indicação do serviço ao ME e transiciona para o estado "Estação Remota Estabelecendo Associação MMS". Caso seja recebida do ME uma resposta negativa ao serviço (contendo o parâmetro "Resultado(-)"), o MMS envia uma PDU de "error" especificando o serviço e volta ao estado "Livre". No entanto, caso seja recebida do ME uma resposta positiva ao serviço (contendo o parâmetro "Resultado(+)", o MMS envia uma PDU de "response" especificando o serviço e transiciona para o estado "Ambiente MMS".

A saída do "Ambiente MMS", ou seja, a finalização de uma associação de aplicação e a consequente liberação dos recursos reservados para a associação pode se dar de maneira ordenada ou abrupta. Existem duas opções que podem resultar na finalização da associação de maneira ordenada: (1) a recepção de uma requisição do serviço "conclude" do PA; ou (2) pela recepção de uma PDU de "request" de uma estação remota especificando o serviço "conclude".

Quando da recepção de uma requisição de serviço "conclude" pelo PA, o MMS envia à estação remota uma PDU de "request" especificando o serviço e transiciona para o estado "Estação Local Finalizando Associação MMS". Se uma PDU de "error" especificando o serviço for recebida como resposta, uma indicação do serviço contendo o parâmetro "Resultado(-)" é enviada ao PA voltando o MMS ao estado "Ambiente MMS". No entanto, caso uma PDU de "response" especificando o serviço seja recebida como resposta, uma indicação contendo o parâmetro "Resultado(+)" é enviada ao PA e o MMS transiciona para o estado "Livre".

Quando da recepção de uma PDU de "request" especificando o serviço de "conclude", o MMS envia uma indicação do serviço ao ME e transiciona para o estado "Estação Remota Finalizando Associação MMS". Caso seja recebida do ME uma resposta negativa ao serviço, o MMS envia uma PDU de "error" especificando o serviço e volta ao estado "Ambiente MMS". No entanto, caso seja recebida do ME uma resposta positiva ao serviço, o MMS envia uma PDU de "response" especificando o serviço e transiciona para o estado "Livre".

Existem três ações que podem resultar na finalização abrupta da associação: (1) a recepção de uma requisição do serviço "abort" do PA; (2) a recepção de uma PDU de "request" de uma estação remota especificando o serviço "abort"; ou (3) a falha na tentativa de transmitir uma mensagem a uma estação remota.

Quando da recepção de uma requisição do serviço "abort" do PA, o MMS envia uma PDU de "request" especificando o serviço e finaliza a associação transicionando para o estado "Livre".

Quando da recepção de uma PDU de "request" especificando o serviço de "abort", o MMS envia uma indicação do serviço ao ME e desfaz a associação transicionando para o estado "Livre".

Quando a placa de comunicação não consegue enviar uma mensagem a uma estação remota, mesmo após o número indicado de tentativas de retransmissão, isto provocará uma indicação de "aborto" ao MMS que gerará uma indicação do serviço "abort" ao ME, finalizando a associação e transicionando para o estado "Livre".

Uma vez no estado "Ambiente MMS", pode então

iniciar-se a troca de mensagens entre as aplicações remotas. Inicialmente o MMS encontra-se no estado "MMS Livre". Neste estado, o MMS pode ser acionado pela recepção de uma requisição de um serviço MMS do PA ou pela recepção de uma PDU de "request" especificando um serviço MMS.

Quando da recepção de uma requisição de um serviço MMS do PA, este pode exigir confirmação (serviço confirmado) ou não (serviço não-confirmado). O MMS envia à estação remota uma PDU de "request" especificando o serviço, um identificador da transação ("Invoke ID") e o endereço da estação emissora, e transiciona para o estado "Serviço Pendente da Estação Local", ou volta ao estado "MMS Livre" caso o serviço seja do tipo não-confirmado. Se uma PDU de "error" especificando o serviço, com o mesmo identificador da transação ("Invoke ID") e endereço for recebida como resposta, uma indicação do serviço contendo o parâmetro "Resultado(-)" é enviada ao PA voltando o MMS ao estado "MMS Livre". No entanto, caso uma PDU de "response" especificando o serviço, com o mesmo identificador da transação e endereço seja recebida como resposta, uma indicação contendo o parâmetro "Resultado(+)" é enviada ao PA e o MMS transiciona para o estado "MMS Livre".

Quando da recepção de uma PDU de "request" especificando um serviço MMS, o MMS envia uma indicação do serviço ao ME e transiciona para o estado "Serviço Pendente na Estação Remota", ou volta ao estado "MMS Livre" caso o serviço seja do tipo não-confirmado. Caso o serviço seja do tipo confirmado, se for recebida do ME uma resposta negativa ao serviço, o MMS envia uma PDU de "error" especificando o serviço e volta ao estado "MMS Livre". No entanto, caso seja recebida do ME uma resposta positiva ao serviço, o MMS envia uma PDU de "response" especificando o serviço e transiciona para o estado "MMS Livre".

### 5.4.3.2 Sub-módulo Montador (SMM)

O SMM é responsável pela codificação das PDUs especificadas pelo MPPM segundo a sintaxe definida pelo padrão ASN.1 de forma que este código possa ser reconhecido por qualquer estação da rede que esteja em conformidade com o padrão Mini-MAP descrito.

A entrada no SMM se dá através de uma chamada pelo MPPM, ou pela confirmação da transmissão de uma mensagem informando se esta foi bem sucedida, como pode ser visto na figura 5.16. Os parâmetros fornecidos devem permitir a montagem completa da PDU segundo a sintaxe definida. Estes parâmetros são: (1) o identificador da transação ("Invoke ID"); (2) o tipo de PDU; (3) o serviço MMS; e (4) os argumentos necessários à execução do serviço ou o valor da resposta ao serviço.

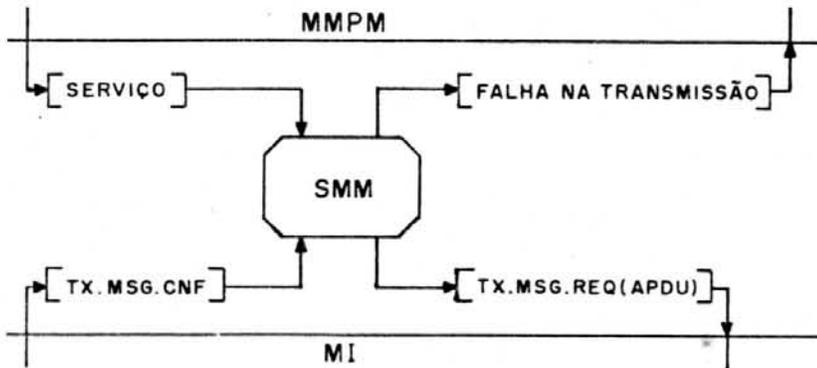


Figura 5.16 Pontos de entrada e saída do Sub-módulo SMM.

Existem quatro tipos de PDUs no protocolo MMS: "request", "response", "error" e "reject". A PDU de

"request" é resultado da solicitação de um serviço MMS por um usuário. As PDUs de "response" ou "error" são enviadas como resposta quando do término da execução de um serviço, dependendo se a execução do serviço foi bem ou mal sucedida. A PDU de "reject" é utilizada para responder a violações do protocolo MMS.

Os valores dos parâmetros são utilizados como entradas em uma tabela denominada Tabela de Montagem (TM), que contém os códigos ASN.1 que permitem a montagem das PDUs. Inicialmente o SMM verifica o tipo de PDU, montando o código correspondente juntamente com o identificador da transação. A seguir, o serviço é examinado. A TM fornece para cada serviço os argumentos necessários e seus códigos ASN.1. O valor do argumento propriamente dito é fornecido pelo PA ou pelo ME e passado ao SMM juntamente com os outros parâmetros.

Ao finalizar a montagem de uma PDU, o SMM aciona o MI solicitando que a mensagem seja enviada.

Uma descrição SDL deste módulo pode ser vista na figura 5.17.

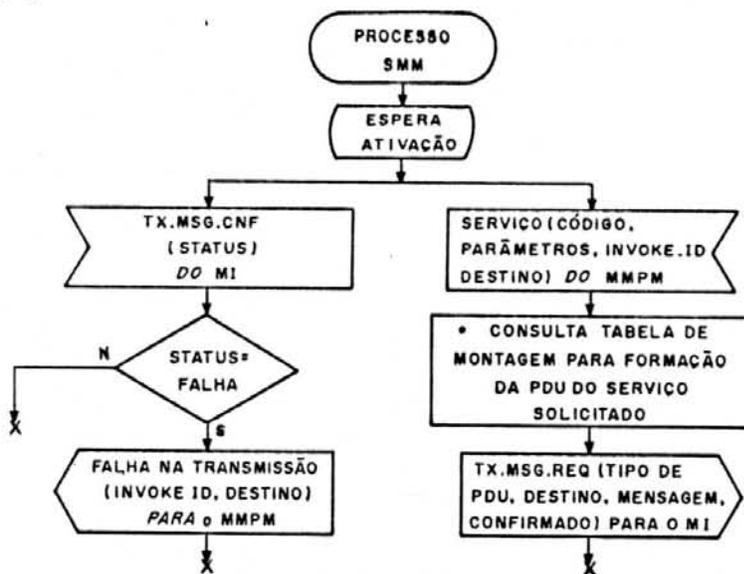


Figura 5.17 Descrição SDL do Sub-módulo SMM.

### 5.4.3.3 Sub-módulo Desmontador (SMD)

O SMD é responsável pela interpretação das PDUs codificadas segundo a sintaxe definida pelo padrão ASN.1 que chegam a uma estação destinatária, com o objetivo de passar ao MMPM as informações necessárias para o controle das associações e do fluxo de dados entre as aplicações remotas.

A entrada no SMD se dá através de uma chamada do MI quando da recepção de um pacote pela rede como pode ser visto na figura 5.18.

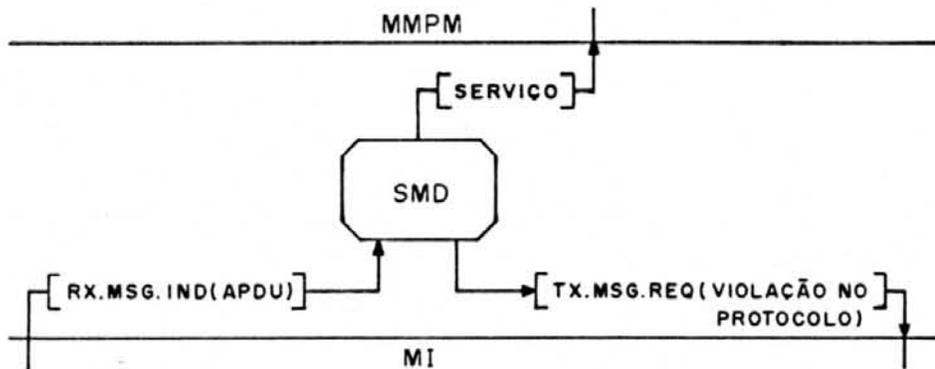


Figura 5.18 Pontos de entrada e saída do Sub-módulo SMD.

Ao receber a mensagem, esta é submetida a um "autômata" que desmonta a PDU retirando as informações relevantes, tais como, o tipo de PDU, o endereço da estação emissora, o identificador da transação, o serviço e os argumentos a ele associados, verificando ainda se não ocorreram violações do protocolo.

Após a desmontagem da PDU, o SMD chama o MMPM passando as informações extraídas da PDU como parâmetros para que este possa atualizar as estruturas TRC e TRP e

direcionar a mensagem ao PA ou ao ME, dependendo do tipo de PDU.

Uma descrição SDL deste módulo pode ser vista na figura 5.19.

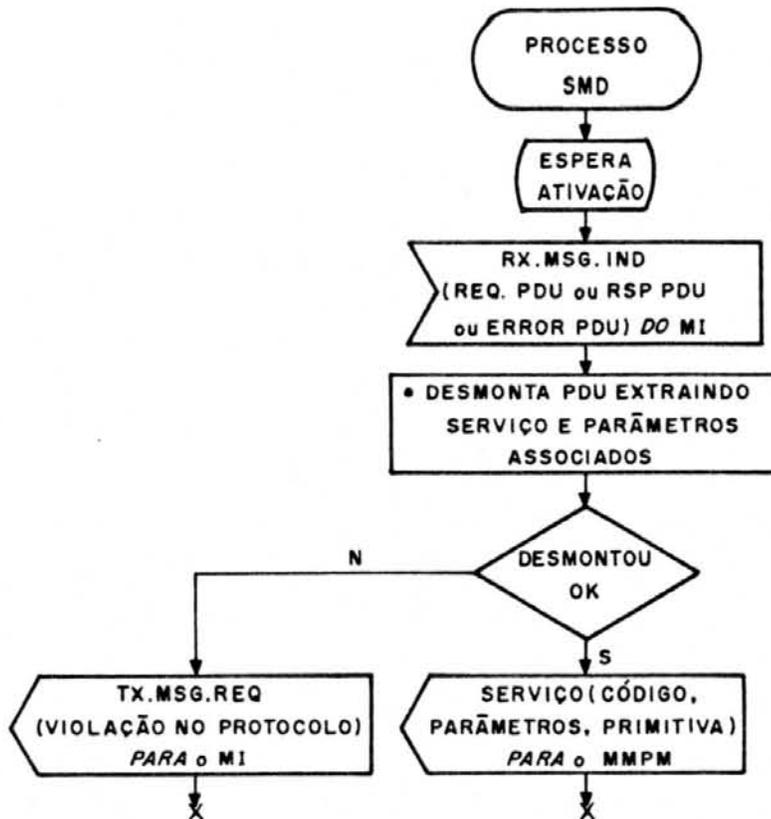


Figura 5.19 Descrição SDL do Sub-módulo SMD.

#### 5.4.4 Módulo Executor dos Serviços MMS (ME)

O ME é responsável pela execução dos serviços definidos pelo protocolo MMS. É composto por um conjunto de rotinas, cada qual encarregada da execução de um serviço implementado.

A entrada no ME se dá através de uma chamada pelo

MMPM. Os parâmetros fornecidos contêm o serviço requerido e os argumentos a ele associados.

Após a execução de um serviço, caso este seja do tipo confirmado, o resultado deve ser retornado à aplicação remota que o solicitou. Assim, após executar o serviço, o ME aciona novamente ao MMPM solicitando o envio da resposta através da rede.

Conforme já foi exposto anteriormente, nesta dissertação procurou-se selecionar quais os serviços de maior significância e utilidade para os dispositivos programáveis geralmente utilizados nas células de manufatura.

A descrição dos argumentos ou parâmetros associados a cada serviço é feita de forma tabular. Cada tabela consiste de até cinco colunas. A primeira contém os nomes dos parâmetros do serviço, e as seguintes as primitivas de requisição (Req), indicação (Ind), resposta (Rsp) e confirmação (Cnf) do serviço.

A primitiva de requisição normalmente é chamada por um PA que deseje acessar algum serviço MMS através do MMPM. A primitiva de indicação é chamada pelo MMPM ao solicitar ao ME a execução do serviço. A primitiva de resposta é chamada pelo ME para que a resposta ao serviço seja enviada pela rede através do MMPM. A primitiva de confirmação é chamada pelo MMPM da estação originadora para informar ao PA que o serviço solicitado foi executado (com sucesso ou não) e para passar a ele os resultados que por ventura existam.

Em cada tabela, um parâmetro é listado em cada linha horizontal. Sobre as colunas das primitivas de serviço, um código é utilizado para especificar o tipo de uso do parâmetro na primitiva especificada na coluna

vertical.

- M - o parâmetro é OBRIGATÓRIO para a primitiva;
- O - o parâmetro é OPCIONAL segundo o usuário;
- C - o parâmetro é CONDICIONAL a outros parâmetros ou ao ambiente MMS;
- S - o parâmetro é uma SELEÇÃO de um dos parâmetros que estão sobre ele no mesmo nível de aninhamento (identação); e
- (branco) - o parâmetro está sempre AUSENTE.

O código "(=)" seguindo algum dos códigos M, O, C, S, indica que aquele parâmetro é semanticamente semelhante ao que está imediatamente à sua esquerda na tabela.

Muitos dos parâmetros mostrados a seguir para os serviços propostos para implementação nos dispositivos das células de manufatura, aparecem apenas por uma compatibilidade com o padrão descrito na norma MMS. No entanto, estes parâmetros não são necessários, visto que os serviços que eles referenciam não são implementados no protótipo proposto ou a função que eles indicam é considerada complexa demais para a implementação proposta para o serviço.

#### 5.4.4.1 Serviço "initiate"

Este serviço é utilizado para estabelecer o contexto MMS e permitir às estações que estão se comunicando, trocarem informações sobre suas capacidades e requisitos, além de alocarem os recursos necessários a troca de mensagens. Este serviço deve ser completado com sucesso antes que qualquer outro serviço possa ser trocado entre as estações remotas.

Ao receber a indicação deste serviço, o rotina do ME responsável pela execução do serviço consulta uma tabela

contendo as características do MMS implementado. Esta tabela contém o número da versão do padrão implementado, os tamanhos máximos das mensagens suportada, o número máximo de eventos monitoráveis, o número máximo de serviços pendentes e os serviços implementados. Caso a estação esteja apta a se comunicar com a estação remota suportando as características propostas, um novo registro na TRP é criado com as características do contexto estabelecido e uma resposta com o resultado positivo ("Resultado(+)") é enviada alocando-se os recursos necessários à associação. Caso contrário, ou seja, se a versão proposta não for suportada, ou os tamanhos máximos das mensagens, ou o número máximo de eventos, ou o número máximo de serviços pendentes exceder a capacidade do MMS implementado, ou ainda se os recursos não puderem ser alocados, uma resposta indicando a falha no estabelecimento do contexto é enviada.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.1.

TABELA 5.1 - Parâmetros associados ao serviço "initiate".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Lista do Número de Versões	M	M	M	M(=)
Previlégio do Iniciador	M	M(=)	M	M(=)
Previlégio do Respondedor	M	M(=)	M	M(=)
Tam Max Mensagem do Iniciador	M	M	M	M(=)
Tam Max Mensagem do Respondedor	M	M	M	M(=)
Max Cond Evento Monit Iniciador	M	M	M	M(=)
Max Cond Evento Monit Respondedor	M	M	M	M(=)
Max Serviços Pend Iniciador	M	M	M	M(=)
Max Serviços Pend Respondedor	M	M	M	M(=)
Max Ações de Evento Prog no Inic	M	M	M	M(=)
Max Ações de Evento Prog no Resp	M	M	M	M(=)
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.2 Serviço "conclude"

O serviço de "conclude" é utilizado para liberar de

forma ordenada a contexto MMS. Um PA requer o serviço para indicar que ele concluiu as requisições que tinha planejado e que nenhuma nova requisição será solicitada.

Se não existe nenhum serviço pendente com aquela estação remota, o ME pode então desfazer o contexto, liberando os recursos alocados.

No caso de células de manufatura, este serviço raramente é utilizado já que a grande maioria das associações tem caráter permanente.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.2.

TABELA 5.2 - Parâmetros associados ao serviço "conclude".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.3 Serviço "abort"

Este serviço é utilizado para liberar abruptamente o contexto MMS. O usuário MMS solicita uma primitiva de aborto para indicar que ele deseja imediatamente e sem negociação descontinuar uma associação no contexto MMS. O ME desfaz o contexto liberando os recursos alocados.

#### 5.4.4.4 Serviço "reject"

Este é um serviço iniciado pelo Módulo MMS quando detecta um erro no protocolo ou quando recebe uma PDU de reject, não sendo processado pelo ME, ao invés disso, é utilizado para informar ao PA da ocorrência de um erro no protocolo. Este pode, se desejar, utilizar o serviço de "abort" para abandonar de forma abrupta o contexto MMS.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.3.

TABELA 5.3 - Parâmetros associados ao serviço "reject".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Local onde foi detectado o erro		M		
Código da razão		M		

#### 5.4.4.5 Serviço "identify"

Este serviço é utilizado por um PA para obter os serviços MMS implementados pelo ME de uma estação remota. O ME consulta a sua tabela de características do MMS e extrai dela os blocos construtivos horizontais e verticais [EIA 86] que indicam os serviços implementados e suas características.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.4.

TABELA 5.4 - Parâmetros associados ao serviço "identify".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Nível Conformid Suport pelo Inic				M
Blocos Construtivos Verticais				M
Blocos Construtivos Horizontais				M
Nível Conformid Suport pelo Resp			M	M(=)
Blocos Construtivos Verticais			M	M(=)
Blocos Construtivos Horizontais			M	M(=)
Nível de Aninhamento das Estrut			M	M(=)
Complex das Expressões Booleanas			M	M(=)
Termos das Expressões Booleanas			M	M(=)
Configuração			M	M(=)
Nome do Vendedor			M	M(=)
Nome do Modelo			M	M(=)
Revisão			M	M(=)
Subsistemas			O	O(=)

#### 5.4.4.6 Serviço "read"

Este serviço é utilizado por um PA para requisitar que uma estação remota procure retornar o valor de uma ou mais variáveis definidas na estação remota.

O ME procura acessar os valores das variáveis que foram especificadas pelo PA requisitante, retornando para o MMPM os valores das variáveis que podem ser acessadas e um código de erro para aquelas que não puderam ser acessadas.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.5.

TABELA 5.5 - Parâmetros associados ao serviço "read".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Lista de Variáveis	M	M(=)		
Especificação da Variável	M	M(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Lista de Valores			M	M(=)
Especificação do Valor			M	M(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.7 Serviço "write"

Este serviço é utilizado por um PA para enviar um valor para uma ou mais variáveis de uma estação remota e para requisitar que o ME da estação remota associe estes valores às variáveis especificadas no seu próprio sistema.

O ME associa o valor ou valores especificados à variável ou variáveis indicadas, retornando como resposta a indicação do sucesso na execução do serviço.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.6.

TABELA 5.6 - Parâmetros associados ao serviço "write".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Lista de Especificações	M	M(=)		
Especificação de Variável	M	M(=)		
Especificação de Valor	M	M(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.8 Serviço "informationReport"

O serviço de "informationReport" é um serviço do tipo não-confirmado e que pode ser solicitado tanto por um PA que deseje informar a uma aplicação remota valores de variáveis definidas no sistema local, ou pelo ME como resultado da ocorrência de um evento. No segundo caso, o evento e as variáveis que devem ser enviadas são especificadas previamente por uma mensagem do serviço de ação de evento programada ("programEventAction").

A utilização deste serviço permite principalmente a obtenção de dados de um sistema remoto associados à ocorrência de um evento.

Sua implementação é feita de modo que a operação se dê de forma assíncrona. Inicialmente o usuário no seu programa de aplicação especifica uma rotina que contém o algoritmo para processamento dos valores que serão enviados pelo sistema remoto. Ao receber a indicação do serviço pelo MPPM, o ME retira a especificação e o valor das variáveis enviadas e chama a rotina do PA previamente especificada pelo usuário passando para ela as informações recebidas.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.7.

TABELA 5.7 - Parâmetros associados ao serviço "informationReport".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Registro do Evento Detectado	S	S(=)		
Nome da Ação de Evento	M	M(=)		
Nome da Condição de Evento	C	C(=)		
Estado da Condição de Evento	C	C(=)		
Número da Ocorrência	M	M(=)		
Lista de Valores	M	M(=)		
Especificação dos Valores	M	M(=)		
Lista de Especific Não-Solicitadas	S	S(=)		
Especificação da Variável	M	M(=)		
Especificação do Valor	M	M(=)		

#### 5.4.4.9 Serviço "initiateUploadSequence"

Este serviço permite que uma estação solicite a uma estação remota que se prepare para enviar o programa especificado.

Quando da recepção da indicação do serviço, o ME da estação remota deve verificar que: (1) seu estado permite a transferência de um programa; e (2) o programa especificado está atualmente carregado, preparando-se então para enviar o programa especificado através da alocação dos recursos necessários. Caso alguma das condições não seja satisfeita, uma mensagem de erro deve ser enviada.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.8.

TABELA 5.8 - Parâmetros associados ao serviço "initiateUploadSequence".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Nome do Programa	0	0(=)		
Resultado(+) Número de Referência do Prog			S M	S(=) M(=)
Resultado(-) Problema			S S	S(=) S(=)

#### 5.4.4.10 Serviço "transmitUploadSegment"

Este serviço é solicitado por um PA para requisitar a uma estação remota que transmita um segmento do seu programa de aplicação.

O ME da estação remota verifica o tamanho máximo da mensagem acertada previamente para esta associação de aplicação e prepara um segmento contendo parte do seu programa de aplicação.

Os parâmetros associados a este serviço são

mostrados na tabela 5.9.

TABELA 5.9 - Parâmetros associados ao serviço

"transmitUploadSegment".				
Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Número de Referência do Programa	M	M(=)		
Número do Segmento do Programa	M	M(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Dados			C	C(=)
Fim-de-Programa			C	C(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.11 Serviço "terminateUploadSequence"

Este serviço é solicitado por um PA para requisitar que uma estação remota termine uma seqüência de transferência liberando os recursos alocados anteriormente para a transferência de seu programa de aplicação.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.10.

TABELA 5.10 - Parâmetros associados ao serviço

"terminateUploadSequence".				
Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Número de Referência do Programa	M	M(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.12 Serviço "initiateDownloadSequence"

Este serviço permite que uma estação solicite a outra estação remota que se prepare para receber um programa com o nome especificado.

Quando da recepção da indicação do serviço, o ME da estação remota deve verificar que: (1) seu estado permite

a transferência de programa; (2) nenhum programa com o mesmo nome reside na memória do sistema, a menos que a opção de sobre-escrita seja verdadeira; e (3) nenhum programa ocupando a região determinada pela configuração de carga esteja sendo executado. Caso as condições sejam satisfeitas, o ME aloca os recursos necessários preparando-se para receber o programa especificado. No entanto, caso alguma das condições não seja satisfeita, uma mensagem de erro deve ser enviada.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.11.

TABELA 5.11 - Parâmetros associados ao serviço "initiateDownloadSequence".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Nome do Programa	0	0(=)		
Configuração de Carga	0	0(=)		
Sobre-escrita	0	0(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Número de Referência do Prog			M	M(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.13 Serviço "receiveDownloadSegment"

Este serviço é solicitado por um PA para transmitir a uma estação remota um segmento contendo uma parte de um programa de aplicação. O PA requisita o serviço uma ou mais vezes, tendo em vista que os segmentos devem respeitar o tamanho máximo previamente acertado durante o estabelecimento do contexto.

O ME da estação remota recebe o segmento e o armazena na área de memória previamente reservada.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.12.

TABELA 5.12 - Parâmetros associados ao serviço  
"receiveDownloadSegment".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Número de Referência do Programa	M	M(=)		
Número do Segmento do Programa	M	M(=)		
Dados	M	M(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.14 Serviço "terminateDownloadSequence"

Este serviço é requisitado por um PA para indicar ao ME da estação remota que a seqüência de transferência foi completada. Um término bem sucedido da transferência faz com que os recursos alocados anteriormente para a transferência sejam liberados.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.13.

TABELA 5.13 - Parâmetros associados ao serviço  
"terminateDownloadSequence".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Número de Referência do Programa	M	M(=)		
Descarte a transferência	O	O(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.15 Serviço "start"

Este serviço permite que uma estação remota inicie a atividade de controle em um dispositivo pela execução de um programa.

O ME da estação remota verifica se o programa

especificado está residente na memória do dispositivo e se já não está sendo executado. Caso as condições sejam satisfeitas, ele indica ao sistema operacional que o programa deve começar a ser executado baseado nos parâmetros disponíveis, enviando uma resposta positiva para a estação originadora da solicitação. Caso alguma das condições não seja satisfeita, uma mensagem de erro deve ser enviada.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.14.

TABELA 5.14 - Parâmetros associados ao serviço "start".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Nome do Programa	0	0(=)		
Tipo de Início	M	M(=)		
Parâmetros do Comando	0	0(=)		
Associa à Condição de Evento	0	0(=)		
Associa à Semáforo	0	0(=)		
Adiciona à Tarefa	0	0(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.16 Serviço "stop"

Este serviço permite que uma estação remota suspenda a atividade de controle em um dispositivo pela suspensão da execução de um programa.

Segundo [EIA 86], as definições semânticas do que seja uma suspensão de programa são definidas externamente pelas organizações responsáveis para cada tipo de dispositivo. Se uma implementação não suporta um dado tipo de suspensão, ela deve executar o tipo de suspensão que mais se aproxime daquele solicitado.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.15.

TABELA 5.15 - Parâmetros associados ao serviço "stop".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Nome do Programa	O	O(=)		
Tipo de Suspensão	M	M(=)		
Associa à Condição de Evento	O	O(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.17 Serviço "status"

O objetivo deste serviço é permitir a um PA determinar as condições gerais de uma estação remota e opcionalmente obter detalhes adicionais, se necessário.

O ME da estação remota busca em uma estrutura de dados onde estão armazenadas as informações sobre as características da estação e o seu estado atual. Entre as informações transferidas estão: se o dispositivo está operante; se erros (corrigíveis ou incorrigíveis) ocorreram desde o último comando de "start"; qual a versão do sistema operacional do dispositivo de controle; qual o programa de controle que está sendo executado; etc.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.16.

TABELA 5.16 - Parâmetros associados ao serviço "status".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Lista de "Status" Solicitados	O	O(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
"Status" Geral			M	M(=)
Máscara de "Status"			O	O(=)
Estado de Execução			O	O(=)
Programa Ativo			O	O(=)
Código de Erro			O	O(=)
"Status" dos Sub-sistemas			O	O(=)
Dados do Usuário			O	O(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.18 Serviço 'runSelfDiagnostics'

Este serviço é utilizado por um PA para solicitar que uma estação remota execute a rotina de auto diagnóstico especificada.

O ME da estação remota comanda o dispositivo para executar uma ou mais das operações de diagnóstico. Quando a operação está completa, o ME retorna uma resposta indicando se o teste foi bem sucedido ou fracassou e possivelmente alguma informação específica do dispositivo. Se algum dos testes solicitados falhou, então a causa deve ser especificada na resposta. Caso o parâmetro Teste Destrutivo seja FALSO, então o teste não deve alterar o estado atual do dispositivo de controle.

Alguns tipos de testes solicitados podem ser: um teste geral do dispositivo; um teste da memória; teste de um dispositivo de entrada ou de saída; teste do canal de comunicação; etc.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.17.

TABELA 5.17 - Parâmetros associados ao serviço "runSelfDiagnostics".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Tipo de Teste	M	M(=)		
Teste Destrutivo	O	O(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Passou Ok			M	M(=)
Resultado Detalhado			O	O(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.19 Serviço 'defineEventConditionName'

Este serviço provê a um PA a capacidade de

definição dinâmica de condições de evento em uma estação remota, estando intimamente relacionado com o serviço de "programEventAction".

O procedimento a ser executado pelo ME é dividido em duas partes. Primeiramente, quando da recepção da indicação do serviço, os parâmetros são avaliados, os recursos necessários para monitoração do evento são alocados e as variáveis e temporizadores são inicializados, sendo então programada a rotina de monitoração.

A rotina de monitoração é acionada por interrupção a intervalos especificados de tempo e verifica se algum evento definido transicionou. Caso algum evento tenha ocorrido, esta rotina verifica se existe alguma ação de evento associada à condição de evento. Em caso afirmativo, a ação de evento especificada ("informationReport" ou "status") é executada.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.18.

TABELA 5.18 - Parâmetros associados ao serviço "defineEventConditionName".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Tipo de Condição de Evento	M	M(=)		
Nome da Condição de Evento	M	M(=)		
Escopo	M	M(=)		
Identificador	M	M(=)		
Especificação da Condição de Evento	C	C(=)		
Condição Liga	M	M(=)		
Condição Desliga	O	O(=)		
Prioridade	M	M(=)		
Limite Superior da Freq Monit	M	M(=)		
Limite Inferior da Freq Monit	M	M(=)		
Especificação de Alarme	O	O(=)		
Severidade	M	M(=)		
Classificação	O	O(=)		
Ativado na Definição	M	M(=)		
Desativado na Transição	O	O(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.20 Serviço "deleteEventConditionName"

O objetivo deste serviço é permitir a um PA requerer a uma estação remota que esta delete a definição de uma condição de evento dinamicamente definida anteriormente, suspendendo conseqüentemente a monitoração para detecção da transição na condição de evento.

Ao receber a indicação do serviço, o ME da estação remota verifica se o evento existe. Caso o parâmetro Ações de Evento Associadas não esteja especificado e exista alguma ação de evento associada àquele evento, a tentativa de deleção falha e um código de erro apropriado é enviado. No entanto, se o parâmetro estiver especificado, todas as ações de evento associadas àquele evento são finalizadas, a monitoração do evento é suspensa e os recursos alocados são liberados.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.19.

TABELA 5.19 - Parâmetros associados ao serviço "deleteEventConditionName".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Nome da Condição de Evento	M	M(=)		
Escopo	M	M(=)		
Identificador	M	M(=)		
Ações de Evento Associadas	M	M(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.21 Serviço "programEventAction"

O objetivo deste serviço é permitir a um PA requisitar que uma estação remota sincronize uma ação específica com a ocorrência de um ou mais eventos definidos.

O procedimento para a execução deste serviço pode ser dividida em duas partes:

- ao receber a indicação do serviço, o ME da estação remota deve se certificar que o nome da ação de evento requisitada já não existe no sistema remoto. Também, se o nome das condições de evento estão definidas e se os recursos locais são suficientes para suportar a ação de evento requisitada. Quando da aceitação da ação, é criada uma entrada em uma estrutura que associa os eventos monitorados com a ação que deve ser executada quando os eventos ocorrerem.

- quando a transição de uma condição de evento dispara, é feita uma varredura na estrutura com a finalidade de acionar as ações de evento que estiverem aptas a serem executadas. Em função do parâmetro Repetições, um contador de repetições é decrementado cada vez que a ação é acionada. Se o contador chegou a 0, a ação de evento é cancelada.

As ações que podem ser disparadas em função de um evento, previstas por [EIA 86] são: "informationReport", "alarmNotification", "journalUpdate", "journalDisable" e "status". Na implementação proposta, apenas os serviços "informationReport" e "status" são sugeridos como podendo estar associados a ações de evento.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.20.

TABELA 5.20 - Parâmetros associados ao serviço  
"programEventAction".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Nome da Ação de Evento	M	M(=)		
Escopo	M	M(=)		
Identificador	M	M(=)		
Lista de Eventos	M	M(=)		
Nome da Condição de Evento	M	M(=)		
Escopo	M	M(=)		
Identificador	M	M(=)		
Razão da Detecção	O	O(=)		
Título do Elemento de Aplicação	O	O(=)		
Tipo de Ação	M	M(=)		
Lista de Variáveis	C	C(=)		
Especificação da Variável	M	M(=)		
Nome do Relatório	C	C(=)		
Desab Relatório Após Contagem	C	C(=)		
Requisição de Status	C	C(=)		
Repetições	O	O(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

#### 5.4.4.22 Serviço "cancelEventAction"

O objetivo deste serviço é permitir a um PA deletar a definição de uma ação de evento definida em uma estação remota.

Ao receber a indicação do serviço, o ME da estação remota remove da estrutura que associa os eventos monitorados com a ação de evento especificada. Após isto, o nome da ação de evento é deletada e os recursos alocados são liberados.

Os parâmetros associados a este serviço são mostrados na tabela 5.21.

TABELA 5.21 - Parâmetros associados ao serviço  
"cancelEventAction".

Nome do Parâmetro	Req	Ind	Rsp	Cnf
Nome da Ação de Evento	M	M(=)		
Escopo	M	M(=)		
Identificador	M	M(=)		
Resultado(+)			S	S(=)
Resultado(-)			S	S(=)
Problema			S	S(=)

## 6 AVALIAÇÃO DA ARQUITETURA

### 6.1 Introdução

Ao propor-se uma arquitetura implementável com equipamentos comercialmente disponíveis no mercado nacional e capaz de suportar a interligação de equipamentos de controle dentro de uma célula de manufatura ou em uma fábrica de pequeno porte, uma série de questões foram levantadas quanto à validade da arquitetura para atender aos requisitos de operação em um ambiente industrial e em aplicações em tempo-real, como os citados na seção 5.2.1.

Para que a solução descrita seja viável, ela deve ser capaz de atender aos requisitos da maior parte das aplicações existentes no ambiente onde será implementada. Assim sendo, uma série de aspectos são analisados de modo a fornecer uma avaliação quanto à aplicabilidade ou não da solução proposta, pontos frágeis, características passíveis de otimização, tendências futuras, etc.

Para proceder-se a esta análise, uma série de perguntas são formuladas:

- a utilização de um método de acesso não determinístico suporta aplicações em tempo-real?
- a imunidade ao ruído oferecida pela placa é compatível com o ambiente industrial?
- o número máximo de estações e distância máxima alcançada pela rede atende os requisitos típicos das aplicações de células de manufatura?
- os tempos de resposta obtidos são compatíveis?
- qual o tempo de processamento consumido pelo "firmware" da placa?
- qual o tempo de processamento consumido pelos módulos que implementam as camadas superiores?
- quais as conseqüências da ausência das camadas

3, 4, 5 e 6 do Modelo OSI na implementação?

- como são tratados os erros de comunicação?

- os serviços do MMS selecionados para serem implementados são suficientes?

- a necessidade de estabelecimento de uma associação entre as aplicações prejudica os tempos de resposta?

- como influi no desempenho, o fato do Sub-sistema de Comunicação (SSCOM), no caso, uma placa CS-1000PC, ser um produto "fechado", fazendo com que alguns módulos tenham de ser implementados no computador que executa a tarefa de controle?

- quais seriam as dificuldades para a interligação de uma célula de manufatura que utilize esta sub-rede, a uma linha tronco MAP?

- o custo da solução implementada é compatível com os equipamentos de controle típicos das células de manufatura?

Para responder a estas perguntas, são apresentados neste capítulo: um estudo comparativo do desempenho dos métodos de acesso CSMA/CD e "token bus"; alguns exemplos práticos de aplicações de controle, com equipamentos do tipo CP, em que a comunicação de dados é amplamente utilizada; além de uma série de observações e considerações referentes aos questionamentos levantados.

## 6.2 Desempenho Comparativo do Método de Acesso CSMA/CD

Um dos aspectos mais interessantes a serem analisados na arquitetura implementada diz respeito à utilização de um método de acesso não determinístico como o CSMA/CD para uma sub-rede a ser utilizada em aplicações de automação industrial e controle em tempo-real.

A escolha do protocolo de acesso afeta consideravelmente o desempenho da sub-rede de comunicação e conseqüentemente, o desempenho dos demais protocolos que dele se utilizam para implementar seus serviços [MOU 86]. A performance é um dos fatores mais importantes para a escolha de uma arquitetura de rede local [STA 85].

No momento da implementação do protótipo para a sub-rede proposta, estavam disponíveis placas de comunicação cujo método de acesso (CSMA/CD) não era o recomendado pela maioria das propostas internacionais de padronização. Cabe então analisar se as características do CSMA/CD inviabilizam completamente ou não seu uso nas aplicações propostas, e, caso não inviabilizem, quais as restrições e limitações impostas.

De forma intuitiva podemos dizer que, se o meio físico for pouco utilizado, ou seja, se a sub-rede possuir um número pequeno de participantes e uma frequência não muito elevada de transmissão, o número de colisões será tão reduzido que, na prática poder-se-á utilizar um método de acesso não-determinístico, sem o risco de um tempo muito elevado para transmissão ou de que aconteça a postergação indefinida de uma transmissão. Isto permitiria que em redes pouco carregadas, mesmo em aplicações de elevada responsabilidade, se utilizasse o método de acesso CSMA/CD, mais simples, barato e amplamente popularizado, ao invés de um método de acesso determinístico, porém mais complexo e atualmente mais caro como o da passagem de permissão ("token bus").

Dadas as características de tráfego de uma determinada sub-rede, é a avaliação do desempenho que permite afirmar se o método de acesso escolhido é adequado ao ambiente que se deseja interligar.

Três medidas de desempenho segundo [STA 85], são normalmente utilizadas para se caracterizar um método de acesso:

- D - o atraso ("delay") que ocorre entre o tempo em que um pacote está pronto para transmissão em uma estação e o término com sucesso da transmissão;

- S - a vazão ("throughput") da rede; a taxa total de dados úteis sendo transmitidos com sucesso entre duas estações; e

- U - a utilização do meio; a fração da capacidade total sendo utilizada.

O parâmetro S é geralmente normalizado e expresso como uma fração da capacidade. Por exemplo, se durante o período de 1 segundo, a soma dos dados transmitidos com sucesso entre os nós for 1 Mbit em um canal de 10 Mbps, então  $S=0.1$ .

Resultados para S e D são geralmente plotados como uma função da carga oferecida G, que é a demanda de tráfego efetivamente apresentada para a rede. A carga total oferecida à rede depende em parte da técnica de controle de acesso ao meio. Nas técnicas em que o controle é feito por passagem de permissão, existem pacotes que são transmitidos mas que não possuem nenhuma informação útil à estação, sendo utilizados para controle do acesso ao meio. Também nas técnicas de contenção, a colisão representa dados inúteis ocupando parte da capacidade disponível do canal. Assim, S é a taxa normalizada de pacotes de dados úteis transmitidos com sucesso pela rede; G é o número total de pacotes apresentados para a rede e pode incluir pacotes de controle e/ou colisões. Intuitivamente, podemos esperar que D aumente com G, ou seja, quanto maior o tráfego por tempo de transmissão, maior o atraso para que determinada estação assegure uma fração do tempo para transmissão. S também deve

aumentar com G até um ponto de saturação, além do qual a rede não consegue manipular mais carga.

No entanto, do ponto de vista do usuário, este deseja conhecer a vazão e o atraso do sistema como uma função dos dados gerados pelas estações e injetadas no sistema sem considerar pacotes de controle ou retransmissão de pacotes colididos, a carga de entrada I.

Deste modo são introduzidos mais dois conceitos:

- G - a carga oferecida para a rede; a taxa total de dados apresentados à rede para transmissão incluindo pacotes de controle e/ou colisões; e

- I - carga de entrada; a taxa de dados gerada pelas estações conectadas à rede.

O estudo do desempenho de um sistema de comunicação pode ser feita através da utilização de ferramentas analíticas, de simulação digital ou ainda por emulação.

A técnica de simulação enquanto poderosa, desde que permite a inclusão de detalhes minuciosos da sub-rede, não leva a uma relação claramente visível da dependência entre desempenho obtido e as características do protocolo, obrigando a que várias simulações sejam executadas para que se possa levantar as dependências existentes. A técnica analítica, por outro lado, leva necessariamente a tal relação explícita, já que as características do protocolo estão presentes na fórmula que modela a sub-rede. No entanto, nesta técnica exclui-se detalhes da sub-rede devido à complexidade da solução utilizando as ferramentas analíticas atualmente disponíveis. Como consequência, a solução analítica é geralmente aproximada [MOU 86].

Não é objetivo desta dissertação realizar um estudo rigoroso sobre a performance comparativa de

diferentes métodos de acesso, mas sim fornecer noções sobre que fatores influenciam no desempenho de cada método, e até que ponto podem ser utilizados sem degradar o desempenho da rede de modo a inviabilizá-la.

Segundo [MOU 86], a solução do modelo do protocolo CSMA/CD é de difícil solução por ferramentas analíticas. A necessidade de retransmitir pacotes colididos e a função de retirada sendo dependente do número de colisões passadas, leva a necessidade de utilização de um modelo com memória, o qual é de solução bastante complexa.

[POO 87] descreve os resultados experimentais obtidos para uma rede "PC LAN" com método de acesso CSMA/CD, velocidade de transmissão de 2Mbps e 18 estações gerando diversos padrões de tráfego na rede. Segundo ele, quando o tráfego é leve, todos os pacotes gerados são transmitidos. Para uma carga oferecida para a rede  $G$  menor que 60%, ocorre um pequeno número de colisões e a vazão  $S$  é praticamente igual à  $G$ .

Embora existam uma série de estudos sobre a performance de um protocolo específico, existem poucas análises que englobem comparações sistemáticas entre o desempenho relativo dos vários protocolos de acesso de redes locais [STA 85]. Segundo [MOU 86], os trabalhos desenvolvidos a este respeito consistiam na comparação do desempenho de novos protocolos de acesso com os já existentes. Isto resultava em modelos com suposições "ad hoc", dificultando uma comparação unificada de vários protocolos.

[STA 85] cita estudos realizados por um grupo nos laboratórios da Bell, com apoio do comitê de padronização da IEEE 802. Os protocolos analisados foram o CSMA/CD, o barramento com passagem de permissão - "token bus" - e o

anel com passagem de permissão - "token ring".

Duas formas de chegada estatística das mensagens foram utilizadas. Na primeira, apenas 1 estação, de um total de 100 possui mensagens para transmitir e está sempre pronta para transmitir. No segundo caso, 100 estações do total de 100 sempre possuem mensagens para transmitir. Nos dois casos, 1 estação ou 100 estações proveem dados suficientes para utilizar completamente a rede. Deste modo, os resultados dão uma noção do potencial máximo de utilização.

Os resultados extraídos de [STA 85] são mostrados nas figuras 6.1.e 6.2. Eles mostram a taxa de transmissão de dados efetiva versus a taxa de transmissão do meio para os dois casos. Algumas conclusões apresentadas são:

- para o CSMA/CD sob condições pesadas de carga na linha, um aumento na taxa de transmissão do meio não altera a taxa de transmissão efetiva, uma vez que a número de colisões é o fator limitante no desempenho, e este é função principalmente do tempo de propagação e do número de estações competindo pelo meio de transmissão.

- o CSMA/CD oferece o menor atraso sob condições leves de tráfego, porém ele é mais sensível sob condições pesadas de carga na linha;

- no caso de uma única estação transmitindo, o "token bus" é significativamente menos eficiente do que os outros dois protocolos devido à necessidade de manipulação e passagem da permissão entre as estações.

Assim, sob condições de tráfego não-homogêneo, onde uma das estações utiliza muito mais a rede do que as outras - por exemplo a estação de controle na sub-rede de uma célula de manufatura - o CSMA/CD apresenta um desempenho bastante satisfatório se comparado com o "token bus".

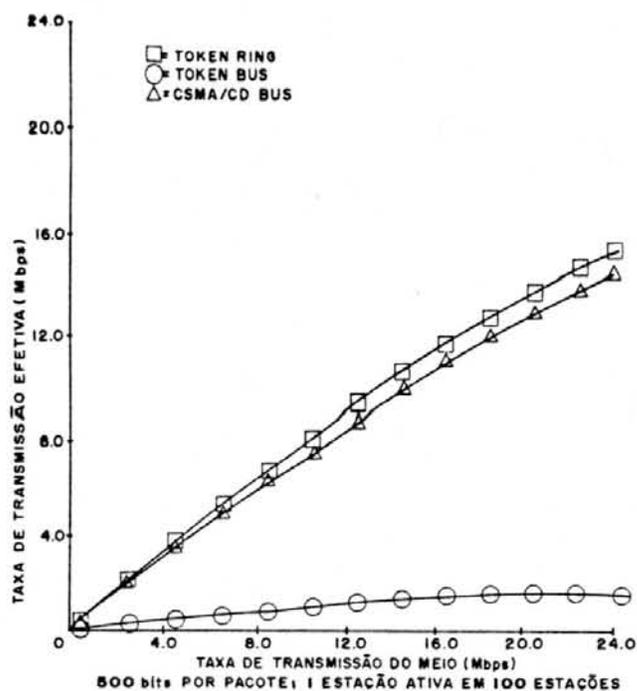


Figura 6.1 Potencial máximo da taxa de transmissão para diferentes métodos de acesso - 1 estação em 100 pronta para transmitir.

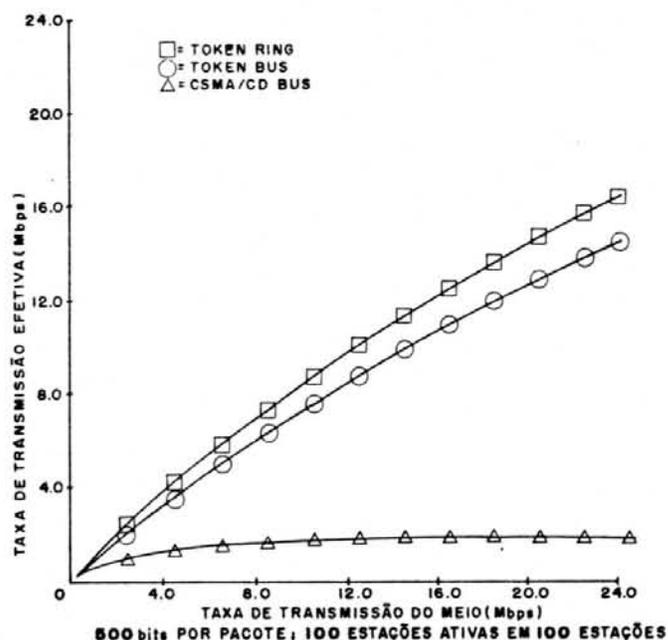


Figura 6.2 Potencial máximo da taxa de transmissão para diferentes métodos de acesso - 100 estações em 100 prontas para transmitir.

Comparações entre os vários métodos de acesso ao meio também são mostrados em [BUX 81] e [SAC 86] e os resultados e conclusões obtidas são similares aos de [STA 85]. Nestes trabalhos, pode-se ver que, para uma rede operando a 1 Mbps, o desempenho do método CSMS/CD é superior ao método de passagem de permissão para carregamentos de até 35% no caso da rede em anel e de até 55% no caso da rede em barramento. Para velocidades maiores (10 Mbps), o desempenho do CSMA/CD degrada-se mais rapidamente, no entanto, ainda é superior ao método "token bus" para taxas de ocupação de até 28% aproximadamente.

As figuras 6.3 e 6.4, extraídas de [SAC 86], mostram resultados comparativos do desempenho entre os diferentes métodos de acesso, para redes com velocidades de transmissão de 1 e 10 Mbps e as seguintes características:

- tamanho da rede: 2km;
- número de estações: 50;
- tamanho médio dos pacotes: 1000 bits (distribuição exponencial);
- tamanho do cabeçalho: 24 bits;
- atraso por estação: "token ring" - 1 bit,  
"token bus" - 5 bits;
- tempo de propagação: 5 us/km.

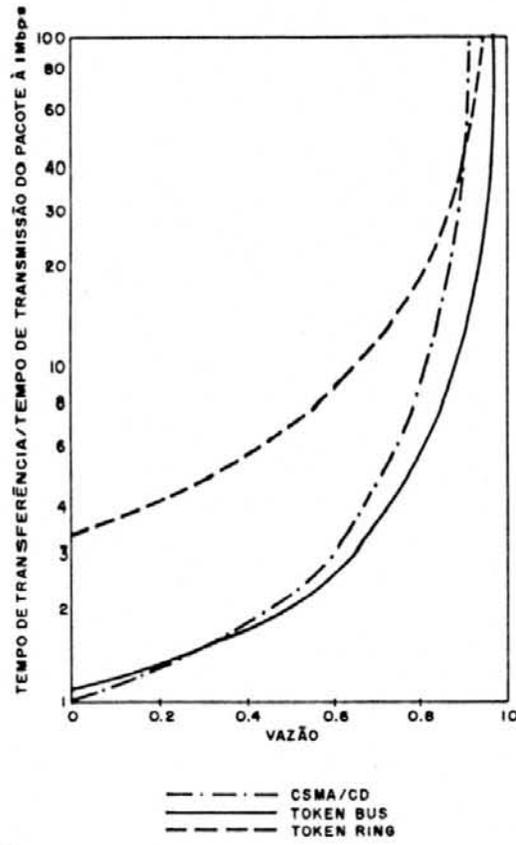


Figura 6.3 Atraso X vazão a 1 Mbps.

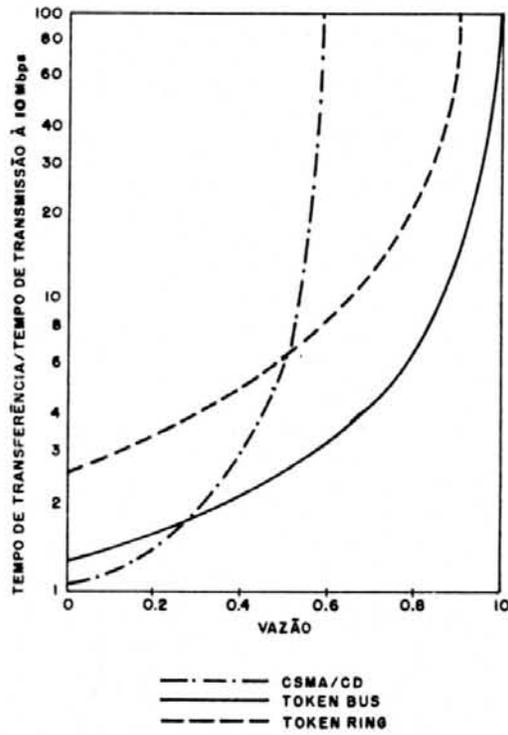


Figura 6.4 Atraso X vazão a 10 Mbps.

Para o caso específico de redes operando no ambiente industrial, simulações em modelos de redes e medidas efetuadas em redes DECnet/Ethernet operando nestes ambientes, indicam que a taxa de ocupação do canal de comunicação é tipicamente de 3 a 5%. A taxa de ocupação raramente excede os 12% da capacidade mesmo em grandes redes, com um grande número de estações e um intenso tráfego de dados [ADA 87].

Conforme a figura 6.5, extraída de [ADA 87], o atraso utilizando-se o padrão Ethernet é menor do que o obtido utilizando-se o esquema de passagem de permissão para taxas de ocupação de até 35%.

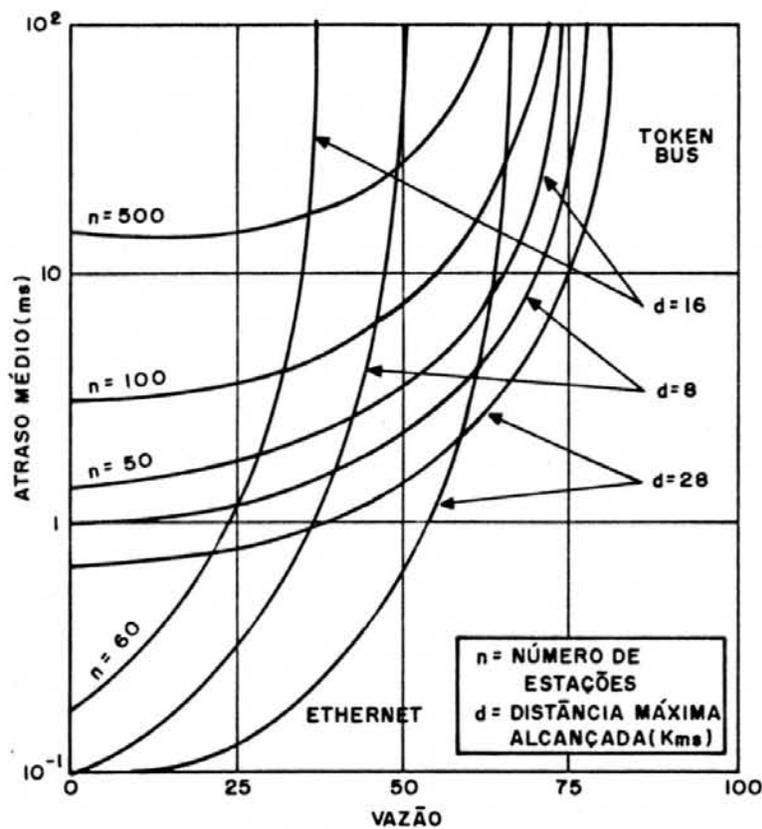


Figura 6.5 Atraso X vazão para redes Ethernet e token bus.

Trabalhos que apresentam estudos sobre o desempenho de redes locais com o método de acesso CSMA/CD também podem ser encontrados em [TAK 85], [MET 76], [LAM 80] e [TOB 80]. No entanto, estes trabalhos geralmente apresentam estudos através de ferramentas analíticas onde o atraso  $D$  é dado em função da vazão  $S$  encontrada ou da carga oferecida, e não da carga de entrada  $I$ , o que dificulta a avaliação para casos práticos. Deste modo, para casos em que se deseja estimar o atraso em determinada sub-rede, a simulação parece ser a ferramenta mais indicada.

### **6.3 Exemplos de Aplicações de Sub-redes em Alguns Processos Industriais**

Para que se possa, ao menos de modo aproximado, estimar se o desempenho apresentado pelo método de acesso CSMA/CD atende a grande maioria das aplicações de sub-redes em processos industriais, tomou-se três exemplos práticos onde a interligação dos equipamentos de controle é amplamente utilizada.

A partir do fluxo de mensagens e das características de comunicação presente nestes três exemplos, é possível estimar-se a carga de tráfego oferecida para a rede e a vazão resultante. Deste modo procura-se verificar se o método de acesso CSMA/CD pode ser utilizado.

Os exemplos apresentados são aplicações de supervisão e controle utilizando controladores programáveis de pequeno a médio porte (32 a 256 pontos de entrada ou saída) da ALTUS Sistemas de Informática Ltda.; a AL-NET, uma rede local simples, "mestre-escravo" que opera a 9600 bps; e microcomputadores compatíveis com IBM-PC. Nestas aplicações, o controle é totalmente distribuído entre os CPs e os microcomputadores são utilizados basicamente para supervisão.

### 6.3.1 Processo: Registro de Eventos

Esta aplicação destina-se a supervisão e registro de eventos que ocorrem em um setor de uma indústria petroquímica (COPEL). O Sistema consiste de 5 CPs dos quais 4 estão conectados a pontos de entrada digitais, sendo denominados "CPs digitais"; e 1 está adquirindo variáveis analógicas, sendo denominado "CP analógico"; e ainda uma estação de supervisão e registro dos eventos, implementada em um microcomputador compatível com IBM-PC.

Cada CP digital pode monitorar até 128 pontos digitais com uma resolução de 10 ms. Caso ocorra uma transição em um ponto digital, seu endereço, o horário da transição e o valor para o qual ele transicionou são colocados em um "array" de 4096 posições.

O CP analógico pode monitorar até 128 variáveis analógicas do processo com um intervalo de amostragem programado pelo usuário com resolução de 1 segundo. Os 5 últimos valores de cada variável são armazenados em "arrays" no CP.

Na operação atual, a estação de supervisão consulta os CPs sobre as transições ocorridas, com um intervalo de 20 segundos entre cada CP. Este tempo é limitado pelo tempo de processamento e impressão dos eventos na estação de supervisão. Também dentro deste intervalo, podem ser solicitados o valor atual e os 5 últimos valores de alguma variável do CP analógico. Além disso, a cada 10 segundos, a estação de supervisão envia para todos os CPs na rede o horário atual a fim de sincronizar todas as estações.

A fim de estimar a carga na rede, supõe-se que em uma situação de emergência poderiam ocorrer até 600

transições de variáveis digitais do processo monitoradas em cada CP digital no espaço de 1 minuto. Deste modo, ao fim de 1 minuto, em cada CP, o "array" que armazena os eventos ocorridos estaria com 3600 bytes ocupados. Estes dados deverão então ser enviados para a estação de supervisão quando solicitados. Suponhamos ainda, que a estação de supervisão desejasse ler o valor atual, bem como os últimos valores de todas as variáveis analógicas monitoradas pelo CP analógico, num total de 12 bytes de informação por consulta de leitura de cada variável.

Se considerarmos que cada mensagem de consulta possui o tamanho de 15 bytes e que cada mensagem de resposta está encapsulada por um cabeçalho de também 15 bytes, supondo-se ainda, um tempo para processamento da resposta equivalente ao tempo de 10.000 bits (10 ms a 1 Mbps) durante o qual o canal não é utilizado por ninguém, teremos ao longo de 1 minuto o tempo total de ocupação do canal equivalente a 1.439.168 bits. Isto corresponde a uma taxa de ocupação do canal de aproximadamente 2,4% desconsiderando-se colisões. Como nesta aplicação, somente a estação de supervisão toma a iniciativa de enviar consultas de leitura pela rede e espera a resposta antes de enviar uma nova consulta, não existirão colisões.

Supondo-se agora que, ao invés de utilizar uma técnica de "mestre-escravo" para controlar o fluxo de mensagens, utilize-se uma filosofia de transmissão por contenção, e ainda, que não haja a limitação de tempo de processamento da estação de supervisão, e que o registro de um evento seja enviado pelo CP tão logo a transição seja detectada. Caso ocorram agora 6.000 transições de pontos digitais no espaço de 1 minuto, e ainda que o CP analógico envie o valor atual de suas variáveis analógicas a cada segundo, a carga de entrada I na rede seria de 14,8%. Mesmo

que as colisões que agora ocorrerão dobrem a carga oferecida para a rede, teríamos uma carga oferecida  $G$  de 29.6%. Ainda assim, vê-se pela figura 6.3, que o método de acesso não seria uma limitação para a implementação da sub-rede.

### 6.3.2 Processos: Controle de Demanda

Esta aplicação destina-se à supervisão e controle dinâmico da demanda de energia elétrica contratada por uma indústria de alumínio (ALCAN). O Sistema é composto por 4 CPs que adquirem variáveis do processo de fabricação tais como temperaturas, energia consumida, etc, e controlam o desligamento e o religamento de cargas a fim de que o consumo de energia elétrica não ultrapasse o contratado pela indústria. O Sistema é composto ainda por um microcomputador compatível com IBM-PC onde são programados pelo usuário os parâmetros de consumo e prioridades do processo. Nesta estação são também monitorados alguns estados do processo e são processados os cálculos de otimização a fim de fornecer dinamicamente a cada CP as retas para desligamento das cargas, de modo que o consumo global de energia não ultrapasse a demanda máxima contratada.

O fluxo de mensagens encontrado nesta aplicação consiste na leitura de 4 variáveis do processo a cada segundo em cada CP. Além disso, a cada 7 segundos 1 CP é consultado sobre o valor de 3 variáveis, e, baseado em cálculos de demanda anteriormente realizados, a estação de controle e supervisão envia 4 valores de variáveis para que o CP possa reprogramar as retas de desligamento de cargas.

Utilizando as mesmas considerações feitas anteriormente para as mensagens, ou seja, que cada consulta necessita de uma mensagem de 15 bytes e que cada mensagem de resposta está encapsulada por um cabeçalho de também 15 bytes, e que o tempo para processamento da resposta equivale

ao tempo de 10.000 bits (10 ms a 1 Mbps) durante o qual o canal não é utilizado por ninguém, veremos que o tempo total de ocupação do canal para esta aplicação equivale a 1.435.849 bits em 28 segundos. isto corresponde a uma taxa de ocupação do canal de aproximadamente 5,3% desconsiderando-se colisões. Como neste caso, também é a estação de supervisão e controle quem toma a iniciativa das consultas, esta será a taxa de ocupação real do canal de comunicação.

### 6.3.3 Processo: Supervisão de Máquinas de Trefila

Esta aplicação destina-se a supervisão da operação e produção de um conjunto de máquinas de trefila de uma indústria siderúrgica (GERDAU). O Sistema é composto por 22 CPs de pequeno porte ligados a uma estação de supervisão implementada em um microcomputador compatível com IBM-PC.

A operação do Sistema é bastante simples e destina-se basicamente à obtenção do estado de operação das máquinas. Deste modo, cada CP está conectado a uma trefiladora e detecta paradas da máquina, quebras de arame, troca de bobinas além de contabilizar o total da produção. Estes dados são então enviados para a estação de supervisão onde são exibidos em quadros sinóticos, impressos em relatórios e armazenados em disco.

Supondo que algum problema em uma máquina deva ser registrado pela estação de supervisão no máximo 10 segundos após a ocorrência do problema, então, a cada 10 segundos a estação de supervisão deve consultar as 22 estações. Cada estação é consultada sobre o estado de 6 variáveis do processo.

Utilizando as mesmas considerações feitas para os dois exemplos anteriores, veremos que a ocupação do canal

para esta aplicação equivale a 1.353.792 bits em 10 segundos. Isto corresponde a uma taxa de ocupação do canal de aproximadamente 13,6%. Como neste caso, também é a estação de supervisão quem toma a iniciativa das consultas, esta será a taxa de ocupação real do canal de comunicação.

#### 6.4 Considerações sobre os Exemplos Apresentados

O que pode ser observado nos exemplos práticos apresentados é o estado ainda incipiente no Brasil, das aplicações de automação industrial com interligação dos equipamentos de controle.

Estas aplicações caracterizam-se pelo alto grau de descentralização e independência do controle, ou seja, os equipamentos de controle são fracamente acoplados entre si, realizando tarefas quase que totalmente independentes.

Deste modo, as mensagens não são trocadas entre os equipamentos com o intuito de sincronização dos diferentes processos de aplicação. O fluxo das mensagens é normalmente dirigido à estação de supervisão, que opera como um "mestre" na rede. Geralmente, esta estação opera apenas como interface entre o operador e o processo, fornecendo quadros sinóticos e relatórios, raramente atuando no sentido de sincronizar ou otimizar a produção global em tempo-real, através da transmissão de parâmetros de controle e produção a cada equipamento de controle.

Dado um exemplo genérico para uma aplicação hipotética típica em uma célula de manufatura composta por 32 estações, se cada estação transmitir 2 mensagens por segundo, e cada mensagem possuir 1000 bits, a carga de entrada I na sub-rede será de 6.4%. Mesmo que as colisões que por ventura ocorram, tripliquem a carga oferecida para a rede, pode observar-se pela figura 6.3 que o método de

acesso CSMA/CD ainda ofereceria tempos de resposta menores que os apresentados pelo "token bus".

Pelos exemplos apresentados, pode-se afirmar que estas aplicações mais simples podem ser facilmente atendidas utilizando-se um método de acesso ao meio do tipo CSMA/CD. Além disso, o sentimento adquirido faz supor que a grande maioria das aplicações em células de manufatura e pequenos processos são do mesmo porte, e portanto, poderiam ser suportadas por este método de acesso. Aplicações mais complexas e onde a carga de dados na rede fosse muito alta, deveriam então utilizar um método de acesso determinístico como o "token". Caso o nível de aplicação seja padronizado, o fabricante da placa de comunicação, que poderia ser o próprio fabricante do equipamento de controle, deveria oferecer produtos para cada método de acesso.

Parece então ser bastante conveniente não descartarmos a hipótese de se utilizar um método de acesso mais simples e barato e que é capaz de atender à maioria das aplicações atualmente existentes.

#### **6.5 Imunidade ao Ruído, Distância e Número de Estações**

Quanto à questão da imunidade ao ruído, [ADA 87] expõe que várias indústrias, tais como siderúrgicas, plantas químicas e fabricantes de equipamentos pesados, utilizam redes Ethernet com modulação em banda base, mesmo em áreas eletricamente ruidosas da planta, não enfrentando dificuldades operacionais. O mesmo autor afirma que, em áreas onde precauções se fazem necessárias e o cabo não pode ser desviado por outro caminho, a alternativa encontrada consiste em instalar os cabos em condutores aterrados e isolados ("blindados").

Devido ao fato da modulação em banda base

apresentar menor imunidade ao ruído do que as modulações em banda portadora ("carrierband") e banda larga ("broadband"), deve-se prever a operação da sub-rede com uma taxa de retrasmisões, devido a erros de comunicação, mais elevada, procurando não operar com uma taxa de ocupação do meio muito crítica.

Deve-se também observar um grande cuidado na instalação física do cabo, evitando, sempre que possível, emendas e a passagem por áreas muito ruidosas.

As placas de comunicação CSMA/CD utilizadas podem suportar até 255 estações cobrindo uma distância de até 1 Km utilizando-se cabo coaxial [CET 85]. Estes números demonstram que o número máximo de estações e a distância máxima alcançada pela placa de comunicação suportam os requisitos apresentados na seção 5.2.1.

#### **6.6 Ausência das Camadas 3, 4, 5 e 6 do Modelo OSI e Tratamento de Erros**

As razões que permitem a ausência das camadas 3, 4, 5 e 6 do Modelo OSI no protocolo de comunicação de redes do tipo Mini-MAP já foram expostas na seção 4.5. Basicamente, afirma-se que, como as sub-redes existentes nas células de manufatura são geralmente pequenas, com poucas estações, com mensagens simples e cuja sintaxe é definida (pela RS-511), então os erros não ocorrem com muita frequência e portanto, a segurança da comunicação oferecida pelas diversas camadas, e de modo especial pela camada de transporte, poderia ser dispensada [GRA 86].

Supondo-se que esta afirmativa seja verdadeira, persiste o fato de que a ausência das camadas 3, 4, 5 e 6 do Modelo OSI leva a uma redução na segurança das comunicações dentro da sub-rede e que, pela existência de falhas na

comunicação, mensagens poderão deixar de ser entregues a seu destino.

Deve-se então analisar como são tratadas as falhas de comunicação e qual a influência da ausência da camada de transporte.

Segundo [SWE 86], em um ambiente de tempo-real, uma mensagem deve ser entregue à estação de destino dentro de um intervalo de tempo determinado, denominado tempo de validade da mensagem, compatível com o processo controlado de modo que a estação de destino possa processar a mensagem e em função dela adotar alguma ação de controle. Quando uma mensagem falha em chegar a uma estação de destino ou uma resposta não consegue chegar à estação emissora, algum mecanismo de recuperação deve ser adotado de forma a minimizar as conseqüências desta falha.

A existência da camada de transporte garante que a estação emissora tentará retransmitir a mensagem em algum instante futuro, a fim de entregar a mensagem à estação destino.

No ambiente de tempo-real, esta solução não é efetiva pois, se a mensagem somente for entregue após o tempo de validade da mensagem, esta comunicação terá falhado, podendo as conseqüências serem desastrosas.

No entanto, se o processo de aplicação da estação emissora for informada em tempo hábil da falha na transmissão da mensagem, procedimentos de emergência podem ser adotados, como por exemplo a transmissão de uma ou mais mensagens para outras estações a fim de minimizar os efeitos da impossibilidade do envio da mensagem original. Esta ação pode representar inclusive a parada total do processo.

Deste modo, pode-se afirmar que para uma sub-rede

operando em um ambiente de tempo-real, como o tempo de validade das mensagens é bastante pequeno, a ausência das camadas 3, 4, 5 e 6 do Modelo OSI não prejudica a segurança da comunicação, desde que a estação emissora seja informada dentro de um tempo hábil da falha na transmissão de uma mensagem.

Outra limitação imposta, diz respeito ao tamanho máximo das mensagens de aplicação que neste caso são limitadas pelo tamanho máximo do campo de dados definido pela sub-camada de controle de acesso ao meio. O padrão IEEE 802.4 limita o tamanho máximo deste campo em 8174 octetos [IEE 83], enquanto que no padrão IEEE 802.3 este limite é de 1518 octetos [ANS 85]. Já na placa de comunicação CS-1000PC utilizada, o tamanho máximo de um fragmento de dados não pode exceder a 576 octetos.

Como a maioria das mensagens que transitam na sub-rede descrita são de pequeno tamanho, raramente excedendo os 256 octetos, esta limitação no tamanho máximo das mensagens não afeta significativamente a operação do Sistema.

#### **6.7 Considerações sobre os Serviços MMS Selecionados**

Pelos exemplos apresentados na seção 6.3, pode-se verificar que o conjunto de serviços MMS selecionados para serem implementados atendem satisfatoriamente às aplicações apresentadas, uma vez que a grande maioria das transações são relativas à leitura e escrita em variáveis específicas dos equipamentos de controle.

Na tabela 6.1 é apresentada uma relação dos serviços de comunicação oferecidos nos Controladores Programáveis ALTUS e os seus correspondentes entre os serviços MMS selecionados.

TABELA 6.1 - Comparação entre os serviços oferecidos pela AL-NET e os serviços MMS selecionados.

Serviços AL-NET	Serviços MMS Selecionados
Lê Programa do CP	receiveDownloadSegment
Envia Programa para o CP	transmitUploadSegment
Força um Operando	write
Libera um Relé	-
Libera Todos os Forçamentos	-
Passa p/ o Modo Programação	stop
Monitora um Operando	read (uma variável primit.)
Passa p/ o Modo Ciclado	-
Executa um Ciclo	-
Desabilita Saídas	-
Habilita Saídas	-
Passa p/ Modo Execução	start
Força Posição de Tabela	write (posição de um array)
Monitora Posição de Tabela	read (posição de um array)
Força Bloco de Tabela	write ("array" de inteiros)
Monitora Bloco de Tabela	read ("array" de inteiros)
Lê Imagem Pontos E/S	read ("array" de boolean)
Lê Eventos	read (estrutura)
Transmissão de Hora	write (var. tipo "time")
Le Variáveis Numéricas	read (estrutura)
Leitura de Módulo de Prog.	receiveDownloadSegment
Remoção de Módulo de Prog.	...
Remoção de Todos Módulos	...
Carga Prog. de EPROM p/ RAM	-
Diretório de Módulos	...
Compactar Memória RAM	-
Status do CP	status
Monitorar Vários Operandos	read (várias var. primit.)
Forçar Vários Operandos	write (várias var. primit.)
Carga de Módulo	transmitUploadSegment

Legenda: - - serviço não existente no padrão MMS

... - serviço não selecionado para o protótipo

Note-se que a maioria dos serviços são de escrita ou leitura de variáveis, no entanto, no CP estes serviços são específicos para cada tipo de variável. Por exemplo, o serviço MMS de "write" é dividido entre os serviços de "Força Operando", "Força Vários Operandos", "Força Tabela" e "Transmissão de Hora" no CP, e que correspondem ao serviço de "write" para uma variável primitiva, várias variáveis primitivas, "arrays" e variáveis do tipo horário, respectivamente.

Verificou-se também que existem uma série de serviços que são específicos para equipamentos do tipo CP e que não estão previstos no padrão MMS. Estes serviços

permitted a permanent write in control variables (force an input point of the process for a determined value that is not altered by the real value of the input point, or an output point whose value is not altered by the result of the program processing), disabling of output points (maintain the last value until they are again enabled) and some commands of program memory compacting.

Among the selected services, it was noted the absence of services that could obtain the directory of program control modules, or delete any module already loaded. It was also verified the absence of services that allow operation in cyclic mode. These functions must be implemented through the services of the Functional Unit of Configuration of Loading and Execution Incremental of Job respectively.

In the end, it is suggested the inclusion in the MMS standard of a service of the non-confirmed and high priority type, that would be sent simultaneously to all stations of the sub-network, with the purpose of synchronizing the schedule of all stations to a standard schedule.

#### **6.8 Considerações sobre o Estabelecimento da Associação**

As regards the aspect of the necessity of the establishment of a context among the applications, it is verified that, as the associations among the stations in the sub-network are basically of permanent character, the establishment of the association among the communicating processes must be done immediately after the beginning of the operations of the system through the "initiate" service of the MMS, and maintained throughout the operation. Besides this, whenever a station is reconnected or a new station is added to

sub-rede, ela deve tomar a iniciativa de estabelecer todas as associações de aplicação necessárias.

O estabelecimento do contexto mostra-se necessário principalmente quando a comunicação se dá entre equipamentos heterogêneos ou de fabricantes diversos a fim de que as diversas aplicações comunicantes possam tomar conhecimento das características e configurações estabelecidas pela implementação do protocolo em cada estação.

Como o estabelecimento do contexto se dá geralmente apenas no início da operação do sistema, e como as camadas inferiores utilizadas não são orientadas à conexão, o tempo de resposta das mensagens de aplicação não é prejudicado. Porém, a cada troca de mensagens, deve-se verificar se a associação já foi estabelecida anteriormente.

Para aplicações em tempo-real, sugere-se a existência de certos serviços padronizados que, em situações de emergência poderiam ser enviados independentemente da existência ou não da associação estar estabelecida entre a estação emissora e a destinatária. Esta idéia é sugerida também em [SWE 86].

Quanto aos serviços para finalização da conexão, nas aplicações em células de manufatura eles raramente são utilizados devido ao caráter permanente das associações.

#### **6.9 Interligação a uma rede MAP**

Quanto ao aspecto de interligação futura da célula de manufatura a uma linha tronco MAP, pode-se avaliar em linhas gerais, as características necessárias e a carga de trabalho para a implementação deste conversor ("gateway").

O equipamento para implementação do conversor

necessita: uma placa de comunicação CETUS para se comunicar com a sub-rede; e uma placa de comunicação MAP que implemente, ao menos, a sub-camada de controle de acesso a meio. Além disso, em função do porte do equipamento, ele deverá ser alocado exclusivamente para a função de interligação entre as redes. O porte mínimo do equipamento capaz de suportar esta implementação está na faixa de um computador do tipo IBM-PC AT já que ele suporta mais de 1 Mbyte de memória e possui um processador mais poderoso e rápido que os disponíveis nos IBM-PC XT.

A tarefa básica realizada pelo conversor consiste em detectar na sub-rede mensagens destinadas às estações que não se encontram na sub-rede, apropriando-se da mensagem de aplicação. Como a sintaxe e a semântica da mensagem de aplicação é comum tanto à sub-rede como à rede MAP, a tarefa seguinte do conversor é enviar a mensagem de aplicação utilizando os serviços das camadas de sessão, transporte, rede, enlace e físico do protocolo MAP completo.

No sentido inverso, o conversor deve ser capaz de detectar as mensagens da rede MAP cujo endereço de destino seja o de alguma estação presente na sub-rede. Quando de posse da mensagem de aplicação, o conversor deve tratar de enviá-la utilizando-se da placa de comunicação CETUS, através da sub-rede até a estação destinatária.

A implementação deste conversor não é tarefa trivial visto que deve-se implementar todas as camadas definidas no padrão MAP, no entanto, devido ao fato da sintaxe e semântica das mensagens de aplicação serem comuns nas duas redes, o esforço dispendido na implementação e o tempo adicional de processamento imposto pelo conversor é bastante menor, o que significa tempos de resposta menores se compararmos com a implementação do mesmo conversor para um protocolo proprietário.

### 6.10 Medição dos Tempos Obtidos no Protótipo

Um dos fatores mais importantes para que se avalie a aplicabilidade da arquitetura proposta, é a medição e análise dos tempos de execução das rotinas implementadas. Isto permite avaliar se as simplificações introduzidas são suficientes para viabilizar a utilização da arquitetura em ambiente de tempo-real de uma célula de manufatura.

As medições dos tempos são feitas através de leituras do "contador de relógio" da BIOS do IBM PC. Este contador possui uma frequência de contagem de aproximadamente 18,2 Hz, ou seja, ele é incrementado a cada 55 ms aproximadamente [NOR 85]. Como as rotinas têm um tempo de execução bastante inferior a este, as medições só podem ser feitas pela execução, repetidas vezes, da rotina a ser testada, dividindo-se então o tempo total obtido pelo número de repetições efetuadas. Os tempos de execução de alguns dos principais módulos e procedimentos medidos no protótipo podem ser vistos na tabela 6.2.

Primeiramente, mediu-se o tempo consumido para o envio de um pacote pela placa de comunicação CETUS, com a finalidade de levantamento do tempo consumido pelo "firmware" da placa.

Na primeira experiência realizada, os pacotes eram enviados sem a opção de reconhecimento (ACK/NACK) pela placa receptora. Isto evitava o tráfego adicional e o "overhead" resultante do processamento e espera pela mensagem de reconhecimento. assumia-se que, se um pacote era transmitido com sucesso, então sua recepção também havia sido bem sucedida. Utilizando estas opções, os tempos de transmissão obtidos para pacotes de 256 bytes foram de aproximadamente 8,5 ms.

Numa segunda etapa, a fim de obter-se uma segurança adicional nas comunicações, optou-se pela transmissão de pacotes com reconhecimento pela placa receptora. Nesta segunda experiência, os tempos de transmissão obtidos para pacotes de 256 bytes foram de aproximadamente 9,5 ms, o que pode ser considerado um "overhead" aceitável pela segurança adicional obtida.

Um dado bastante interessante, obtido nesta segunda experiência, foi o fato de que o "firmware" da placa de comunicação não era suficientemente rápido para fazer o tratamento dos pacotes que chegavam continuamente. Assim, quando a estação transmissora enviava continuamente, através da placa de comunicação, 20 pacotes, em média 15% destes não eram reconhecidos pela placa de comunicação receptora que enviava NACKs como resposta. Caso o número de pacotes transmitidos continuamente aumentasse para 1000, o número de pacotes não reconhecidos aumentava para 60%.

A seguir, procedeu-se à medição dos tempos de execução dos sub-módulos Montador e Desmontador. Para esta medição foram tomados dois casos de montagem/desmontagem de PDUs, o serviço de montagem/desmontagem mais complexa e um serviço típico.

No SMM, tomou-se como o pior caso, a montagem de uma PDU de "request" do serviço "write" para escrita de variáveis em "array" de uma estação remota. A montagem da PDU deste serviço, considerando-se a escrita de 5 posições do "array" consome um tempo de processamento de aproximadamente 3,5 ms. Um caso típico foi considerado a montagem da PDU de "request" do serviço de "read" para leitura do valor de uma variável em uma estação remota. A montagem da PDU deste serviço, considerando-se a leitura de uma variável do tipo inteiro ("INTEGER"), consome um tempo

de processamento de aproximadamente 2 ms.

No SMD os mesmos casos foram tomados para medição, e os resultados obtidos indicaram um tempo de processamento para a desmontagem da PDU de "request" do serviço "write" de aproximadamente 5.5 ms. A desmontagem da PDU de "request" do serviço de "read" especificado no parágrafo anterior foi de aproximadamente 4.5 ms.

O Sub-módulo MPM apresentou um tempo de processamento, consumido para atualização do estado da associação, acesso e manipulação das estruturas de dados TRP e TRC, de aproximadamente 2 ms.

Quanto ao tempo de execução de alguns serviços MMS implementados, foram medidos os tempos de processamento dos serviços de "read" e "write", por serem os serviços mais freqüentemente utilizados na troca de mensagens entre as estações de uma célula de manufatura.

Os diferentes tipos, formas de acesso e descrição das variáveis, faz com que a execução de serviços como "read" e "write" apresentem tempos de processamento bastante variáveis. Assim, a execução do serviço de "read" para a leitura de uma variável remota do tipo inteiro, com especificação do endereço desta variável, consome um tempo de processamento de aproximadamente 4 ms; enquanto a execução deste mesmo serviço para a leitura de 5 posições de um "array" de inteiros, com especificação do endereço inicial do "array", consome um tempo de processamento de aproximadamente 6,5 ms.

Do mesmo modo, a execução do serviço de "write" para escrita em uma variável remota consome um tempo de processamento que varia entre 5 e 7 ms.

Finalmente, os procedimentos considerados

auxiliares, referentes à alocação e gerenciamento de BCRs, escalonamento dos processos, salvamento e recuperação de contextos, etc., consomem um tempo de processamento que varia entre 5 e 8 ms aproximadamente.

Somando-se os tempos de processamento obtidos, pode-se verificar que para uma comunicação entre duas estações remotas, o tempo de resposta para o serviço de "write", tomando-se sempre o maior tempo de processamento medido em cada rotina, seria de aproximadamente 64 ms, computando-se af: 2 transmissões de pacotes, 1 montagem de PDU de "write.request", 1 demontagem de PDU de "write.request", 2 execuções do Sub-módulo MPPM, 2 execuções das rotinas auxiliares, 1 execução do serviço de "write", 1 montagem de PDU de "write.response" e 1 montagem de PDU de "write.response".

Analisando-se o valor de tempo de resposta obtido, vê-se que ele está dentro do intervalo aceitável para os tempos de resposta apresentados nos requisitos de comunicação típicos da seção 5.2.1.

Quanto ao tempo de processamento consumido pelo computador em tarefas relacionadas à comunicação, tais como: montagem/desmontagem; gerenciamento da máquina de estados e manipulação das estruturas de dados e BCRs; vê-se que este tempo pode atingir valores da ordem de 15 a 20 ms, o que torna altamente desejável que estas tarefas sejam executadas em um Sub-sistema de Comunicação (SSCOM), liberando este tempo para que a CPU execute tarefas relacionadas ao controle do processo que está sendo automatizado.

TABELA 6.2 - Tempos de execução

medidos no protótipo.	
Procedimento/módulo	Tempo (ms)
Transmissão (s/ ACK)	8,5
Transmissão (c/ ACK)	9,5
Montagem	2 - 3,5
Desmontagem	4,5 - 5,5
MPPM	2
Auxiliares	5 - 8
Serviço "read"	4 - 6,5
Serviço "write"	5 - 7

#### 6.11 Considerações sobre Custos

Um aspecto bastante interessante de ser analisado, diz respeito ao levantamento dos custos das diversas alternativas e sistemas disponíveis para a implementação da sub-rede de comunicação.

Basicamente, o custo do Sub-sistema de Comunicação deve ser compatível com o custo dos equipamentos de controle que serão interconectados. Se o custo de US\$ 25.000 por um nodo de comunicação MAP completo é compatível com o custo de um robô ou de um CNC (aproximadamente US\$ 25.000 um CNC DESTRO de 4 eixos com configuração básica da ALTUS), este custo é desproporcional ao custo de um sensor inteligente, ou de um CP de pequeno-médio porte (aproximadamente US\$ 5.000 um CP AL-1000 com 128 pontos de entrada/saída da ALTUS).

No caso da alternativa Mini-MAP, os custos de comunicação tornam-se bem mais compatíveis em relação ao custo do equipamento de controle. Assim, o hardware de uma placa de comunicação MAP da Intel, com as camadas 1 e 2 implementadas em hardware e transmissão em banda larga (SBC5541 - MAP COMMUNICATION ENGINE), custa US\$ 3.562 [INT 87] e [INT 86], enquanto que, utilizando-se a transmissão em banda portadora, uma placa semelhante da Concord Communications Inc., custa US\$ 2.695 [LAD 86].

Estes preços são ainda elevados se comparados com o custo de placas de comunicação CSMA/CD. Uma placa de comunicação CSMA/CD da Intel, que implementa até a camada de transporte (ISO 8073 Classe 4) custa US\$ 1.720 (ETHERNET - 802.3 - BSD SNGL BOARD TRANSPORT ENGINE) [INT 87] e [INT 86]. Preços semelhantes foram encontrados para as placas de comunicação CSMA/CD comercialmente disponíveis no mercado nacional (CETUS e AMPLUS), cujo preço varia de US\$ 1.650 a US\$ 1.800.

Também os circuitos integrados ("chips") que implementam os diferentes métodos de acesso apresentam uma relação de custos semelhantes. Enquanto o custo de um "chip" que implementa o método de acesso CSMA/CD varia de US\$ 42,30 até US\$ 90,00 (Intel CB2586 6 e 10 MHz LAN COPROC ETHERNET), um "chip" que implementa o método de acesso "token bus" custa de US\$ 77,00 a US\$ 140,85 (Motorola MC68824RC10 e MC68824R16).

Os preços superiores das placas de comunicação e "chips" MAP/"token bus" são justificados em parte pela maior complexidade da modulação em banda portadora ou banda larga, se comparada com a modulação em banda base do CSMA/CD; e em parte pelo algoritmo do método de acesso ser mais complexo e menos difundido. No entanto, acredita-se que este preço venha a se reduzir a medida em que o método for popularizado e os padrões para comunicação no ambiente industrial forem se afirmando e sendo difundidos a nível mundial.

## 7 CONCLUSÕES

Este trabalho descreve os aspectos relativos à análise, projeto e implementação de redes de comunicação de dados em ambientes industriais.

A crescente automação dos setores industriais exige, cada vez mais, a interligação de equipamentos de diferentes fabricantes, do tipo computadores, impressoras, terminais, mini e microcomputadores, controladores programáveis, controles numéricos computadorizados e robôs. Portanto, a existência de uma rede de comunicação é fator essencial para se obter um ambiente de Manufatura Integrada por Computador ("CIM").

No estudo dos ambientes industriais, a modelagem segundo um conceito de controle hierárquico permite decompor de forma clara a estrutura organizacional. Deste modo, pode-se analisar mais facilmente as características operacionais de cada setor, bem como as inter-relações entre eles, levantando assim, os parâmetros de comunicação característicos de cada nível.

Observa-se que os diferentes níveis hierárquicos apresentam parâmetros de comunicação distintos e muitas vezes "concorrentes", o que dificulta a seleção de uma rede de comunicação capaz de suportar simultaneamente a todos estes requisitos.

A solução apontada então, é a adoção de sub-redes que atendam aos requisitos específicos de cada nível ou setor, atentando-se para o fato de que estas sub-redes devem poder se comunicar entre si através de uma linha tronco, utilizando pontes, roteadores ou conversores.

Mesmo com a existência de uma diversidade de sub-redes, com diferentes características, é primordial que

existam padrões específicos e bem definidos para cada tipo de sub-rede e para a linha tronco, de modo que a interconexão de equipamentos dentro de uma sub-rede e das sub-redes com a linha tronco seja uma tarefa tão harmoniosa e precisa quanto possível.

O conjunto de protocolos MAP/TOP parece ser a melhor solução atualmente disponível como padrão para a linha tronco que interliga todos os setores e níveis da organização industrial, no entanto, sua aplicabilidade nos níveis inferiores da hierarquia de controle, dentro do setor de produção da fábrica, por exemplo, pode ser questionada, seja pelo alto custo e complexidade dos equipamentos de comunicação, seja pelo "overhead" apresentado. A implementação do padrão MAP em todos os níveis de controle só se tornará viável à medida que os protocolos das camadas superiores do Modelo de Referência OSI forem sendo implementados em hardware, como hoje já acontece com as camadas 1 e 2.

Dentre as propostas de padronização atualmente existentes, o Mini-MAP mostra-se o padrão mais adequado para ser implementado no nível de controle direto do maquinário em células de manufatura ou fábricas de pequeno porte.

Ao procurar-se implementar um protótipo do padrão Mini-MAP, uma série de dificuldades foram encontradas e diversas simplificações foram feitas.

Entre as dificuldades, podemos citar: a documentação e as normas MAP e EIA-RS 511 disponíveis são de difícil compreensão e estão escritas de forma descritiva, sem a utilização de uma linguagem de especificação formal; a utilização de um sistema operacional multi-tarefa com documentação escassa iria requerer grande esforço de aprendizado e o "driver" de acesso a placa de comunicação já

fornecido, teria de ser reescrito; a impossibilidade de se contar com placas de comunicação "token bus", o que levou à busca de soluções alternativas; e a pequena equipe de trabalho disponível para auxiliar nas tarefas de projeto e implementação, o que impediu que todos os serviços propostos para o protótipo fossem implementados.

Das simplificações introduzidas, a utilização de um método de acesso não-determinístico não representa limitação na grande maioria das aplicações, desde que seja bem conhecida a carga de entrada de mensagens na rede e que esta carga seja suficientemente baixa. Para a linha tronco, no entanto, a utilização de um método de acesso como o "token bus" é altamente desejável, já que em condições de grande tráfego, um método de acesso por contenção, como o CSMA/CD, não se mostra adequado.

As outras simplificações introduzidas, apesar de limitarem o desempenho do protótipo, permitiram responder as perguntas formuladas no momento da avaliação. Assim, pode-se afirmar que a implementação proposta é capaz de atender os requisitos típicos das aplicações em células de manufatura.

Quanto ao método de transmissão, a fibra ótica tende a ser, em pouco tempo, o método de transmissão ideal para os ambientes industriais, devido às altas taxas de transmissão que ele pode suportar e a sua imunidade ao ruído. Devendo ser introduzido na especificação MAP tão logo um padrão esteja disponível e consolidado.

Várias extensões futuras podem ser sugeridas para complementação e prosseguimento deste trabalho, entre elas podemos citar: o projeto de placas de comunicação "token bus", com a finalidade de atender-se novas aplicações e iniciar-se trabalhos no sentido da implementação de um protocolo MAP completo para a linha tronco; a implementação

utilizando um sistema operacional multi-tarefa, de modo que, vários processos de aplicação possam ser atendidos em uma estação de supervisão; também pode-se sugerir a implementação de novos serviços MMS; e finalmente o projeto e desenvolvimento a nível industrial, de um Sub-sistema de Comunicação conectado a equipamentos de controle como controladores programáveis e controles numéricos computadorizados. De grande utilidade seria também o estudo e a implementação de simuladores ou algoritmos que, de forma simples, permitissem ao usuário conhecer o comportamento e as características da sua rede de comunicação em função dos diferentes métodos de acesso utilizados.

Em termos práticos, a substituição dos protocolos proprietários e a utilização de padrões pelos fabricantes de equipamentos de controle em seus produtos, transcende às questões acadêmicas e tecnológicas, mas é guiada principalmente por questões políticas. Deste modo, é bastante comum fabricantes de controladores programáveis divulgarem que seus produtos são ou serão compatíveis com o MAP. No entanto, quase não existem informações sobre o nível de compatibilidade ou trabalhos publicados que descrevam estas implementações, com as dificuldades e soluções encontradas. Além disso, é muito divulgada a idéia de que o MAP seria a panacéia capaz de resolver todos os problemas de integração da manufatura em todos os níveis da organização industrial. Talvez isto seja uma realidade para uma empresa do porte da General Motors, no entanto, o que serve para a GM não necessariamente é a melhor solução para todas as outras indústrias.

Este trabalho não tem a pretensão de propor ou implementar um padrão para sub-redes de células de manufatura, mas sim, objetiva reunir uma "massa crítica" de

conhecimentos e experiências sobre um assunto extremamente atual, que permita analisar de forma crítica e auxiliar em futuros desenvolvimentos, de todos os aspectos relacionados a esta área no Brasil.

## BIBLIOGRAFIA

- [AAU 85] A AUTOMAÇÃO conquista seu espaço. Máquinas e metais, São Paulo, 22(240):14-30, out. 1985.
- [ADA 87] ADAMS, W.M. & GEOFFREY, J.T. DECnet/Ethernet: today and tomorrow on the plant floor. Control engineering, New York, 34(11):32-5, Oct. 1987.
- [ANG 87] ANG, C.L. Technical planning of factory data communication systems. Computers in industry, Amsterdam, 2(2):93-105, Oct. 1987.
- [ANS 85] ANSI/IEEE. Std 802.3-1985. Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications. New York, IEEE, 1985.
- [BAB 87a] BABB, M. Anything wrong with asking questions? Control engineering, New York, 34(6):13, June 1987.
- [BAB 87b] BABB, M. Networking requires a range of solutions. Control engineering, New York, 34(11):13, Oct. 1987.
- [BAL 85] BALPH, T.J. Carrier bands get nod for industrial networks. Phoenix, Motorola, 1985. (AR 148).
- [BAR 61] BARBIER, P. Organización industrial. Barcelona, Marcombo S.A., 1961.
- [BAR 85] BARTIK, J. MAP: a user revolt for standards. Data communications, New York, 14(13):147-56, Dec. 1985.

- [BET 77] BETHEL, L. et alli. Organização e administração industriais. São Paulo, Pioneira, 1977.
- [BLI 84] BLICKLEY, G.J. New developments in distributed process control systems. Control engineering, New York, 31(11):102-6, Oct. 1984.
- [BUX 81] BUX, W. Local area subnetworks: a performance comparison. IEEE transactions on communications, New York, 29(10):1465-73, Oct. 1981.
- [CET 85] CETUS SA. Manual do sistema. Rio de Janeiro, 1985.
- [CRO 85] CROWDER, R.S. The MAP specification. Control engineering, New York, 32(11):22-5, Oct. 1985.
- [CRO 86] CROWDER, R.S. A MAP/TOP specification update. Control engineering, New York, 33(11):18-9, Oct. 1986.
- [DAY 83] DAY, J.D. & ZIMMERMANN, H. The OSI reference model. Proceedings of the IEEE, New York, Z1(12):1334-40, Dec. 1983.
- [DIC 83] DICKSON, G. & CHAZAL, P. Status of CCITT description techniques and application to protocol specification. Proceedings of the IEEE, New York, Z1(12):1346-55, Dec. 1983.
- [DIL 83] DILLMANN, R. Modular computer controls for manufacturing equipment. In: REMBOLD, U. & DILLMANN, R. Methods and tools for computer integrated manufacturing. Berlin, Springer-Verlag, 1983. p.267-328.

- [EIA 86] EIA RS-511. Proposed american national standard. Manufacturing message for bidirectional transfer of digitally encoded information. Draft 5, Jun, 1986.
- [FOL 86] FOLEY, J.S. & WEON-YOON, Y. The current status of MAP. Computer communication review, New York, 16(3):6-12, Aug. 1986.
- [GAL 85] GALLAGHER, M. Low cost networking for island of automation. Phoenix, Motorola, 1985. (AR 151).
- [GEN 86] GENERAL MOTORS. MANUFACTURING AUTOMATION PROTOCOL, Versões 2.1 e 2.2. A communications network protocol for open systems interconnection. Warren, Mi, 1986. iv.
- [GOM 86] GOMIDE, F.A. de C. & NETTO, M.L de A. Introdução à automação industrial informatizada. Argentina, Kapelusz/EBAI, 1986.
- [GRA 86] GRAUBE, M. The carrier band network and mini-MAP: low-cost solutions. Control engineering, New York, 33(11):30-1, Oct. 1986.
- [HAG 86] HAGAR Jr., M.L. The RS-511 manufacturing messaging service nears reality for layer seven. Control engineering, New York, 33(11):32-4, Oct. 1986.
- [HEI 64] HEILBRONER, R.L. A formação da sociedade econômica. Rio de Janeiro, Zahar, 1964.

- [HER 85] HERBST, B. et alli. How to plan for - and implement - a MAP network in your plant. Control engineering, New York, 32(11):62-4, Oct. 1985.
- [IEE 83] IEEE. IEEE P802.4/83/80. Token-passing bus access method and physical layer specifications = draft E. IEEE, 1983.
- [INT 86] INTEL. Microcommunications Handbook. Santa Clara, CA, Intel Corporation, 1986.
- [INT 87] INTEL. Intel price list. Santa Clara, CA, Intel Corporation, 1987.
- [ISO 82] ISO 7498. Information processing systems = open systems interconnection = basic reference model. International Standards Organization, ISO 7498, 1982.
- [ISO 85a] ISO 8824. Information processing = open systems interconnection = specification of abstract syntax notation one (ASN.1). International standards organization, ISO/DIS 8824, 1985.
- [ISO 85b] ISO 8825. Information processing = open systems interconnection = rules for abstract syntax notation one (ASN.1). International standards organization, ISO/DIS 8825, 1985.
- [JAC 75] JACKSON, M.A. Principles of program design. London, Academic press, 1975.
- [KAM 86] KAMINSKI Jr., M.A. Protocols for communicating in the factory. IEEE spectrum, New York, 23(4):56-62, Apr. 1986.

- [KLE 86] KLEIN, M. & BALPH, T. Carrierband is low cost, single-channel solution for MAP. *Computer design*, Littleton, 25(3):69-73, Feb. 1986.
- [LAD 86] LADUZINSKY, A.J. Movement around MAP continues to accelerate. *Control engineering*, New York, 33(11):16-7, Oct. 1986.
- [LAM 80] LAM, S.S. A carrier sense multiple access protocol for local networks. *Computer networks*, Amsterdam, 4(1):21-32, Feb. 1980.
- [LEI 87] LEITE, J.R.E.; MENDES, M.J.; MAGALHÃES, M.F. Protocolos de aplicação em redes locais de computadores na automação industrial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDE DE COMPUTADORES, 5, São Paulo, abril, 1987. Anais. São Paulo, SBC, 1987. p.1-20.
- [LIN 83] LININGTON, P.F. Fundamentals of the layer service definitions and protocol specifications. *Proceedings of the IEEE*, New York, 71(12):1341-45, Dec. 1983.
- [MAU 86] MAUS, R. & ALLSUP, R. *Robotics: a manager's guide*. New York, Wiley, 1986.
- [McG 85] MCGARRY, S.L. Networking has a job to do in the factory. *Data communications*, New York, 14(2):119-28, Feb. 1985.
- [MEN 86] MENDES, M.J. Redes locais de comunicação em ambiente industrial. In: SEMINÁRIO DE COMANDO NUMÉRICO NO BRASIL, 6, São Paulo, 12-14 agosto, 1986. Anais. São Paulo, SOBRACON, 1986. p.17.01-17.26.

- [MEN 87] MENDES, M.J. & MAGALHÃES, M. Redes locais industriais e o projeto de padronização MAP/TOP. SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, Florianópolis, 23 julho, 1987. Anais. Florianópolis, UFSC, 1987. p.19-45.
- [MER 86] MERRICK, M.A. & GORDON, M.E. MAP and the process industries. Control engineering, New York, 33(11):26-7, Oct. 1986.
- [MET 76] METCALFE, R.M. & BOGGS, D.R. Ethernet: distributed packet switching for local computer networks. Communications of the ACM, New York, 19(7):395-403, Jul. 1976.
- [MEN 84] MENASCÉ, D.A. & SCHWABE, D. Redes de computadores = aspectos técnicos e operacionais. Rio de Janeiro, Campus, 1984.
- [MOK 86] MOKHOFF, N. Vendors and users unite on data communications standards. Computer design, New York, 25(8):32-4, Apr. 1986.
- [MOR 77] MORRIS, D.J. Error Control. Introduction to communication, command and control systems. Oxford, Pergamon, 1977. cap.12, p.233-66.
- [MOU 86] MOURA, J.A.B. et alli. Redes locais de computadores: protocolos de alto nível e avaliação de desempenho. São Paulo, McGraw-Hill/EMBRATEL, 1986.
- [NOR 85] NORTON, P. The Peter Norton programmer's guide to the IBM PC. Washington, Microsoft Press, 1985. cap.12.

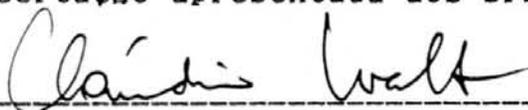
- [PER 84] PEREIRA F., J.C. Sistemas de computação e seu uso. In: PEREIRA F., J.C. Computadores para usuários. v.1. Rio de Janeiro, Campus, 1984. p.19-86.
- [POO 87] POO, G.S. & TAN, T.S. Performance characteristics of a broadband PC LAN: an experimental study. Computer communications, New York, 10(5):243-9, Oct. 1987.
- [PRI 81] PRINCE, S.M. & SLOMAN, M.S. Communication requirements of a distributed control system. IEE proceedings E - computers and digital techniques, London, 128(1)partE:21-36, Jan. 1981.
- [SAC 86] SACHS, S.R. Investigação de performance de uma tecnologia de rede local através de modelagem e simulação incremental. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, 1986. (Dissertação de mestrado)
- [SAR 87] SARACCO, R. & TILANUS, P.A.J. CCITT SDL: overview of the language and its applications. Computer networks and ISDN systems, Amsterdam, 13(2):65-74. Feb. 1987.
- [SER 85] SERPRO. Glossário de termos técnicos em processamento de dados. Brasília, SERPRO, 1985.
- [SHA 87] SHAPIRO, S.F. Industrial networks wrestle with standards. Computer Design, Littleton, 26(14):42-9, Aug. 1987.
- [SIP 76] SIPLL, C.J. Data communications dictionary. New York, Van Nostrand Reinhold, 1976.

- [STA 85] STALLINGS, W. Data and computer communications. New York, Macmillan, 1985.
- [SWE 86] SWEETON, D.C. Using RS-511 to meet the requirements of real-time communications in the factory. Control engineering, New York, 33(12):111-2, Nov. 1986.
- [TAK 85] TAKAGI, H. & KLEINROCK, L. Throughput analysis for persistent CSMA systems. IEEE transactions on communications, New York, 33(7):627-38, Jul. 1985.
- [TAR 77] TAROUÇO, L.M.R. Redes de comunicação de dados. Rio de Janeiro, Livros técnicos e científicos 1977.
- [TEC 80] TECHO, R. Data communications = an introduction to concepts and design. New York, Plenum, 1980.
- [TOB 80] TOBAGI, F.A. & HUNT, V.B. Performance analysis of carrier sense multiple access with collision detection. Computer networks, Amsterdam, 4(5):245-60, Oct/Nov. 1980.
- [WAL 85] WALDMAN, H. Dictionary of robotics. New York, Macmillan, 1985.
- [YOS 79] YOSHII, S. & KURODA, S. A distributed control system - concept and architecture. In: HARRISON, T.J. Distributed computer control systems. Oxford, Pergamon/IFAC, 1979. p.53-63.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Pós-Graduação em Ciência da Computação

Redes de comunicação de  
dados em ambiente industrial

Dissertação apresentada aos Srs.



Prof. Claudio Walter



Profa. Liane Margarida R. Tarouco



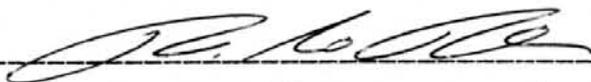
Eng. Luiz Francisco Gerbase

Prof. Paulo Henrique de Aguiar Rodrigues

Visto e permitida a impressão  
Porto Alegre, .22../.02../90...



Profa. Liane M. R. Tarouco  
Orientadora



Profa. Ingrid E. S. Jansch Pôrto  
Coordenadora do Curso de Pós-Graduação  
em Ciência da Computação