

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PADRONIZAÇÃO E INTERAÇÃO DAS UNIDADES DE
FABRICAÇÃO, INSPEÇÃO E MANIPULAÇÃO DE UMA
CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM ENGENHARIA MECÂNICA

HERMAN AUGUSTO LEPIKSON

FLORIANÓPOLIS, ABRIL DE 1990

PADRONIZAÇÃO E INTERAÇÃO DAS UNIDADES DE
FABRICAÇÃO, INSPEÇÃO E MANIPULAÇÃO DE UMA
CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

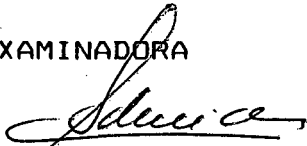
HERMAN AUGUSTO LEPIKSON

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
METROLOGIA E AUTOMAÇÃO, E APROVADA EM SUA FORMA FINAL
PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

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

PROF. ARNO BLASS, PH.D. - COORDENADOR

BANCA EXAMINADORA



PROF. CARLOS ALBERTO SCHNEIDER, DR. ING. - PRESIDENTE



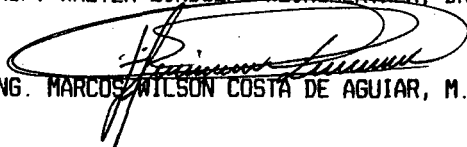
PROF. AUREO CAMPOS FERREIRA, PH.D



PROF. JEAN MARIE FARINES, DR. ING.



PROF. WALTER LINDOLEO WEINGAERTNER, DR. ING.



ENG. MARCOS WILSON COSTA DE AGUIAR, M.ENG.

AGRADECIMENTOS

A elaboração de uma dissertação, apesar de parecer um trabalho solitário, definitivamente não o é. Seria uma injustiça creditar os resultados a somente quem o assina. Certamente, se este trabalho teve êxito, deveu-se à valiosa colaboração e dedicação de muitas pessoas que merecem aqui ser lembradas:

A começar pela minha família, Fátima, Pedro Augusto, Alexandra e João Augusto: só eles sabem o quanto lhes custou vir de tão longe e aqui só ter encontrado a minha ausência.

O professor Carlos Alberto Schneider, orientador das horas certas e incertas, das noites e fins de semana, pelo seu apoio, segurança e exemplo.

A UFBA, em particular os colegas do Departamento de Engenharia Mecânica, e a CAPES, que assumiram o ônus da ausência e da sustentação financeira.

As várias pessoas que provaram a sua amizade dedicando-se a estudar, digitar, desenhar, corrigir, sugerir. Em ordem alfabética: Gladis, Janete, Koji, Maria Alice, Neiva, Olga.

Os colegas que gastaram tantas horas discutindo, estudando juntos, criticando, revendo textos e estimulando: particularmente o José Arnaldo e o Alexandre, que acompanharam de perto, desde o início, este trabalho.

A todos estes, e aqueles que não foram citados, mas não foram esquecidos, dedico a esperança de que este trabalho não tenha sido em vão, e de que bons frutos venham a ser colhidos dele.

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
GLOSSÁRIO	iv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 A MANUFATURA INTEGRADA POR COMPUTADOR (CIM) E O CONTEXTO DE CHÃO DE FÁBRICA	2
1.2 DEFINIÇÕES	7
1.2.1 Peças	8
1.2.2 Unidade	9
1.2.3 FMC e FMS	11
1.2.4 CAM	14
1.2.5 CAQ	15
1.2.6 CIM	15
1.3 AS CÉLULAS/SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMC/FMS)	16
1.3.1 Taxonomia das FMC'S para usinagem	18
1.4 PROPOSTA DE TRABALHO	19
1.4.1 Objetivos	21
1.4.2 Estrutura e Metodologia	21
2. INTERAÇÃO E PADRONIZAÇÃO EM FMC'S	23
2.1 INTEGRAÇÃO E INTERAÇÃO	23
2.1.1 A Manufatura Inteligente	25
2.1.2 Controle Inteligente-Implementação	29
2.2 PADRONIZAÇÃO	30
2.2.1 Necessidades	32
2.2.2 Interação e Padronização em FMC's-Objetivos	34
3. ASPECTOS CONTEXTUAIS	36
3.1 PROJETO E ENGENHARIA	37
3.1.1 Os Esforços de Padronização	40
3.2 PLANEJAMENTO: PRODUÇÃO E PROCESSO	42
3.2.1 CAP/CAPP	42
3.2.2 Tecnologia de Grupo (GT)	47
3.2.3 Integração CAD-GT-CAPP	50
3.2.4 O Projeto STEP	51
3.3 AS PEÇAS	55
3.3.1 Materiais	56
3.3.2 Peças a Processar	56
3.3.3 Manipulação, Transporte e Operações Especiais	58
3.4 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	59
3.4.1 Perfil da Mão de Obra	60
3.4.2 Segurança nas FMC's	63
3.4.3 A Integridade Humana em FMC's	64
4. ASPECTOS FÍSICOS	68
4.1 O CONCEITO DE MODULARIDADE	69
4.2 UNIDADE DE FABRICAÇÃO (MfU)	71
4.2.1 Máquinas-Ferramentas	72
4.2.2 Ferramentas e Suportes	74
4.2.3 Dispositivos de Fixação	77

4.3	UNIDADE DE MANIPULAÇÃO E TRANSPORTE (THU)	86
4.3.1	A Estratégia Gradual	88
4.3.2	Soluções Padronizáveis e Modulares para as Interfaces	89
4.3.3	Movimentação de Ferramentas	98
4.4	UNIDADE DE INSPEÇÃO (IpU)	101
4.4.1	Tecnologia de Inspeção	102
4.4.2	A Inspeção de Peças	105
4.4.3	A Inspeção de Ferramentas	108
4.4.4	O Posicionamento de Dispositivos/Peças	113
4.5	UNIDADE DE IDENTIFICAÇÃO (IdU)	115
5.	ASPECTOS OPERACIONAIS	122
5.1	CONTROLE	123
5.1.1	Organização de uma Estrutura de Controle	124
5.1.2	Aspectos de Tempo Real	127
5.1.3	O Conceito de Memória Compartilha	128
5.1.4	Gerenciamento da FMC	131
5.2	BASES DE DADOS (DB)	131
5.2.1	DB para Manufatura: Características e Requisitos	133
5.2.2	Características Estruturais das DB para FMS	135
5.2.3	Características Organizacionais	136
5.2.4	Estrutura da Distribuição dos Arquivos	143
5.3	O AMBIENTE DE SOFTWARE	145
5.3.1	Serviços de Informação	145
5.3.2	Sistema Operacional (OS)	147
5.4	PROGRAMAS DE COMANDO NUMÉRICO (NC)	150
5.4.1	Fase de Planejamento	151
5.4.2	Fase de Execução	154
6.	ASPECTOS DE COMUNICAÇÃO	156
6.1	NECESSIDADES DE COMUNICAÇÃO DAS FMC'S INTELIGENTES	156
6.2	ALTERNATIVAS DE LAN'S: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	159
6.3	ANÁLISE DAS PROPOSTAS DE LAN'S	162
6.4	ADEQUAÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES ÀS NECESSIDADES DAS FMC'S	164
6.4.1	Topologia	165
6.4.2	Meio Físico	166
6.4.3	Estações conectadas	167
6.4.4	Confiabilidade	168
6.4.5	Tipos de Mensagem e Métodos de Acesso	171
6.4.6	Características da Comunicação	173
6.4.7	Aspectos relativos ao DNC	174
6.4.8	Camadas Superiores do Modelo ISO/OSI	175
6.5	SUGESTÃO DE MODELOS DE LAN'S PARA IMPLEMENTAÇÃO	177
7.	CONCLUSÕES	179
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	184

RESUMO

As Células Flexíveis de Manufatura (FMC's) colocaram-se em evidência quando ficou comprovada a eficácia dos seus conceitos para a moderna indústria de manufatura. Esta eficácia, entretanto, depende da harmonização de todo um elenco de recursos e tecnologias que, em sua maioria, ainda não estão devidamente amadurecidos. Tendem, por isso, a inviabilizar os investimentos feitos na introdução de FMC's. O objetivo do presente trabalho é o de pesquisar esses problemas de integração buscando, através do estudo da interação entre as diversas interfaces que compõem uma FMC, sugerir soluções padronizadas ou padronizáveis, sempre que possível. Pretende-se, desta forma, viabilizar a adoção gradual e modular dos diversos conceitos subjacentes as FMC's, permitindo caminhar na direção de FMC's "inteligentes" a partir de investimentos iniciais relativamente baixos. O estudo é sistematizado de forma a abranger todos os aspectos pertinentes, desde o contexto que envolve as FMC's (com destaque para o papel da tecnologia de grupo, do CAD e do CAPP), passando pelos aspectos físicos (como fabricação, transporte e inspeção) e lógicos (controle, fluxos de informações, bases de dados), até os aspectos de comunicação (com ênfase nas redes locais de comunicação para chão de fábrica). Permeando os diversos tópicos estudados, algumas contribuições são dadas no sentido de sugerir uma conceituação e uma terminologia condizentes com as atuais exigências da automação da manufatura.

ABSTRACT

The Concept of Flexible Manufacturing Cells (FMC's) had been placed in evidence when its efficacy was compared to the modern manufacturing industry.

Nevertheless, this efficacy depends on the harmonization of a whole list of resources and technologies, most of them not yet properly matured. These problems tend to turn the investments in FMC's unviable. The purpose of this research is to study these integration problems, analyse the interaction between the many FMC's interfaces and then suggest some sets of standards that may lead to modular solutions, feasible for gradual implementation. It will also lead to the introduction of "intelligent" FMC's, at reasonable initial costs. The research is organized to embrace the whole pertinent aspects, from the industrial context of the FMC's (mainly for the CAD, CAPP and Group Technology influences), to the physical and logical aspects. The physical aspects deal with the manufacturing activities, transport and handling, inspection, and others. The logical aspects handles the control, data base, and information flow problems.

Finally, some communication aspects are considered, emphasizing the local area networks for shop-floor use. Permeating the various researched topics, some contributions are made on suitable concepts and terminology for the actual needs of the automated manufacturing.

GLOSSÁRIO

DAS SIGLAS E ACROGRAFIAS ADOPTADAS NO TEXTO

SIGLA	INGLÊS	PORTUGUÊS
AC	Adaptative Control	controle adaptativo
ACSE	Association Control Service Elements	controle de associações dos elementos de serviço da camada 7 do protocolo ISO/OSI
AGV	Automated Guided Vehicle	veículo automatizado de transporte ou veículo auto-guiado
AI	Artificial Intelligence	inteligência artificial
AMH	Automated Materials Handling	sistema automatizado de movimentação de materiais
ASCII	American National Standard Code for Information Interchange, ANSI X3.4-1968	padrão nacional americano de código para intercâmbio de informação
AS/RS	Automated Storage/Retrieval System	sistema automatizado de estocagem/recuperação de materiais
BC	Bar Code	código de barras
BCL	Binary Cutter Location Data	dados binários de localização de ferramenta. Norma ANSI/EIA RS 494
BER	Bit Error Rate	taxa de bits com erro
CAD	Computer Aided Design	projeto auxiliado pelo computador
CAE	Computer Aided Engineering	engenharia auxiliada pelo computador
CAM	Computer Aided Manufacturing	fabricação auxiliada pelo computador
CAP	Computer Aided	produção auxiliada pelo

	Production	computador
CAPP	Computer Aided Process Planning	planejamento de processo auxiliado pelo computador
CAQ	Computer Aided Quality	qualidade auxiliada pelo computador
CASE	Common Application Service Elements	elementos de serviços e aplicações comuns. Conjunto de serviços da camada 7 ISO/OSI
CIM	Computer Integrated Manufacturing	manufatura integrada pelo computador
CMM	Coordinate Measuring Machine	máquina de medir por coordenadas
CNC	Computerized Numerical Control	Comando Numérico Computadorizado
CRC	Cyclic Redundance Check	caracter de verificação de redundância cíclico
CRU	Cleaning and Remotion Unit	unidade de remoção e limpeza
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection	sensor de acesso ao meio transportador/detector de colisão
CtU	Control Unit	unidade de controle
DB	Data Base	base de dados
DBMS	Data Base Management System	sistema de gerenciamento de base de dados
DCI	Data Communication Interface	interface de comunicação de dados
DNC	Distributed Numerical Control	comando numérico distribuído.
ES	Expert Systems	sistemas especialistas
FMC	Flexible Manufacturing Cell	célula flexível de manufatura
FMS	Flexible Manufacturing System	sistema flexível de manufatura
GT	Group Technology	tecnologia de grupo
HD	Hamming Distance	distância de Hamming
IdU	Identification Unit	unidade de identificação

IGES	Initial Graphics Exchange Specification	especificação inicial de troca de dados gráficos - ANSI Y14.26M
IPU	Inspection Unit	unidade de inspeção
IR	Industrial Robot	robô industrial
IRDS	Information Resource Dictionary System	sistema de dicionário de recursos de informação- ANSI BSR X3.138
JIT	Just-in-Time	"bem a tempo"- conceito de administração de materiais
LAN	Local Area Network	rede local de comunicação
LLC	Logical Link Control	controle de enlace lógico
MAC	Medium Access Control	controle de acesso ao meio
MAP	Manufacturing Automation Protocol	protocolo de automação da manufatura
MfU	Manufacturing Unit	unidade de fabricação
MgU	Management Unit	unidade de gerenciamento
MIPS	Million Instructions per Second	milhões de instruções por segundo
MsU	Measurement Unit	unidade de medição
MRPII	Manufacturing Resource Planning	planejamento dos recursos da manufatura. Nome comercial mais difundido para caracterizar o PCP- planejamento e controle da produção automatizado
MT	Machine Tool	máquina-ferramenta
MTBF	Mean Time Between Failure	tempo médio entre falhas
NC	Numerical Control	comando numérico
NRZ	Non return to zero	sem retorno a zero

OCR	Optical Character Recognition	reconhecimento óptico de caracteres
OS	Operating System	sistema operacional
OSI	Open Systems Interconnection	interconexão de sistemas abertos- ISO IS 7498
PC	Personal Computer	computador pessoal
PDES	Product Definition Exchange Specification	especificação para troca de dados de definição de produto
PLC	Programmable Logical Controller	controlador lógico programável
QA	Quality Assurance	garantia da qualidade
QC	Quality Control	controle de qualidade
RDR	Request Data with Reply	solicitação de dados com resposta
SDA	Send Data with Acknowlwdge	envio de dados com reconhecimento
SDN	Send Data with no Acknowlwdge	envio de dados sem reconhecimento
SDR	Send and Request Data with Reply	envio e requisição de dados com resposta
SI	international unit system	Sistema Internacional de Unidades
SPC	Statistical Process Control	controle estatístico de processo
SQL	Structured Query Language	linguagem estruturada de pesquisa de DB
STEP	Standard for Exchange of Product Model Data	padrão para transferência de dados de produto
TOP	Technical and Office Protocol	protocolo para áreas de escritório e técnica
THU	Transport and Handling Unit	unidade de manipulação e transporte

1 INTRODUÇÃO

No presente e no futuro próximo a competitividade e o sucesso dos empreendimentos vão depender, em escala crescente, da contínua e rápida adaptação às influências externas, notadamente às influências de mercado.

O mercado atual tem se caracterizado pelos ciclos de vida cada vez mais curtos e variedade crescente dos produtos. Se, por um lado, a obsolescência prematura de um produto já não surpreende mais, por outro, a demanda por bens cada vez mais especializados e adaptados para atender condições específicas vem se tornando uma constante.

Completando este quadro, as pressões dos preços e dos prazos de entrega tornam a administração de uma empresa produtiva, hoje, uma tarefa extremamente complexa.

O conceito tradicional de produção em massa é ofuscado pela preocupação com flexibilidade e produtividade. Começa a se cristalizar entre as empresas industriais uma tendência vigorosa para a automação com o intuito declarado de fazer frente aos desafios que lhe são impostos pelos mutantes padrões de consumo.

A figura 1.1 fornece um resumo dos principais fatores que hoje pesam nas decisões estratégicas das empresas, em especial as brasileiras. Observa-se que as relações da empresa com seu mercado são de grande importância, na medida que este está sujeito a frequentes flutuações resultantes das políticas econômicas e mudanças dos interesses dos compradores, particularmente no Brasil. Flutuações de vendas superiores a 30% podem ocorrer em função das políticas econômicas ou prioridades de curto prazo adotadas. Os dados estatísticos da produção industrial dos 3 últimos anos demonstram claramente este problema [1, 2].

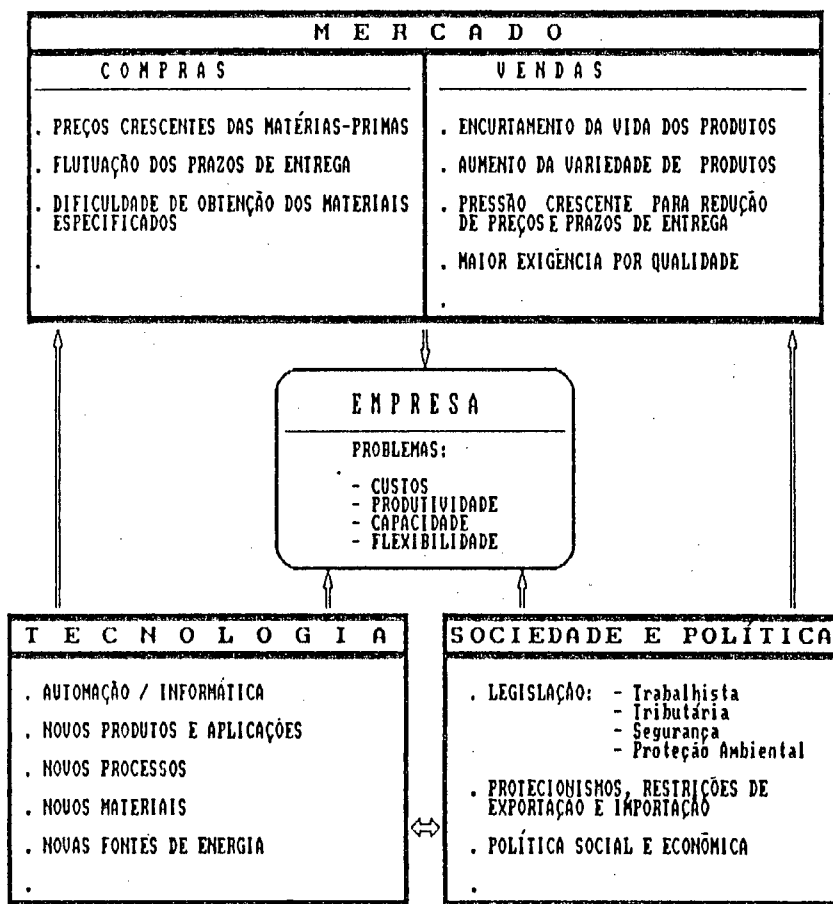


Figura 1.1— Fatores externos que afetam uma empresa moderna no Brasil ou em um país em desenvolvimento.

1.1 A MANUFATURA INTEGRADA POR COMPUTADOR (CIM) E O CONTEXTO DE CHÃO DE FÁBRICA

Toda estratégia moderna de automação envolve, em última análise, a incorporação de tecnologias e conceitos abrangidos dentro da filosofia do CIM ("Computer Integrated Manufacturing"). A figura 1.2 apresenta uma visão de conjunto da situação atual das diversas tecnologias que compõem o CIM, avaliadas quanto ao seu grau de maturação tecnológica. Destaque-se, em especial, a situação do CAQ ("Computer-Aided Quality") e dos FMS/FMC's ("Flexible Manufacturing Systems/Flexible Manufacturing Cells"), por serem de particular interesse para este trabalho. O CIM nada mais significa do que a integração das tecnologias computacionais de apoio à

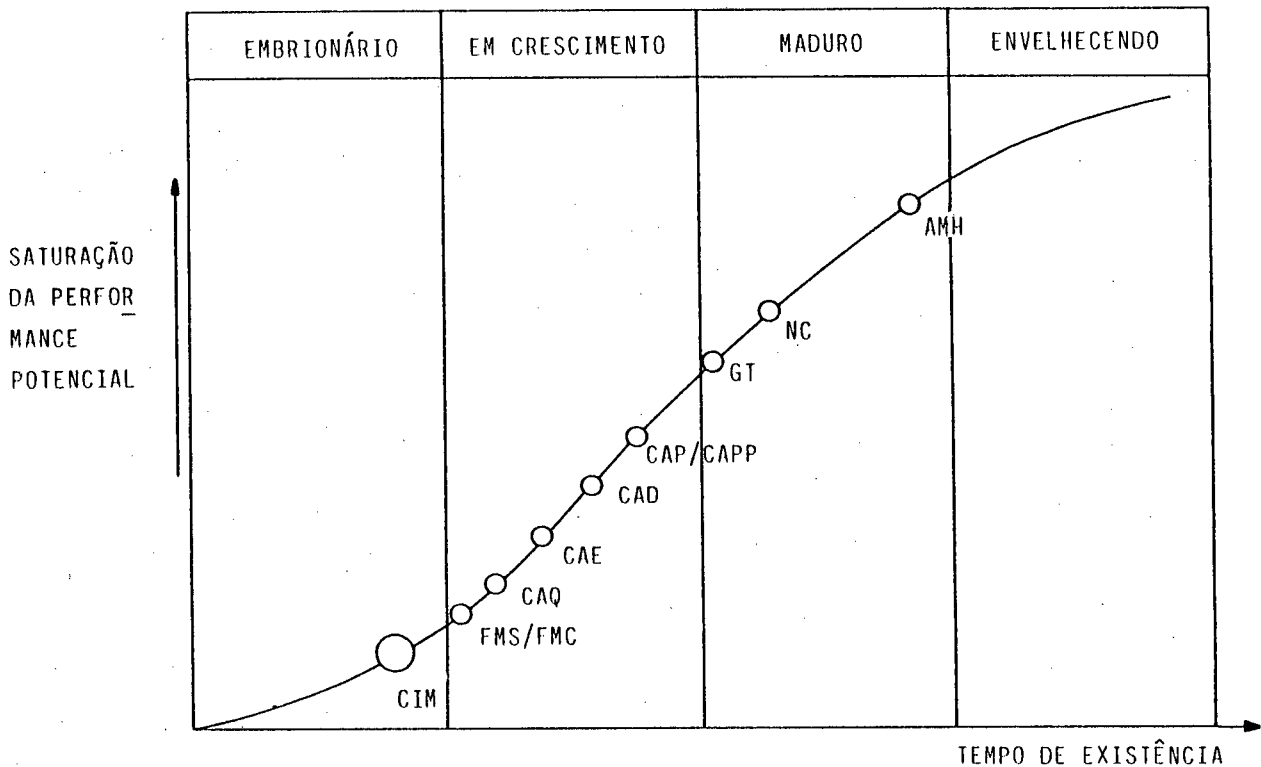


Figura 1.2- Grau de amadurecimento das tecnologias baseadas em computador para automação industrial [3, 4].

manufatura (as conhecidas CAx) dentro de uma filosofia unificada que objetiva a otimização do negócio da empresa como um todo. Esta integração, como se percebe, é muito mais lógica do que física e se viabiliza através dos recursos de informação [3, 5, 6, 7].

Este processo de integração (fig. 1.3) exige grande esforço de uniformização de processos, fluxos (de materiais e informação), sistemas e equipamentos e, principalmente, das bases de dados. Ele pode se dar, por princípio, em qualquer sistema de produção discreto (não contínuo) [9, 10, 11].

A figura 1.4 ilustra a clássica representação da estrutura hierárquica piramidal do CIM [5, 12]. Os FMS/FMC's e o CAQ estão associados à base desta pirâmide, que é o nível que efetivamente produz. Esta observação é importante para que se tenham claras as prioridades para automação quando se inicia um planejamento.

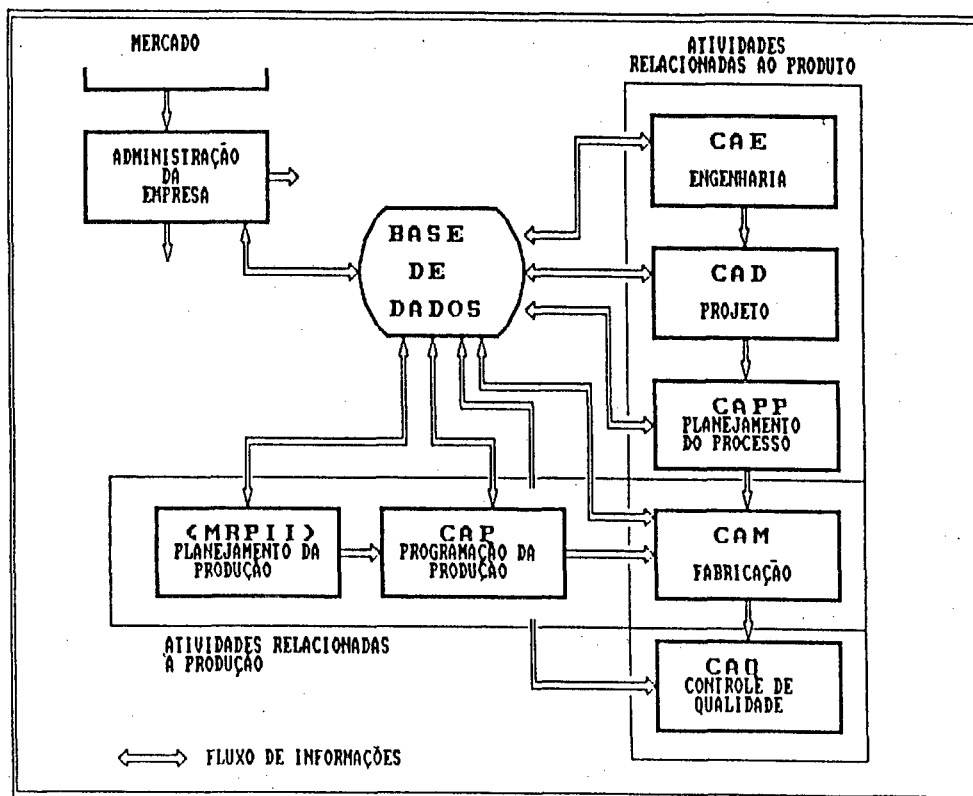


Figura 1.3- Estrutura integrada da base de dados: fluxo de informações no contexto do CIM [8]

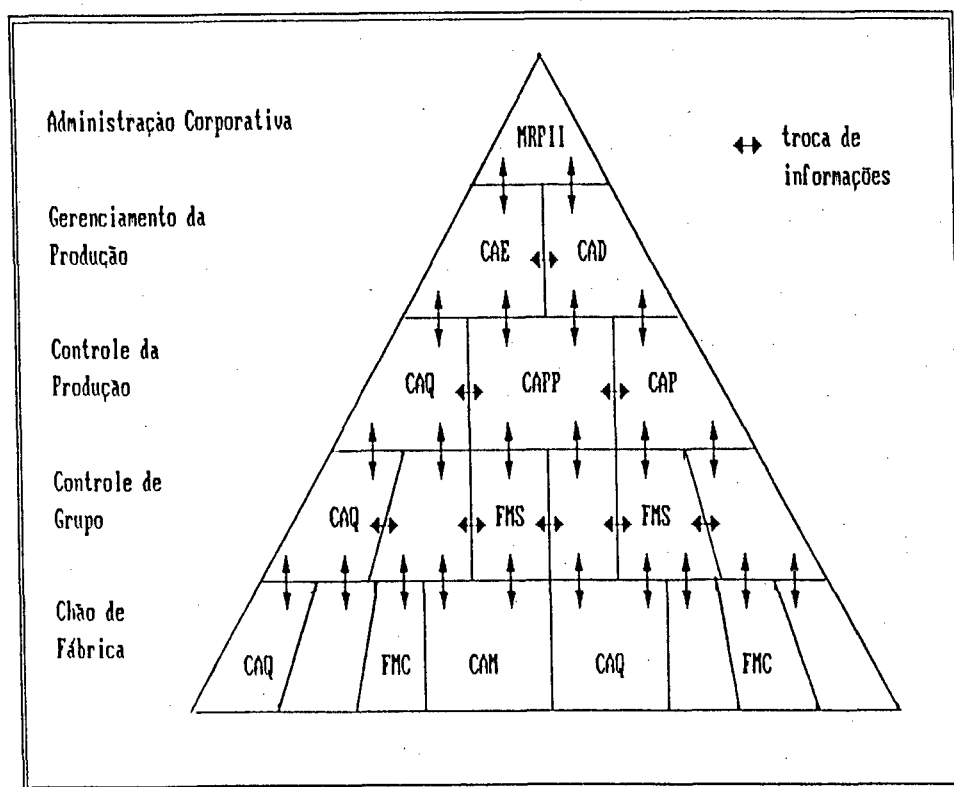


Figura 1.4- Estrutura hierárquica de comunicação do CIM: fluxo de informações

PRIORIDADES	TIPOS DE INDÚSTRIA			RETORNO ESPERADO DO INVESTIMENTO
	ELETRÔNICA E INSTRUMENTAÇÃO	MÁQUINAS	BENS. CONSUMO DURÁVEIS	
Qualidade Consistente	1	1	1	excelente
Produtos de Alto Desempenho	2	2	2	nenhum
Entregas Confiáveis	4	3	3	bom
Entregas Rápidas	6	7	4	bom
Preços Baixos	7	5	5	nenhum
Mudanças Rápidas de Volumes de Produção	8	8	6	excelente
Mudanças Rápidas de Projeto	3	4	7	pequeno
Assistência Pós-Venda	5	6	8	pequeno
Escala decrescente de prioridades, de 1 a 8 .				

Figura 1.5- Prioridades motivadoras dos investimentos em automação (CIM), na visão da indústria europeia [8, 13].

Observe-se também sob esse enfoque a figura 1.5, que sintetiza as prioridades motivadoras do CIM na indústria europeia [8]. O destaque dado à qualidade consistente reforça a concepção de que os investimentos em automação devem se iniciar pelo chão de fábrica [13, 14].

A figura 1.6 resume os resultados de uma pesquisa onde são avaliadas as vantagens econômicas advindas da racionalização pela utilização das tecnologias mais conhecidas que constituem o CIM [8]. Observe-se o papel destacado do CAM ("Computer-Aided Manufacturing"). Alguns outros aspectos merecem ser considerados como, por exemplo [8, 11, 15, 16]:

- redução média dos tempos de passagem ("throughput times") entre 25 e 60%;
- diminuição das necessidades de espaço na linha de produção e nos estoques entre 40 e 50%;

1.2 DEFINIÇÕES

A caracterização e a conceituação dos elementos envolvidos na automação da manufatura é importante para o entendimento e determinação da abrangência e do contexto deste trabalho.

Não existe ainda um desenvolvimento sistemático em padronização de terminologia, o que leva a uma grande variedade de conceitos conflitantes e/ou ambíguos.

A fim de facilitar o entendimento deste trabalho, procurou-se estabelecer um critério unificado para as terminologias adotadas (vide glossário) seguindo, na medida do razoável, aquelas já difundidas e aceitas pelas comunidades industrial e acadêmica em

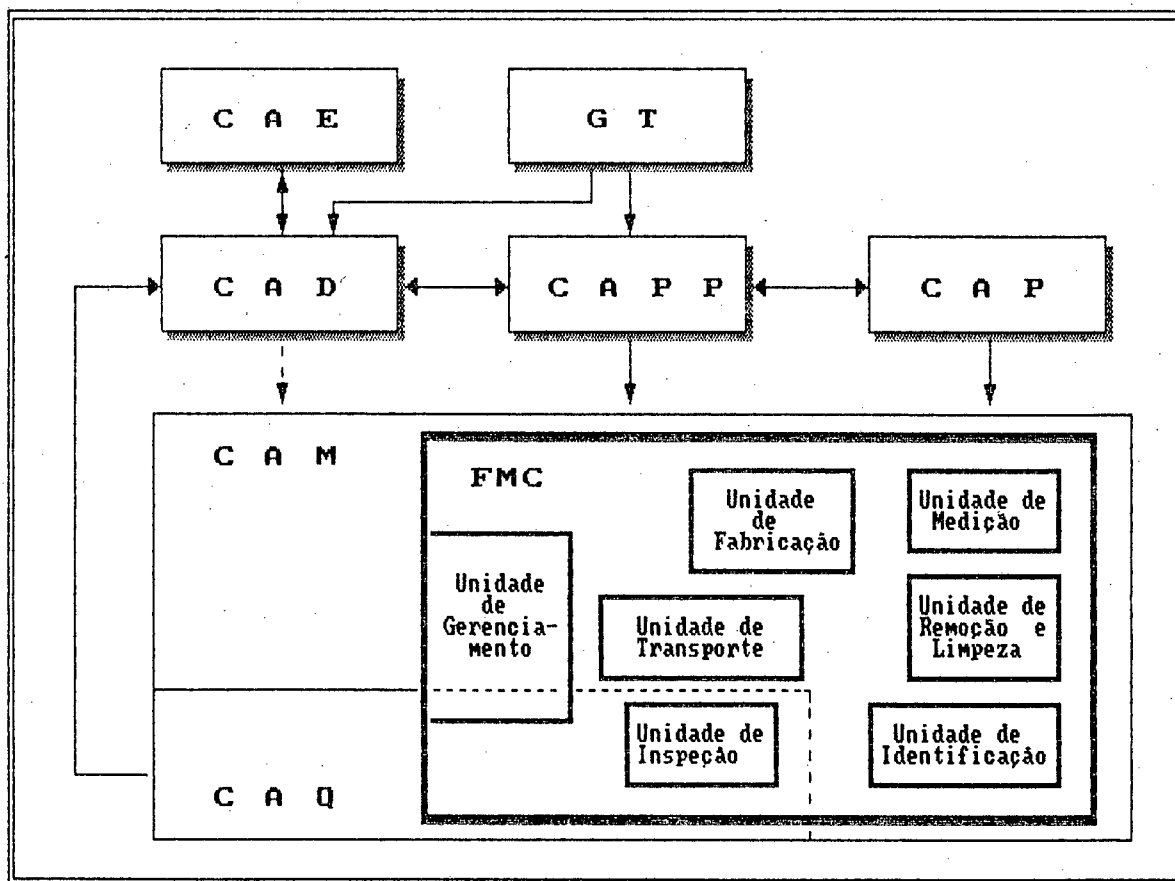


Figura 1.7- Relacionamento primário entre a FMC e as demais áreas que lhe afetam.

todo o mundo, evitando-se traduções forçadas. Procura-se também, quando necessário, definir melhor os próprios conceitos, quando estes vierem a ser úteis para a definição de uma terminologia adequada.

Serão adotados, sempre que disponíveis, os conceitos como definidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ISO (International Organization for Standardization) e ANSI (American National Standards Institute). Um elenco dessas definições pode ser encontrado em [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

São a seguir definidos os principais conceitos relacionados com a automação da manufatura. Serão detalhados aqueles relacionados com as FMC's para usinagem primária por caracterizarem o escopo deste trabalho.

1.2.1 Peças

Peça é a menor parte de um produto. Um produto é formado por partes (que serão aqui designadas como componentes) e estas pelas suas respectivas peças. A peça pode ser originada a partir de diversos processos de fabricação. Interessa a este trabalho, em particular, as peças submetidas aos processos de usinagem. Adicionalmente, convém conceituar:

- Peça a processar: a peça que é definida e determinada para a fabricação através dos respectivos desenhos e planos de processo;
- Peça processada: aquela que passou por todas as operações equivalentes necessárias (usinagem primária, no caso) e é considerada pronta, eventualmente para uma nova etapa diferente. É o que acontece, por exemplo, com uma peça já usinada e pronta para o tratamento térmico. Eventuais usinagens posteriores ao tratamento constituirão um novo

elenco de operações equivalentes que converterão, mais uma vez, a peça a processar em processada, eventualmente em outra FMC;

1.2.2 Unidade

Uma unidade compreende um conjunto de elementos físicos (máquinas, instrumentos, processadores, etc.) e de software dedicados a uma tarefa específica [19]. No âmbito da fábrica moderna, podem ser caracterizadas unidades denominadas:

- a) Gerenciamento - MgU ("Management Unit"): supervisiona e controla as atividades internas de um grupo unidades, de acordo com uma programação pré-estabelecida e dependente das realimentações fornecidas pelas demais unidades ou pelo operador. É, em geral, representada por um micro-computador adequado ao ambiente de chão de fábrica e interligado por redes locais de comunicação;
- b) Fabricação - MfU ("Manufacturing Unit"): responsável direta pela fabricação, é constituída normalmente por uma ou mais máquinas-ferramenta com seus respectivos controladores - CNC's ("Computerized Numerical Control") e demais equipamentos que lhe servem para atender finalidades específicas da fabricação;
- c) Inspeção - IpU ("Inspection Unit"): normalmente contituida por instrumentos ou máquinas de medir com respectivos controladores, garante, através das suas diversas atividades, a correta operação das demais unidades, dentro dos requisitos estabelecidos como adequados para cada peça, ferramenta ou, genericamente, qualquer item inspecionado. A inspeção pode

ocorrer através de atividades de medição, teste, ensaio ou comparação (visual ou com calibradores, por exemplo) [24];

d) Transporte e Manipulação -- THU ("Transport and Handling Unit): designação genérica para todos os equipamentos de transporte, estocagem e manipulação. É responsável pela movimentação de peças, ferramentas, dispositivos de fixação, insumos e acessórios. Portanto, são também caracterizadas como THU as estações de preparação de peças e os estoques vinculados à fabricação, inclusive os AS/RS ("Automated Storage/Retrieval System"). É adequado distinguir:

. transporte: compreende toda a movimentação de objetos de um local para outro;

. manipulação: compreende a movimentação do objeto como parte de uma operação de produção, mesmo que utilizando o sistema de transporte. É o caso de um robô industrial posicionando uma peça no dispositivo de fixação, trocando uma ferramenta no magazine, ou posicionando para inspeção ou rebarbação, etc.;

e) Identificação -- IdU ("Identification Unit"): é responsável pela localização de uma peça ou ferramenta que chega e pela leitura de suas especificações ou características. Compreende os equipamentos e respectivos controladores alocados às tarefas de identificação e, eventualmente, contagem, principalmente de peças e ferramentas. Visa orientá-las para as unidades correspondentes e ordenar as providências necessárias para que estas unidades possam recebê-las;

f) Limpeza e Remoção-- CRU ("Cleaning and Remotion Unit"): engloba os equipamentos dedicados às operações de limpeza e remoção. Responsabiliza-se pela limpeza de peças, ferramentas e/ou dispositivos de fixação, além das tarefas de remoção e

- separação de fluidos de corte e de cavacos. É responsável ainda pela estocagem e fornecimento de fluido de corte às MfU;
- g) Controle - CtU ("Control Unit"): corresponde aos controladores locais de cada unidade que gerenciam as atividades internas destas e a comunicação delas com as demais unidades. Podem ter subordinadas a si uma série de elementos (transdutores, leitores, etc.) com identificações unívocas para efeito de endereçamento na comunicação. Unidades que possuam alguma inteligência contam com sua própria CtU. Um CNC ("Computerized Numerical Control") ou um PLC ("Programmable Logical Controller") são casos de representações físicas de CtU;
- h) Medição - MsU ("Measuring Unit"): dedica-se às operações de medição que não se vinculam à inspeção. Destinam-se a tarefas específicas do controle do processo ou das unidades, individualmente.

1.2.3 FMC e FMS

As definições de células de manufatura, FMC e FMS carecem de maior atenção por delimitarem o escopo do tema proposto. A literatura é farta em definições. Ver, por exemplo [15, 16, 17, 18, 26, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47]. Muitas dessas serviram de subsídio para o conjunto de definições que seguem, a começar pela de Célula de Manufatura, que serve de fundamentação para as demais:

- a) Célula de Manufatura: conceito clássico adotado para designar uma MfU. É o menor conjunto indivisível na fabricação que garante, a partir do item a processar e dentro de uma família de peças predeterminada, o cumprimento de uma etapa completa

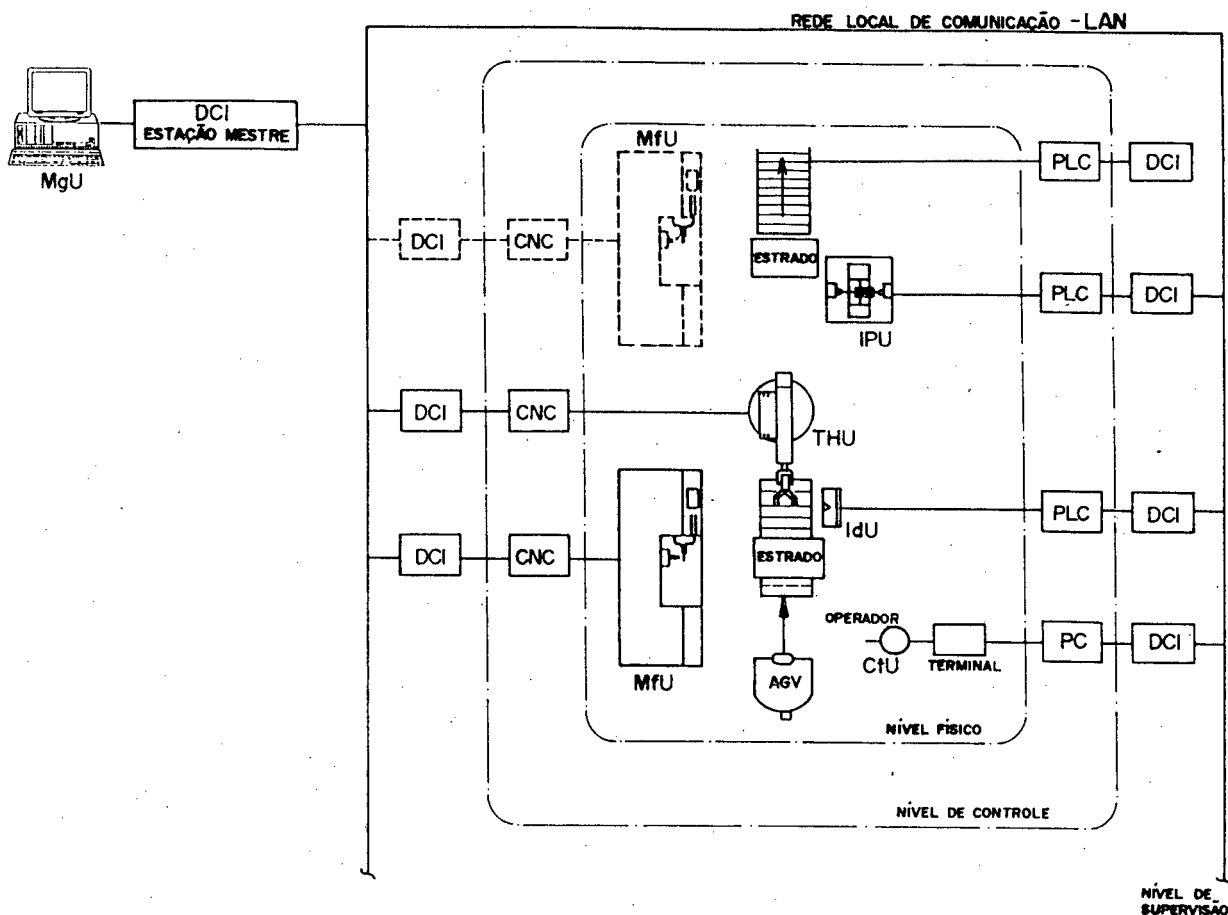
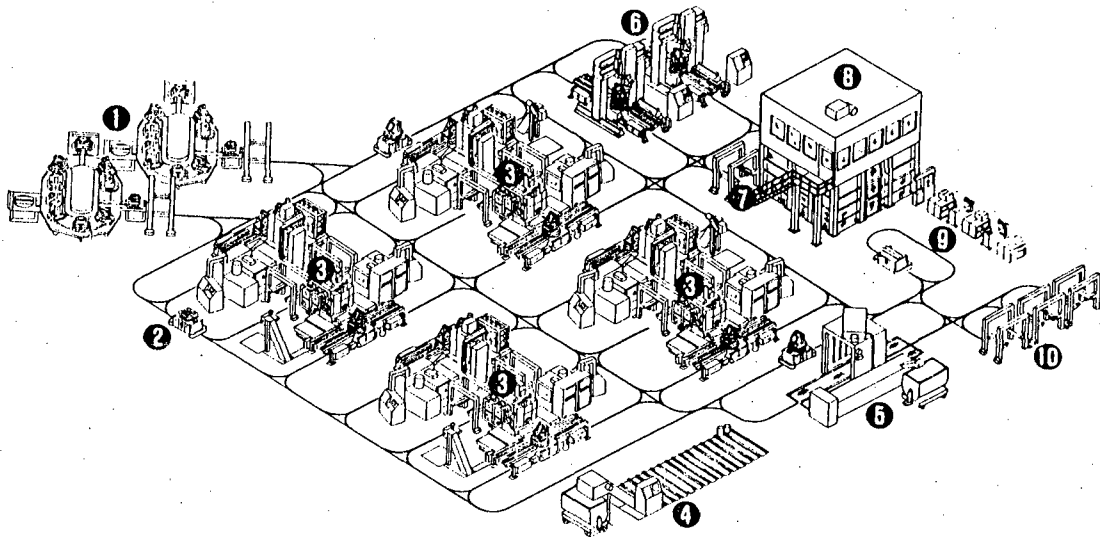


Figura 1.8- Esquema interno das unidades de uma FMC (exemplo)

do processo. sobre células, ver [28, 33, 48, 49, 50, 51, 52];

- b) FMC's: São células de manufatura constituídas por uma ou mais MfU's e uma unidade de gerenciamento computadorizada - MgU. A figura 1.8, ilustra um esquema de FMC modular, incluindo, a título de exemplo, todas as unidades básicas que a compõem. O nível de controle abrange todos os controladores inteligentes das unidades, responsáveis pela relativa autonomia que cada uma deve possuir (dentro do conceito de controle adaptativo) [43, 5, 53, 54, 55]. Cada unidade inteligente possui sua própria CtU. O nível de supervisão engloba o monitoramento e o controle integrado das diferentes unidades da FMC, coordenados pela MgU. A interligação das unidades é feita por uma rede



- | | |
|---|---|
| 1 THU: Estação de preparação/
desmontagem de paletes | |
| 2 THU: AGV's | |
| 3 FMC's com respectivas
MfU's e MgU's | |
| 4 CRU: Remoção automática
de cavacos | |
| 5 CRU: Estação de limpeza
de peças | |
| 6 IpU: Estação baseada
em CMM's | |
| | 7 IpU: Estação de inspeção
manual de peças |
| | 8 MgU: Gerenciamento do FMS |
| | 8 IpU e THU: Estoque e inspeção
de ferramentas |
| | 9 THU: Estação de manutenção
de AGV's |
| | 10 THU: Estacionamento de AGV's |

Figura 1.9- FMS completo, com alimentação de peças e ferramentas por AGV's [11]

local de comunicação (LAN- "Local Area Network");

c) FMS: conjunto de 2 ou mais FMC's interligadas por THU's automatizadas. Situa-se em nível hierárquico superior ao das FMC's, e incorpora uma MgU responsável pela Supervisão das MgU's das FMC's. A figura 1.9 apresenta um exemplo de lay-out de um FMS completo para usinagem, baseado em FMC's para peças prismáticas, com AGV's para o transporte de peças e ferramentas. Um FMS comumente engloba, além das FMC's e THU de interligação, as seguintes unidades:

- extratores automatizados de cavacos e fluido de corte para o sistema (FMS para usinagem- CRU);
- "pre-setting" de ferramentas (IpU);

- . estação de preparação e recepção de peças (THU);
- . sistema automatizado de estocagem e recuperação de peças-AS/RS (THU).

As IPU, IdU e CRU, nos FMS's, podem atender a várias FMC's. A MgU do FMS, por sua vez, é também responsável [17]:

- . pelo roteamento da produção em tempo real (escolha de uma FMC, entre as similares disponíveis, para execução da tarefa);
 - . pelo balanceamento de linha e seqüenciamento (se os planos de processo permitem) estabelecendo, inclusive, prioridades.
- O FMS coordena, operacionalmente, as diversas FMC's e garante-lhes o fornecimento de peças, insumos, ferramentas, programas, e demais acessórios, de acordo com as suas necessidades. Isto implica em controlar:
- . os estoques vinculados à produção;
 - . a movimentação de materiais entre as FMC's e entre o FMS e as demais áreas da empresa;
 - . as informações que circulam no FMS, mantendo os níveis hierárquicos superiores devidamente informados da situação atual e futura da produção;
 - . o roteamento da produção, otimizando-o em função das disponibilidades e potencialidades de cada FMC.

1.2.4 CAM

O CAM está intimamente relacionado com as FMS/FMC's e tem sido motivo de grande discussão quanto à sua abrangência e definição [5, 9, 17, 32, 34, 56, 57]. Este trabalho entende CAM como o agrupamento de todas as funções diretamente relacionadas com o gerenciamento da fabricação, como visto na figura 1.3. Divide-se em duas fases: preparação e execução. A primeira envolve todas as atividades advindas da emissão de ordens de produção e planos de processo. As ordens de produção se relacionam ao CAP ("Computer-

Aided Production") e estabelecem as prioridades e prazos para a linha de produção. Os planos de processo, gerados através das ferramentas de CAPP ("Computer-Aided Process Planning"), orientam a execução das diversas operações seqüenciais de cada tarefa de produção. Nessa fase de preparação, as principais atribuições do CAM são: geração dos programas NC, simulações, gerenciamento de arquivos de programas, pós-processamento e comunicação para DNC ("Distributed Numerical Control"). A segunda fase, de execução, envolve o controle do processo: visa garantir a operação de todo o sistema (nesse caso as FMC's, que operacionalizam o CAM) dentro dos limites pré-estabelecidos de normalidade, responsabilizando-se pelo gerenciamento interno da FMC.

1.2.5 CAQ

As funções de controle visando diretamente a qualidade, dada a sua importância, são destacadas do CAM e assumidas pelo CAQ. Ao CAQ cabe a responsabilidade pela realimentação do processo produtivo, mantendo-o sob controle e, mais importante, sob contínua crítica [58, 59]. Em um nível mais alto da estrutura hierárquica (fig. 1.4), o CAQ assume as atribuições de planejamento e administração da estrutura de Garantia da Qualidade da empresa.

1.2.6 CIM

O conceito de CIM abrange todas as funções de engenharia representadas pelas diversas siglas CAx, mas as extrapola, uma vez que também inclui as diversas funções administrativas que compõem o organismo de uma empresa e que suportam a produção. Idealmente, conceitua-se CIM como a incorporação, em uma indústria de manufatura, de todas as funções, direta ou indiretamente relacionadas com a produção, em um ambiente computacional integrado para assistir, otimizar e/ou automatizar as operações [5].

1.3 AS CÉLULAS E OS SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (FMC/FMS's)

A figura 1.10 é uma ilustração clássica que situa a faixa em que são aplicáveis FMS's e FMC's, no contexto do sistema produtivo [25, 32, 33, 34, 44, 50, 52, 60, 61, 62, 63]. Fica claro que os FMS's e FMC's destinam-se aos lotes de produção pequenos e médios, com variedade de peças de média a grande (o que, alias, é uma tendência atual na indústria) [43, 15, 64, 65]. A figura 1.11 estabelece uma comparação entre os modelos clássicos de produção e o baseado em FMS/FMC's, que auxilia na definição dos diversos parâmetros que as envolvem, inclusive mão-de-obra [14, 16, 66].

O número de máquinas que compõe as unidades da FMC influenciará diretamente no seu desempenho [67], o que justifica a tendência atual de se usar MT's cada vez mais versáteis e flexíveis, visando reduzir o seu número na célula. Esta versatilidade tem, entretanto, o seu preço. É fundamental uma análise aprofundada da relação custo/benefício de cada alternativa antes de ser implementada.

O fluxo típico de peças em uma FMC é do tipo "primeira que entra, primeira que sai". Não serão considerados os casos que extrapolam

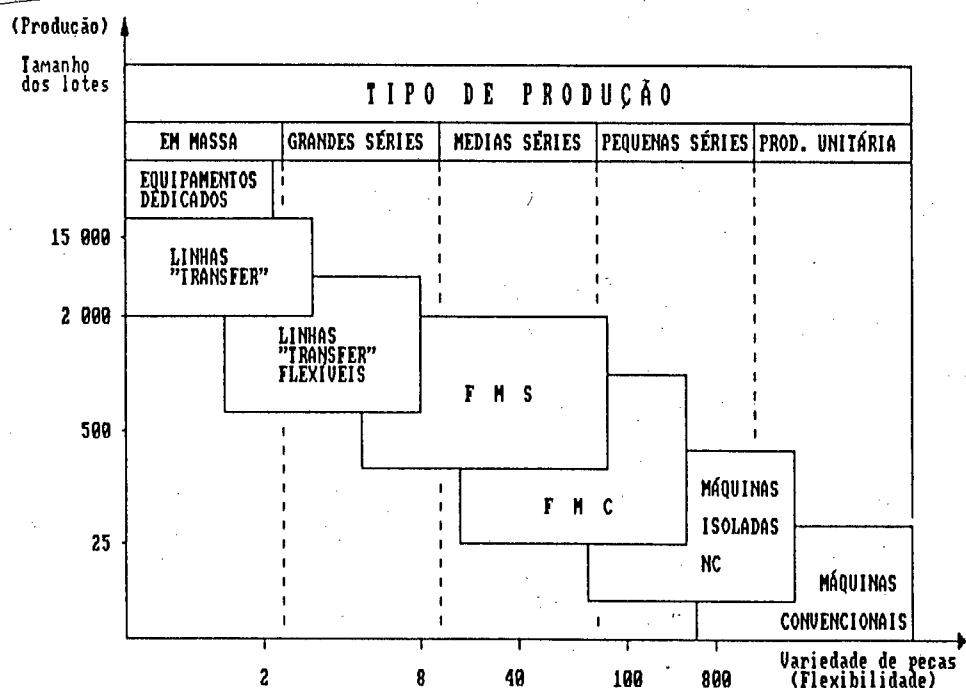


Figura 1.10- Áreas de aplicação de FMS / FMC

FILOSOFIA DE FABRICAÇÃO	
TRADICIONAL	F M C / F M S
DIUISÃO DO TRABALHO	
<ul style="list-style-type: none"> - Trabalhos simples, com os níveis de salario mais baixos possíveis - Pequena influência do operador no resultado global da produção - Muitos pontos de interface 	<ul style="list-style-type: none"> - Trabalho qualificado, com equipe a mais preparada possível - Grande influência do operador no resultado global da produção - Poucas interfaces
EXECUÇÃO DO TRABALHO	
<ul style="list-style-type: none"> - Em bateladas - Passo a passo - Por tarefas entregues / orientada à utilização 	<ul style="list-style-type: none"> - De acordo com a demanda - Sobrepostas - Por tarefas buscadas / orientada ao processo
TEMPO REQUERIDO PARA EXECUÇÃO	
<ul style="list-style-type: none"> - Mínimo por operação - Máxima produção / tempo 	<ul style="list-style-type: none"> - Mínimo por ordem de fabricação - Máxima utilização / tempo
FLUXO DE MATERIAIS E INFORMAÇÃO	
<ul style="list-style-type: none"> - Considerados em separado 	<ul style="list-style-type: none"> - integrado

Figura 1.11- Comparação dos sistemas de produção convencional com as FMC / FMS's

esse conceito no contexto deste trabalho por serem atípicos e pouco representativos.

Em alguns casos, em função da complexidade do processo de fabricação, o FMS pode segmentar as etapas de processamento em algumas sub-etapas: diversas FMC's se complementam, em suas respectivas especialidades, para fornecer a "peça processada". É uma situação anômola, mas possível. Ela tolhe a flexibilidade na formação de famílias de peças e torna o FMS específico, similar a uma linha "transfer" flexível.

1.3.1 Taxonomia das FMC's para usinagem

As FMC's não necessitam ser, forçosamente, fisicamente constituídas, ou seja, ocupar um único espaço delimitado. A célula poderá eventualmente ser formada apenas pelo seqüenciamento determinado pela sua respectiva MgU. Assim, as FMC podem ser [18, 68]:

- Físicas: seqüenciamento rígido ou semi-rígido, com lay-out definido agrupando todas as unidades necessárias à FMC;
- Virtuais (seqüenciamento lógico, flexível): as unidades podem ser fisicamente dispersas e fragmentadas. São muito úteis nas fases de testes e/ou desenvolvimento.

Existem, basicamente, dois tipos de FMC's, classificadas quanto ao tipo de peças que operam (em função das operações predominantes executadas):

- FMC's para peças prismáticas;
- FMC's para peças de revolução.

A figura 1.12 apresenta um quadro com as principais características dos dois tipos de FMC's que permite antever

suas diferenças operacionais. Permite também visualizar as diversas opções de configuração das unidades que as compõem.

As primeiras incorporam paletes e estes os dispositivos de fixação. As peças entram e saem da FMC montadas nos dispositivos. Requerem estações de montagem/desmontagem das peças nos paletes mas a manipulação é simplificada. O transporte pode ser feito com níveis de automação variáveis. Possuem estoque e gerenciamento próprio de suas ferramentas. As peças de revolução, por outro lado, induzem a uma situação inversa em se tratando de FMC's: a fixação é simplificada (salvo exceções, não carece de dispositivos especiais) mas, por outro lado, possui uma manipulação problemática, difícil de automatizar. Movimenta-se apenas as peças, que são posicionadas

UNIDADES PEÇAS	M F U			T N U				I _{PH}
	TIPO	FIXAÇÃO NAS PEÇAS	FERRAMENTAS	INTER FMC		INTRA FMC		
				PEÇAS	FERRAMENTAS	PEÇAS	FERRAMENTAS	
Prisnáticas	<ul style="list-style-type: none"> Centros de Usinagem Fresadoras (tempos de ciclo médios e longos)	<ul style="list-style-type: none"> dispositivos em paletes 	<ul style="list-style-type: none"> magazine c/ várias ferramentas substituição automatizável 	<ul style="list-style-type: none"> AGU's para paletes transferidores de paletes com dispositivos 	<ul style="list-style-type: none"> AGU's Robôs tipo portal 	<ul style="list-style-type: none"> Transferidores de paletes 	<ul style="list-style-type: none"> Robôs tipo portal 	<ul style="list-style-type: none"> CMH Medição semidedicada com contato
De Revolução	<ul style="list-style-type: none"> Tornos centros de torneamento (tempos de ciclo curtos e médios)	<ul style="list-style-type: none"> placas c/ oastanhas pontas de arraste dispositivos especiais 	<ul style="list-style-type: none"> magazine c/ algumas ferramentas Substituição manual 	<ul style="list-style-type: none"> AGU's para estrados transportadores contínuos dedicados 	-	<ul style="list-style-type: none"> Robôs manipuladores dedicados 	-	<ul style="list-style-type: none"> CMH Medição semidedicada com/sem contato

Figura 1.12- Taxonomia das FMC's para usinagem primária

e centradas nos dispositivos fixos à MT. As opções de ferramentas nos magazines são, em geral, restritas, devido ao pequeno espaço disponível nas torres porta-ferramenta. As peças são, em geral, transportadas em estrados.

1.4 PROPOSTA DE TRABALHO

Apesar da constatação de que os ganhos mais representativos de qualidade e produtividade estão associados à base da pirâmide da estrutura hierárquica de produção (onde se destacam as FMC's na produção flexível), os maiores esforços de integração acontecem nos níveis superiores da pirâmide, onde proliferam as siglas associadas às diversas tecnologias que tentam se incorporar à filosofia do CIM, a exemplo do MRPII, MAP/TOP, CAD, CAPP, JIT, e assim por diante.

À exceção dos esforços dos projetos MAP/TOP (projetos de rede de comunicação padronizadas para ambiente industrial), todas essas tecnologias desenvolveram-se como ilhas de automação. A falta de integração entre elas está associada a outra palavra-chave: padronização. Mais precisamente, falta de padronização.

É a padronização das diversas interfaces de cada tecnologia associada ao CIM que permitirá a necessária interação entre elas,

otimizando os recursos e, como consequência, assegurando a integração plena almejada.

O problema se torna mais sério porque é justamente a integração inter e intra FMC's que mais carece de iniciativas de interação e de padronização [69]. É nesse nível, como se vê, onde se podem esperar os resultados mais eficazes, seja a curto ou a longo prazo.

Por não ser ainda, na prática, uma tecnologia sedimentada, as FMC's sofrem com a inconsistência dos conceitos que as envolvem, de acordo com as tendências e modismos de cada época. Este trabalho tentará, inclusive, trazer à discussão algumas dessas questões.

Entre as diversas opções de produção automatizada (ver em [5]), certamente são as FMC's que melhor se adaptam à realidade brasileira. Suas características, se convenientemente implementadas, permitem:

- rápida adaptação às condições de mercado;
- grande flexibilidade de produto e de volume (fig. 2.11);
- boa relação custo/benefício;
- investimento inicial relativamente menor;
- possibilidade de implementação gradual e modular;
- utilização de equipamentos, software e tecnologias disponíveis no mercado.

Apesar da sua importância, nenhum estudo foi desenvolvido, até o momento, contemplando a necessária abordagem abrangente e interdisciplinar que as FMC's requerem. As abordagens acadêmicas tendem para a especificidade, o que colabora ainda mais para o isolamento das tecnologias estudadas em "ilhas de automação". Da mesma forma, mas por razões diversas, colaboram os desenvolvimentos oriundos dos fornecedores de tecnologias específicas.

1.4.1 Objetivos

Pretende-se desenvolver, ao longo deste trabalho, um estudo amplo e, na medida do possível, aprofundado, da interação necessária entre as diversas unidades que compõem a base da pirâmide do sistema de manufatura celular, avaliando-se os requisitos necessários de padronização.

Busca-se um conjunto de sugestões que subsidiam um modelo de Células Flexíveis de Manufatura adequadas à realidade brasileira. Serão detalhadas aquelas sugestões mais simples, de fácil implementação.

Este trabalho se limitará às FMC's dedicadas à usinagem (desbaste e acabamento primário), por serem as mais representativas e pela necessidade de se limitar o escopo do estudo. Muitas de suas características estudadas, entretanto, podem ser extendidas a outros tipos de FMC's (ver exemplos em [15, 16]).

Objetiva-se, ao final, dispor-se de uma base que norteie futuras ações, desenvolvimentos e pesquisas na área de FMC's, orientadas para o caráter interdisciplinar exigido e seguindo critérios definidos de padronização e de interação.

Objetiva-se também aprofundar o conhecimento necessário para integração das diversas tecnologias que são necessárias ao bom desempenho das FMC's.

1.4.2 Estrutura e Metodologia

O modelo de FMC será analisado sob 4 aspectos básicos:

- contextuais: aqueles que influenciam diretamente nas FMC's mas não são partes das mesmas;
- físicos: com destaque para os aspectos mecânicos das FMC's;

- operacionais: contemplam os problemas de controle, das bases de dados e do software das FMC's;
- de comunicação: em seus diversos níveis, intra e inter-FMC's.

Cada um desses aspectos será contemplado com um capítulo do trabalho, visando preservar um princípio de equanimidade entre todos os aspectos. Serão precedidos do capítulo 2, que procura fixar alguns conceitos e estabelecer os modelos básicos que nortearão os demais tópicos.

A metodologia visa contemplar:

- uma abordagem sistêmica, do geral para o particular em cada tópico estudado;
- uma análise do estado da arte, dos trabalhos desenvolvidos em padronização, e o aproveitamento daqueles consistentes com o modelo esboçado pelo trabalho;
- fixação de uma terminologia adequada e conceituação dos aspectos mais importantes;
- uma análise dos aspectos importantes relativos à interação entre as unidades que constituem as FMC's e entre a FMC e o contexto que a cerca;
- sugestões de soluções padronizáveis onde ainda não existirem padrões compatíveis com os requisitos do modelo adotado.

2 INTERAÇÃO E PADRONIZAÇÃO EM FMC'S

É interessante atentar para os significados idiomáticos reproduzidos abaixo, em especial aos sublinhados [70]. Eles dão sentido ao esforço desenvolvido ao longo deste trabalho visando o entendimento das ações recíprocas existentes em uma FMC e fornecem o fundamento a partir do qual será possível definir uma arquitetura de FMC completa, unificada e simplificada:

Interação: Ação que se exerce mutuamente entre duas ou mais coisas; ação recíproca.

Integração: Ato ou efeito de integrar-se. Integrar: Tornar inteiro; completar, integralizar; incorporar-se.

Padronização: Redução de objetos do mesmo gênero a um só tipo, unificado e simplificado, segundo um padrão.

2.1 INTEGRAÇÃO E INTERAÇÃO

Parece claro que a necessária integração das diferentes unidades que compõem uma FMC depende do grau de interação conseguida entre elas, o que gera complexas e interdependentes interfaces. Estas interfaces são representadas por fluxos de:

- materiais (e energia);
- informação (inclusive sinais de controle).

A figura 2.1 situa os fluxos de materiais e de informações no contexto produtivo que envolve a FMC, detalhando os que chegam e saem da FMC (a FMC aqui representa as ocorrências de chão de fábrica de maior interesse). A figura 2.2, por sua vez, apresenta estes mesmos fluxos que entram e saem da FMC, detalhando os

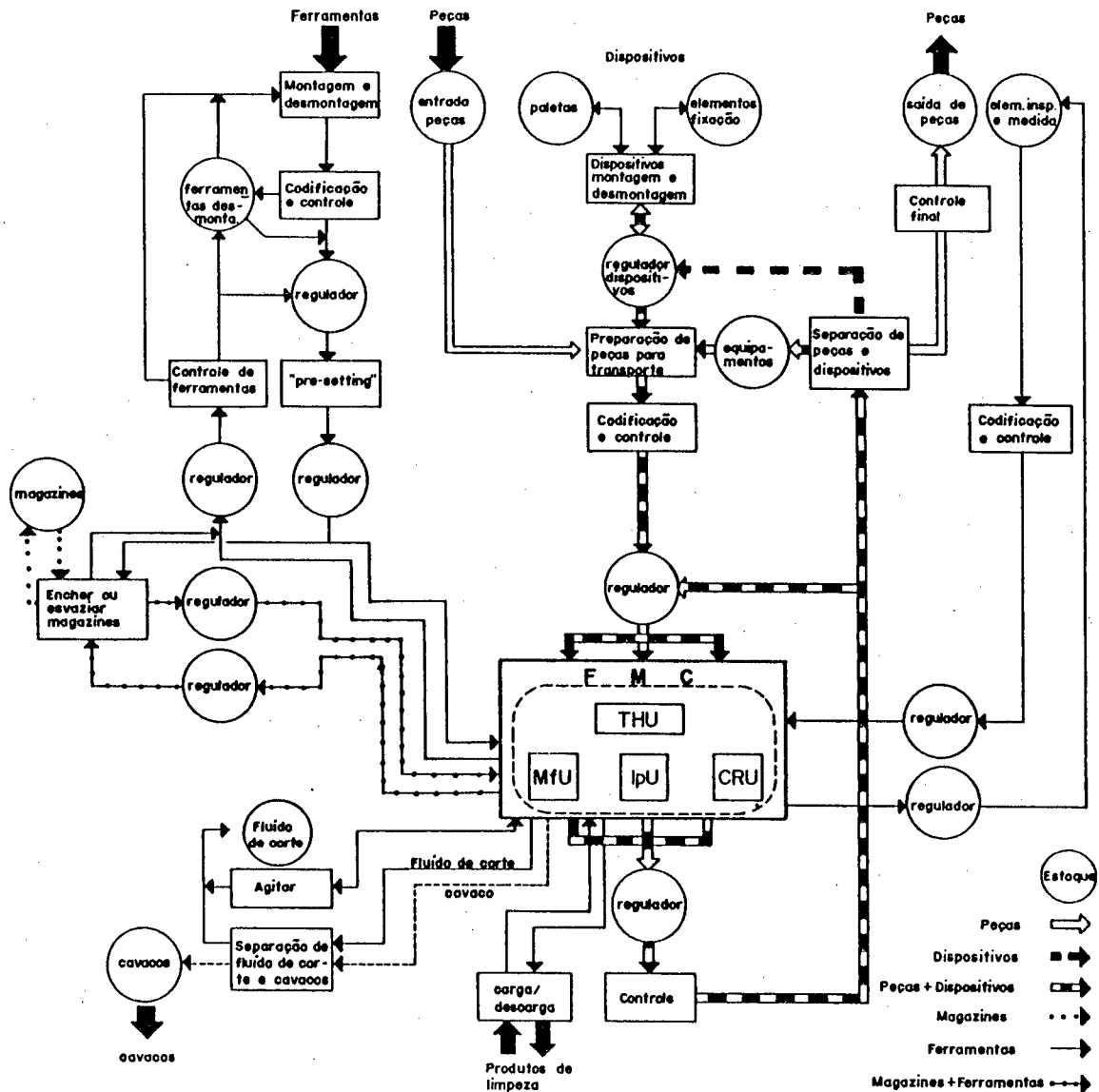


Figura 2.1 - Fluxos que entram e saem de uma FMC [9].

fluxos internos entre as unidades. Percebe-se claramente o nível de interação que ocorre entre essas diversas unidades. Muitas alternativas e combinações são possíveis nestes fluxos. Exemplos variados podem ser encontrados em [15, 71].

A figura 2.3 apresenta os diferentes fluxos de informação nos diferentes níveis de controle de uma FMC, exemplificados pela interação MFU x IpU. Esses fluxos são de particular interesse para este estudo pois representam bem o conceito de manufatura

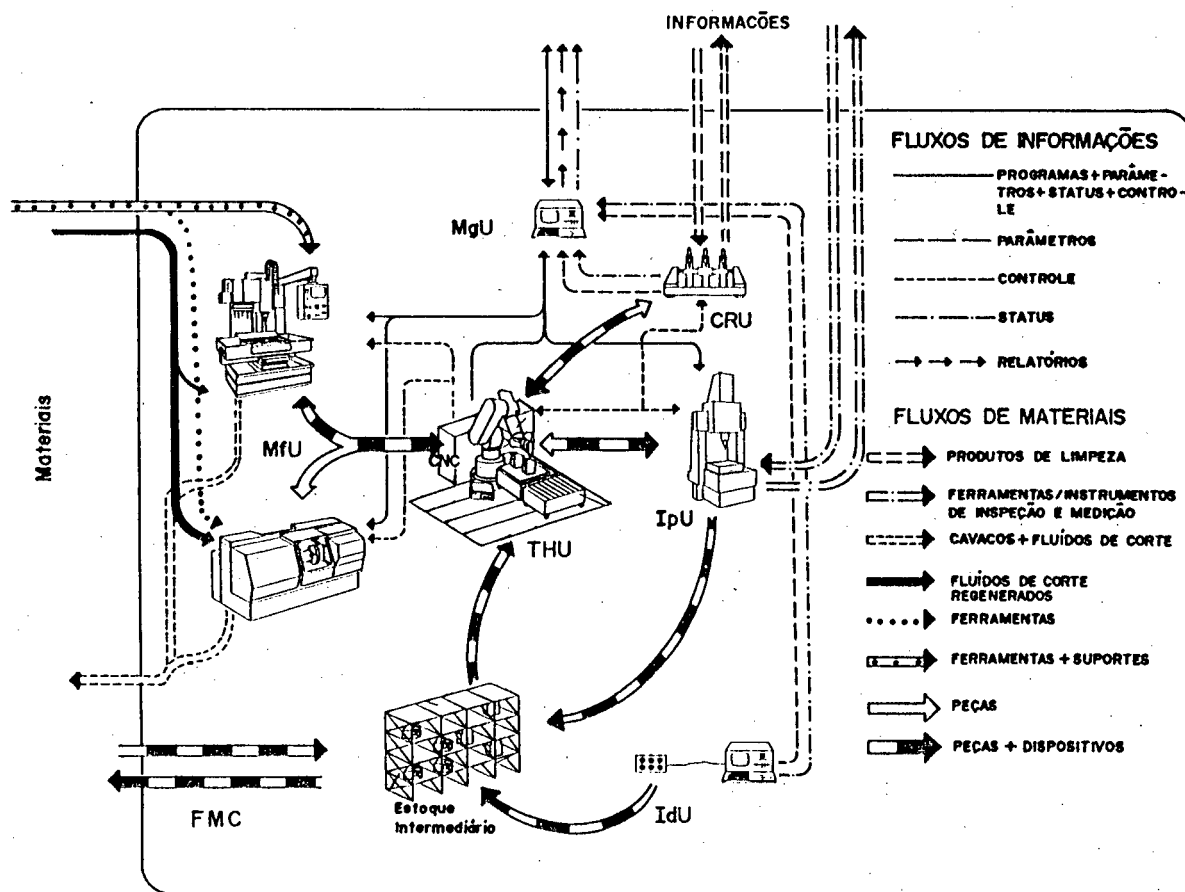


Figura 2.2 - Fluxos de materiais e informações na FMC

inteligente, onde o processo produtivo é continuamente realimentado, nos diversos níveis, para garantir a manutenção de um sistema "sob controle".

2.1.1 A Manufatura Inteligente

O conceito de manufatura inteligente aqui preconizado está associado à transferência das iniciativas de controle para os níveis onde eles são de fato necessários [43].

O importante é assegurar tempos de resposta coerentes com as necessidades de cada fluxo, e diversas situações distintas se apresentam. A figura 2.4 ilustra caso típico onde os tempos de resposta são críticos. Neste caso, o controle deve ocorrer no

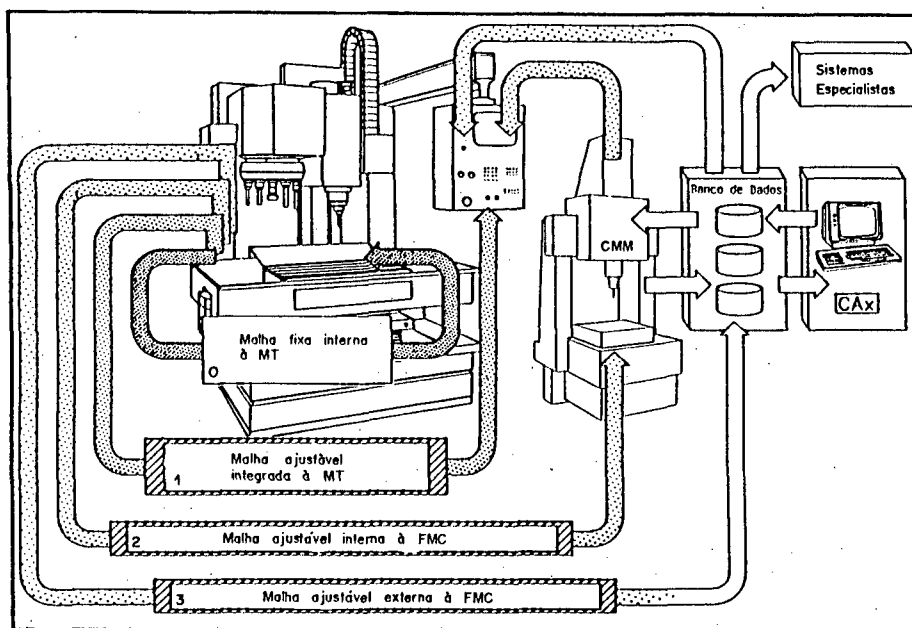


Figura 2.3 - Detalhamento do fluxo de controle na FMC. Destaque para a interação MfU x IPU [58].

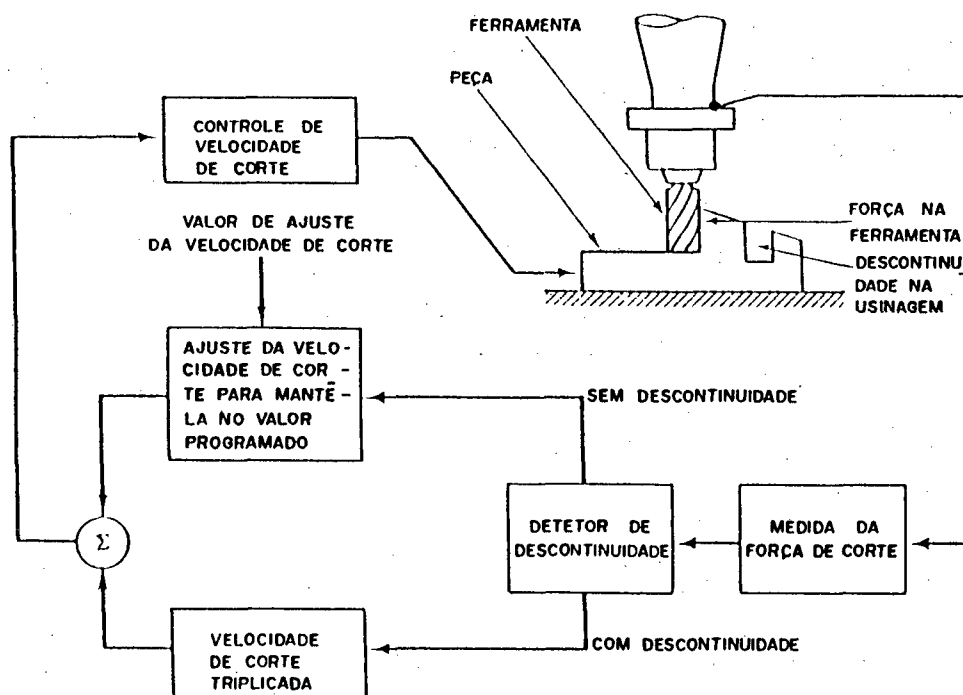


Figura 2.4- Controle adaptativo em MT. Caso da força de corte como grandeza medida no processo [5].

nível 0 da figura 2.3 e de acordo com os conceitos atuais de controle adaptativo - AC ("Adaptative Control"): o AC não se limita a corrigir o valor da variável sob controle: ele atualiza continuamente os seus parâmetros para adequar-se a cada nova condição do sistema [54].

O nível mais externo de controle (nível 3 da figura 2.3) é o que interfaceia a FMC com o seu contexto externo e se presta às funções básicas de recepção de ordens, transferência de relatórios e atualização de bases de dados da produção.

Objetiva-se, em última instância, garantir a necessária inteligência (e não mais que a necessária) a cada nível de controle da FMC de forma a que cada um execute autonomamente as tarefas que lhes são pertinentes [43, 68, 73].

Existem fortes razões técnicas e econômicas para esta concepção. A priori, quanto maior o nível de inteligência do controlador, maior será a exigência por informações mais completas e complexas, com conseqüentes e inevitáveis sobrecargas dos meios de comunicação e tempos de resposta maiores.

Procura-se manter, desta forma, mecanismos simples para controle nos níveis mais baixos, transferindo para estes maiores responsabilidades à medida que os avanços tecnológicos os tornem mais inteligentes de forma economicamente viável.

A figura 2.5 apresenta uma visão das tendências (no desenvolvimento de tecnologia) visando FMC's e suas unidades cada vez mais inteligentes e, conseqüentemente, autônomas [43]. A figura 2.6 resume as necessidades impostas a uma FMC inteligente.

É importante ressaltar que esta tendência para a maior autonomia redundando no "encapsulamento" de cada unidade, priorizando os fluxos de informação e minimizando os de controle, o que traz

implicações no próprio conceito de tempo real, como será visto no capítulo 5.

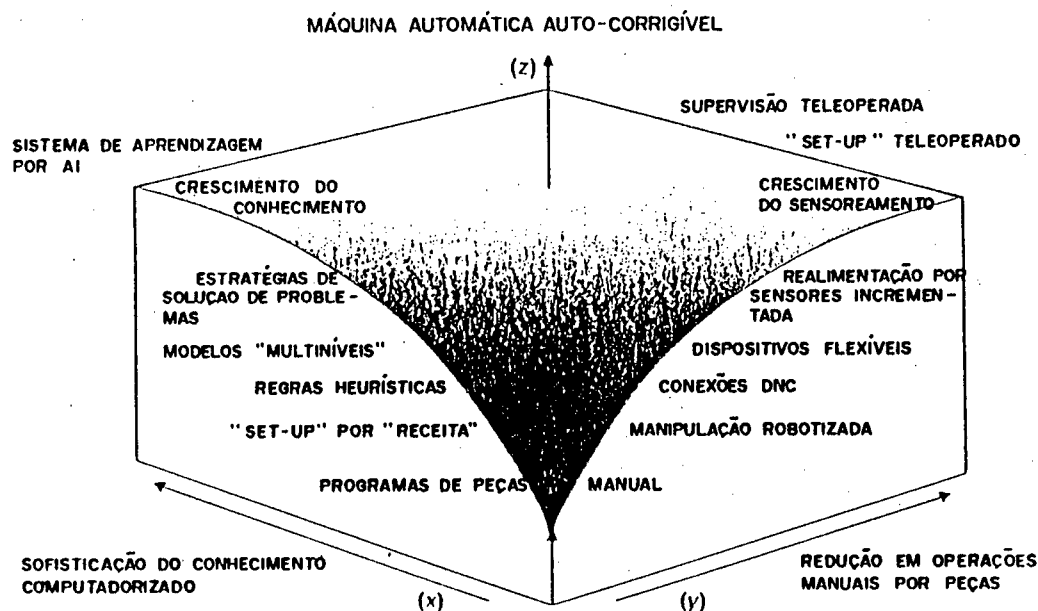


Figura 2.5 - Objetivos de autonomia para FMC inteligente [43]

AUMENTAR	DIMINUIR
<ul style="list-style-type: none"> . A previsibilidade das operações das MFU . A utilização das máquinas . A disponibilidade dos equipamentos . A quantidade de materiais diferentes que possam ser usinados e ajustados . Os tipos de geometrias diferentes possíveis para as peças a processar e processadas . A quantidade de informações trocadas entre as unidades da FMC . A quantidade e a qualidade das informações trocadas entre a UG da FMC e o CAPP/CAD 	<ul style="list-style-type: none"> . As incertezas de fabricação das peças produzidas . O número de peças rejeitadas após o "set-up" inicial . As operações manuais . O nível de capacitação necessário para as operações de "set-up" . O custo total de fabricação, garantindo a qualidade constante . O custo e a quantidade do ferramental . O número de operações e o tempo necessários para "set-up" . O tempo entre o projeto e a fabricação

Figura 2.6 - Necessidades e uma FMC inteligente [43]

2.1.2 Controle Inteligente - Implementação

As concepções básicas de controle no nível das FMC's podem ser observadas na figura 2.7.

Na prática, a viabilidade está em uma solução de compromisso intermediária entre as alternativas apresentadas na figura 2.7, em função das limitações do controle seqüencial e das dificuldades de implementação (técnicas e econômicas) do controle paralelo inteligente [43].

A figura 2.8 sintetiza uma hierarquia em 4 etapas para migração progressiva para um controle plenamente inteligente, conforme detalhado em [74]. Aqui também é preciso avaliar com cuidado que nível de inteligência se pretende para o controle e aonde ele vai se fazer necessário. Os dois últimos níveis se propõem a substituir as capacidades sensitiva e cognitiva do operador humano. A complexidade, o custo e os riscos envolvidos (como nas situações imprevistas, emergências ou falhas de software) ainda tornam estes dois níveis objetos de discussões acadêmicas. A operação de FMC's e FMS's ainda vai depender, por algum tempo, de operadores humanos.

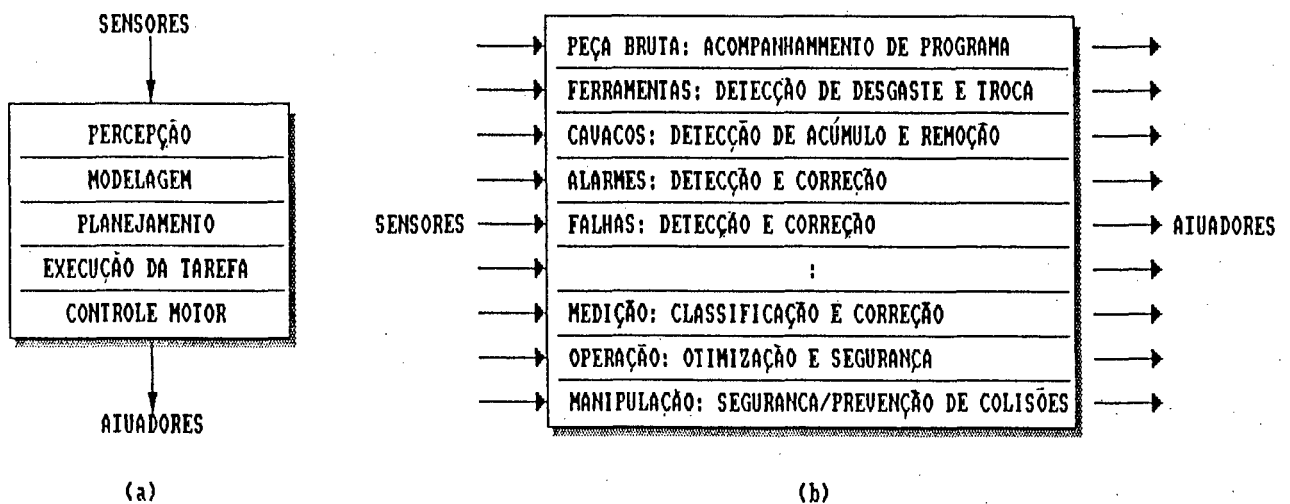


Figura 2.7- Comparação entre (a) controle seqüencial clássico e (b) controle paralelo para FMC's inteligentes .

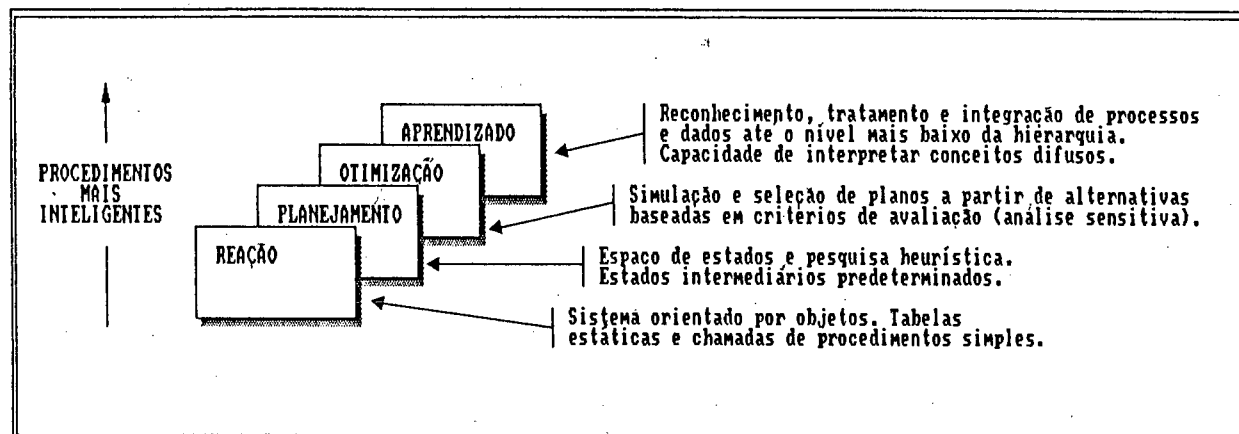


Figura 2.8- Hierarquia de 4 níveis para o controle inteligente: evolução do conceito de realimentação [75]

A condição mais crítica para o controle ocorre nas situações de crise, onde condições de erro (muitas vezes cumulativamente ou em cascata) exigem alto grau de interação entre as unidades envolvidas.

O tratamento das situações de crise será tanto mais fácil quanto mais descentralizado (e inteligente) for o controle, onde cada unidade assume a responsabilidade pelo status dos sistemas que lhe são pertinentes. A figura 2.9 mapeia as condições de erro mais comuns, e as unidades onde ocorrem.

2.2 PADRONIZAÇÃO

Este item completa a tríade Interação/ Integração/ Padronização. A padronização é, de fato, o que viabiliza a integração, unificando e simplificando a interação entre as diversas partes que compõem as FMC's. A integração plena só existirá através da padronização. Esta constatação não é nova. O problema é que torná-la efetiva configurou-se um problema de grandes proporções, por diversas razões:

PRINCIPAIS PROBLEMAS POTENCIAIS	UNIDADES DA FMC							MATERIAL
	FABRICAÇÃO/MEDIÇÃO - MFU/MsU			MANIPULAÇÃO - TMU		CONTROLE- MsU/CtU		PEÇA
	MANIPU- LABOR	MT/MS	FERRAMENTAS E FIXAÇÕES	SIST. DE ESTOCAGEM	MANIPU- LABORES	HARDWARE	SOFTWARE	
QUEBRA DE FERRAMENTA			X					
ERRO DE POSICIONAMENTO	X	X	X	X	X			X
PROBLEMAS DE COLISÃO	X	X		X	X	X	X	
PROBLEMAS DE MANIPULAÇÃO	X	X	X	X	X	X	X	X
PROBLEMAS DE QUALIDADE	X	X	X					X
DESGASTE DE FERRAMENTAS			X					X
ERROS DE PROGRAMAÇÃO NC	X	X		X	X	X	X	
ERROS DE COMUNICAÇÃO	X	X				X	X	
PROBLEMAS DE ESTRANGULAMENTO	X	X	X	X	X	X	X	
SUB-UTILIZAÇÃO	X	X	X	X	X	X	X	

Figura 2.9- Localização dos problemas mais frequentes em uma FMC [68].

- pela contínua e rápida evolução das tecnologias utilizadas em FMC's, incompatível com o ritmo natural (lento) do processo de elaboração das normas [76].
- pelas pressões dos proprietários das tecnologias emergentes, que procuram induzir o mercado a tornar-se cativo dos seus desenvolvimentos, visando alongar a vida e melhorar a rentabilidade dos seus produtos. Este problema se manifesta em duas vertentes:
 - . no bloqueio do acesso às fontes da tecnologia proprietária;
 - . nas tentativas de dar força de norma às suas tecnologias (o que acaba por levar a uma profusão de alternativas ou a alternativa nenhuma);
- pelo contraste do novo e do antigo, forçados a conviver em um mesmo ambiente fabril, de maneira ora conflituosa, ora redundante;

- pela evolução, em direções antagônicas ou conflitantes, de tecnologias complementares. É o caso, por exemplo, dos CNC's que evoluem, por um lado, para executar funções de simulação e gerenciamento de ferramentas, conflitando, por outro, com o CAD e o CAPP, que também tendem a oferecer recursos para execução destas funções.

2.2.1 Necessidades

A figura 2.10 sintetiza as diversas prioridades de padronização associadas às FMC's, fruto de levantamento conduzido visando estabelecer programas de pesquisa para integração das diversas interfaces da manufatura. É importante observar que cada uma dessas prioridades está associada a um elenco de normas que, não raro, se interpenetram em objetivos e meios. Normas essas que, muitas vezes, já carecem de revisão ou atualização. Observe-se ainda a importância dada aos itens mais associados à integração e cujas tecnologias ainda estão em fase de amadurecimento.

PRIORIDADES PARA PADRONIZAÇÃO	
PRIORIDADE	Á R E A
MAIS ALTA	Comunicação de dados.
MUITO ALTA	Sistema de códigos de segurança.
ALTA	Interfaces de controle e de FMC; programação "off-line" de robôs; descrição de desempenho de equipamentos; interfaces e realimentação de sensores; terminologia e simbologia.
MÉDIA	Linguagens de programação e de controle; interfaces elétricas, hidráulicas e pneumáticas; interfaces de manipuladores, suportes de ferramentas, garras, placas de torno; compatibilidade entre componentes de AMH.
BAIXA	Condições ambientais; edificações e mão de obra; classificação de equipamentos; ergonomia.

Figura 2.10 - Elenco de prioridades para padronização em manufatura [77]

Destaque para a necessidade de normas de conformidade e verificação [76].

Estas necessidades manifestam-se ainda em diferentes níveis de padronização, que poderiam ser agrupados em três categorias [77]:

- micro-padrões: pequenas partes de um todo. Equivalem às peças de um conjunto. São exemplos os padrões para pinos de centralização de paletes, linguagem de programação "off-line" de robôs, etc...
- mini-padrões: cuidam das interfaces entre os micro-padrões, assegurando a compatibilidade entre eles, como a montagem das diversas peças de um conjunto. São exemplos os padrões de redes de comunicação, os testes de conformidade, normas de segurança, etc.
- macro-padrões: preocupam-se com o sistema como um todo, visando garantir a interoperabilidade dos padrões de níveis mini e micro dentro de um critério unificado pré-estabelecido. São exemplos o protocolo ISO/OSI para comunicação de dados e o projeto STEP para formato de troca de dados de produto.

A atenção deste trabalho estará mais voltada para os níveis de micro e mini-padronização. O nível macro será detalhado quando justificar-se no contexto das FMC's. Serão analisadas questões de padronização atinentes a:

- inspeção;
- interfaces de equipamentos;
- informações da manufatura;
- modelos específicos para a produção (físicos e lógicos).

2.2.2 Interação e Padronização em FMC's - Objetivos

Uma taxonomia básica dos objetivos poderia sugerir dois níveis de abordagem :

- a) Macro-objetivos: envolvem o relacionamento da empresa (como um todo) com o mundo externo e visam balizar as suas ações na implantação e gerenciamento da estratégia de automação, no geral, e das FMC's, no particular. Podem se dividir em objetivos econômicos e objetivos estratégicos.
- b) Micro-objetivos: preocupam-se com os reflexos dos macro-objetivos na empresa e procuram otimizar conceitos de:
 - . operacionalidade
 - . flexibilidade
 - . confiabilidade
 - . segurança

A figura 2.11 detalha e explica esses conceitos, que serão importantes para acompanhamento deste trabalho nos capítulos subsequentes. Os micro-objetivos, principalmente, estarão sempre contidos implicitamente em cada tópico abordado.

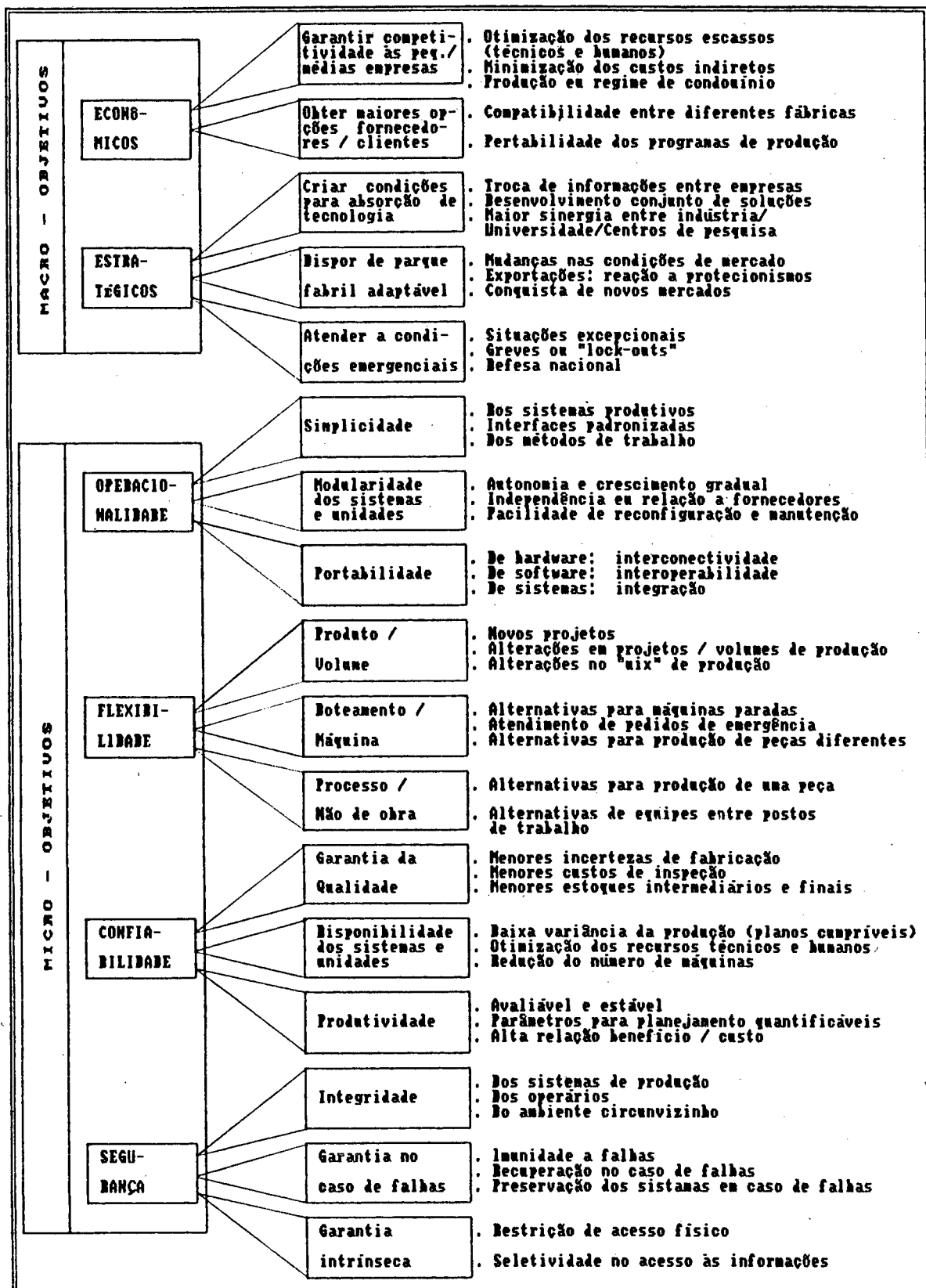


Figura 2.11 - Objetivos da padronização em FMC's

3 ASPECTOS CONTEXTUAIS

Como base da estrutura hierárquica da manufatura flexível integrada, as FMC's dependem sobremaneira de uma série de outras áreas da empresa para que tenham significado produtivo.

Se, do ponto de vista corporativo da empresa, as FMC's encontram-se na base da pirâmide, do ponto de vista da produção flexível elas se situam no centro de estruturas que lhes servem, orientam e controlam (fig. 3.1).

A exploração de toda a potencialidade das FMC's só é possível pela integração perfeita de todas as tecnologias CAx que as circundam.

Os principais reflexos são:

- rápida conversão de pedidos de clientes em produtos sendo fabricados, pela redução dos tempos de processamento dos pedidos e dos tempos de passagem na linha de produção;
- utilização do potencial das ferramentas computacionais como instrumentos básicos na tradução da demanda do mercado em produtos confiáveis e baratos;
- necessidade de um sistema de planejamento da produção otimizado, que garanta plena ocupação das máquinas com a menor movimentação possível das peças e ferramental e com um mínimo de estoques intermediários;
- garantia da qualidade constante associada à redução dos custos de produção (apesar de aparentemente incompatíveis).

Do ponto de vista das FMC's, é importante que a estrutura funcione harmonicamente evitando, principalmente, tanto do ponto de vista físico como lógico:

- atrasos
- conflitos / inconsistências
- redundâncias

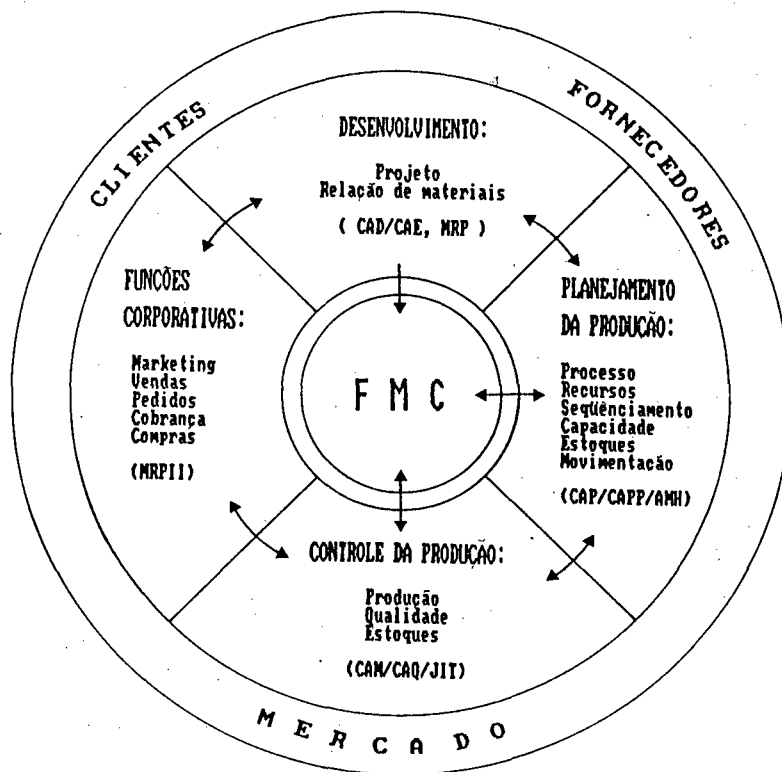


Figura 3.1- O contexto que envolve a produção em uma FMC [5].

3.1 PROJETO E ENGENHARIA

O CAE é um importante apoio ao CAD e à produção pois evita sobrecargas com protótipos e testes, que passam a ser simulados computacionalmente. Afora esse aspecto, o CAE não influencia diretamente no contexto das FMC's. Subsídios adicionais sobre as características do CAE/CAD e seu potencial de utilização em ambiente integrado de manufatura podem ser encontrados em [9, 11, 78, 79].

O CAD, por sua vez, é uma ferramenta muito útil quando se pensa na integração do processo produtivo como um todo, mas não é o seu centro e a figura 1.7 já ilustrava isso.

Sob a ótica da FMC, o interesse maior é pelos resultados do CAD para a produção, ou seja, pelas vantagens citadas a seguir. Para mais detalhes, ver [11, 80, 81, 82, 83, 84].

O CAD só terá todo o seu potencial aproveitado, e só se justificará técnica e economicamente na produção em FMC's, se for integrado ao processo produtivo como um todo, extrapolando as funções clássicas de mera ferramenta de suporte ao projeto [81, 84, 85, 86] e abandonando a atual tendência de permanecer como "ilha de automação" [78, 87, 88, 89]. Numa estrutura integrada, o CAD oferece, de imediato, três vantagens básicas:

- aumento da produtividade dos engenheiros de projeto, executando as tarefas rotineiras, organizando, indexando e buscando projetos similares na base de dados, além, é claro, de desenhar;
- redução dos custos de protótipos, pela utilização de modelos computacionais para estudos e simulações (inclusive via ferramentas de CAE);
- Fornecimento das informações necessárias à fabricação e à inspeção, subsidiando o CAP, o CAPP, o CAM e o CAQ, via bases de dados geométricos e tecnológicos, quando puder ser acessível por toda a estrutura produtiva.

Na prática, entretanto, a idealização acima não se opera tão harmoniosamente como se gostaria. Os problemas principais que ainda cerceiam a plena utilização do CAD como apoio à integração são:

- Falta de padronização dos arquivos, o que dificulta a troca de informações entre CAD's de origem diferentes e entre o CAD e as demais áreas [90, 91, 92];
- Inadequação dos dados geométricos gerados para a correta usinagem: muitos algoritmos de geração de curvas são úteis no traçado de desenho, mas insuficientes ao comando da usinagem [93, 94].

- A incapacidade dos arquivos de CAD de tratarem dados tecnológicos (tolerâncias, por exemplo), marcadamente quando associados aos geométricos e sua respectiva topologia [93, 95, 96, 97].
- Limitações para interpretar os dados geométricos e convertê-los em dados úteis ao processo. É o caso, por exemplo, da geração de trajetórias de ferramenta, ou de auxiliar na escolha das mesmas [98, 99].

Cada um dos problemas acima traz consigo uma série de implicações que se refletem diretamente no rendimento das FMC's, destacando:

- a) O CAD é um dos núcleos de tecnologias proprietárias que atualmente mais amadurece e mais rapidamente evolui (tanto no hardware como no software). Seria imprescindível, assim para o usuário:

poder manter-se atualizado, migrando de uma estrutura de CAD para outra sem perder a sua base de dados já implantada; aproveitar a total potencialidade do sistema adquirido o mais rápido possível, já que estará sujeito à rápida obsolescência (lembrar que a viabilidade econômica do CAD depende da sua integração). Estes aspectos, de fundamental importância, têm tolhido os planos de automação das empresas em função das pressões dos fornecedores de "pacotes" de CAD que procuram manter seus clientes cativos [100, 101].

- b) O CAD não consegue ser a base sobre a qual se apoiam o CAPP e o CAM. Seria preciso que uma entidade "furo", por exemplo, fosse reconhecida automaticamente como tal e pudesse ser acompanhada das suas características topológicas (escalonado, não passante, por exemplo) e tecnológicas (material, tolerâncias, acabamento superficial). O CAD deveria também ter

recursos para apoio à fabricação, para otimização dos projetos ante as restrições da estrutura produtiva.

- c) Apesar dos esforços desenvolvidos, ainda não está disponível uma ferramenta realmente automática que converta os dados existentes no CAD em planos de processo ou em programas otimizados [56, 93, 96, 99, 100]. É justamente a junção dos elementos geométricos, topológicos e tecnológicos que permite ao CAPP definir a seqüência de operações, ferramentas requeridas, velocidades de corte, etc. Os dados oriundos do CAPP e do CAD, por sua vez, permitiriam gerar o programa NC que executaria, por exemplo, o "furo" acima citado.

3.1.1 Os Esforços de Padronização

A integração do CAD depende unicamente das suas interfaces com as demais áreas. Depende, portanto, da estrutura de seus arquivos de dados.

Portanto, não interessa a este trabalho discutir os problemas de padronização internos ao próprio CAD. Ver, a propósito [102, 103, 104, 105, 106].

Já foram produzidas diversas propostas de soluções e muitas normas, inclusive paralelas e concorrentes entre si para tentar integrar o CAD ao ambiente que o cerca. A maioria das tentativas existentes visa apenas definir interfaces para troca de informações entre sistemas CAD diferentes (fig. 3.2a). É o caso do IGES (Initial Graphics Exchange Specification) VDAFS (Verband des Automobilindustrie Flalchen-Schnittstelle), SET (Standard d'Echange et de Tranfert), XBF-2 (Experimental Boundary File-2), CAD*I

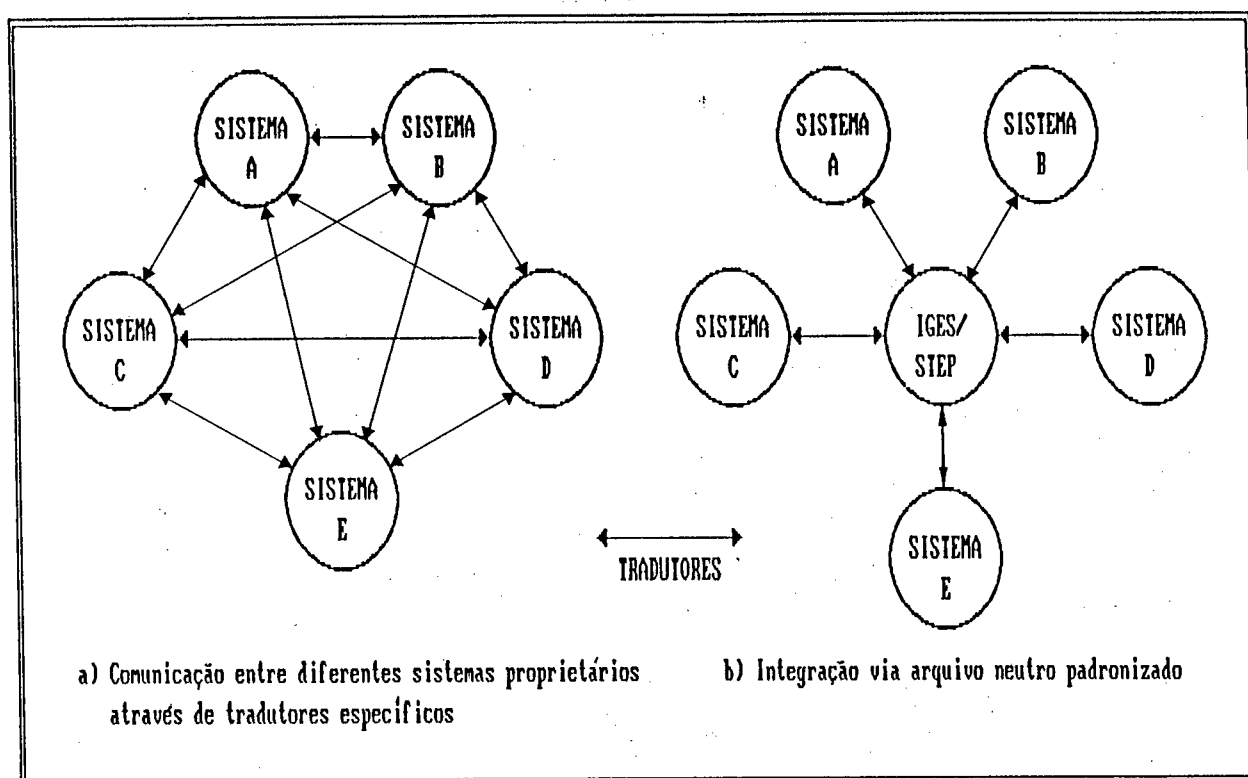


Figura 3.2- Bases de dados de CAD: racionalização na troca de informações pelo uso de arquivo neutro [107]

(Computer-Aided Design * Interfaces), EDIF (Eletronic Design Interchange Format) [76, 78, 95, 97, 101, 107, 108, 109, 110, 111, 112].

Desses, o que mais evoluiu foi o IGES e é, hoje, o mais utilizado. A figura 3.2b ilustra e justifica a concepção de arquivo neutro, base sobre a qual se estrutura o IGES. Este arquivo restringe-se aos dados geométricos. Os dados não geométricos incluídos são apenas aqueles de apoio ao desenho e são tratados como arquivos-texto (cotas, por exemplo). O IGES sofre, ainda, restrições em função das primitivas do arquivo neutro, o que exige interpretação humana dos resultados das transformações para validá-las. Critica-se também o tamanho de seus arquivos e os constantes problemas de arquivos transformados incompletos [111, 113, 114].

A versão 4.0 do IGES é utilizada no projeto STEP (Standard for Exchange of Product Model Data) que surgiu, no âmbito da ISO, da continuação do projeto PDES (Product Definition Exchange

Specification) [90, 111]. Dada a sua importância será discutido em mais detalhes no item 3.3.4.

3.2 PLANEJAMENTO: PRODUÇÃO E PROCESSO

Ao contrário do que se possa imaginar, a tendência de migração para FMC's inteligentes não significa necessariamente torná-las totalmente automatizadas. Na prática, o caminho mais objetivo passa pela transferência gradual ao operador da FMC das decisões antes tomadas em níveis hierárquicos superiores. A MgU da FMC deve dispor das ferramentas necessárias para apoiar o operador em suas decisões. Esta autonomia é importante para que se viabilize as otimizações de processo levadas a termo pelo uso do bom senso do operador e também facilite a necessária realimentação do CAD e do CAPP a partir da experiência do chão de fábrica (rever fig. 1.7), como se verá a seguir. O item 3.4 tratará da interface homem-máquina.

3.2.1 CAP / CAPP

Do ponto de vista da FMC, o planejamento da produção (e sua respectiva ferramenta computacional, o CAP) é de interesse restrito, já que não influi diretamente sobre o desempenho da FMC nem mantém relacionamento direto na troca de informações ou nas ações de controle.

Alguns modelos teóricos, entretanto, atribuem à MgU da FMC tarefas de CAP [115, 116]. É uma alternativa que impõe uma grande sobrecarga à MgU, que é obrigada a dividir-se entre as suas tarefas de gerenciamento da FMC (troca constante de mensagem curtas e com respostas rápidas) com os cálculos interativos complexos e demorados, característicos dos programas de roteamento de produção

e gerenciamento de fluxo de materiais, que são funções delegadas do CAP.

A estrutura aqui sugerida para as FMC's prevê a transferência das atividades de CAP para um nível hierárquico mais alto - o mesmo que gerencia, por exemplo, as atividades de MRPII - compatíveis e complementares ao CAP (não se entrará no mérito das diferenças, semelhanças e funções do CAP e do MRPII).

O planejamento de processo (via o CAPP), por outro lado, tem papel importante no desempenho da FMC.

O CAPP é o elo de ligação entre o CAD e o CAM. É a partir da análise dos elementos de projeto que o CAPP vai elaborar os planos de processo com os elementos que lhes são pertinentes, como o roteamento básico (função dos tipos de MfU envolvidas), seqüenciamento, ferramentas a utilizar em cada tarefa, dispositivos, avanços, velocidades e profundidades de corte, etc.

De posse desses planos de processo (que inclui o desenho da peça, oriundo do CAD), é que o CAM poderá traduzi-lo em programas NC (fase de preparação) e depois executá-los. A separação das funções do CAPP - CAM nem sempre é tão clara, principalmente quando não há uma integração adequada. Muitas das funções acabam por se interpenetrar ou duplicar [89].

Um planejamento cuidadoso para definir as atribuições é necessário. A figura 3.3 ilustra, por intermédio da base de dados distribuída, como se dá o relacionamento entre o CAPP e o CAM (controle), dentro do modelo aqui sugerido. Observe-se como as bases de dados são atualizadas com os dados oriundos do processo. Realimenta-se, assim, continuamente a estrutura produtiva, na medida em que o CAPP atualiza, por sua vez, o CAD e que essas bases de dados são acessadas também pelo CAP. Essa realimentação se dá em dois níveis:

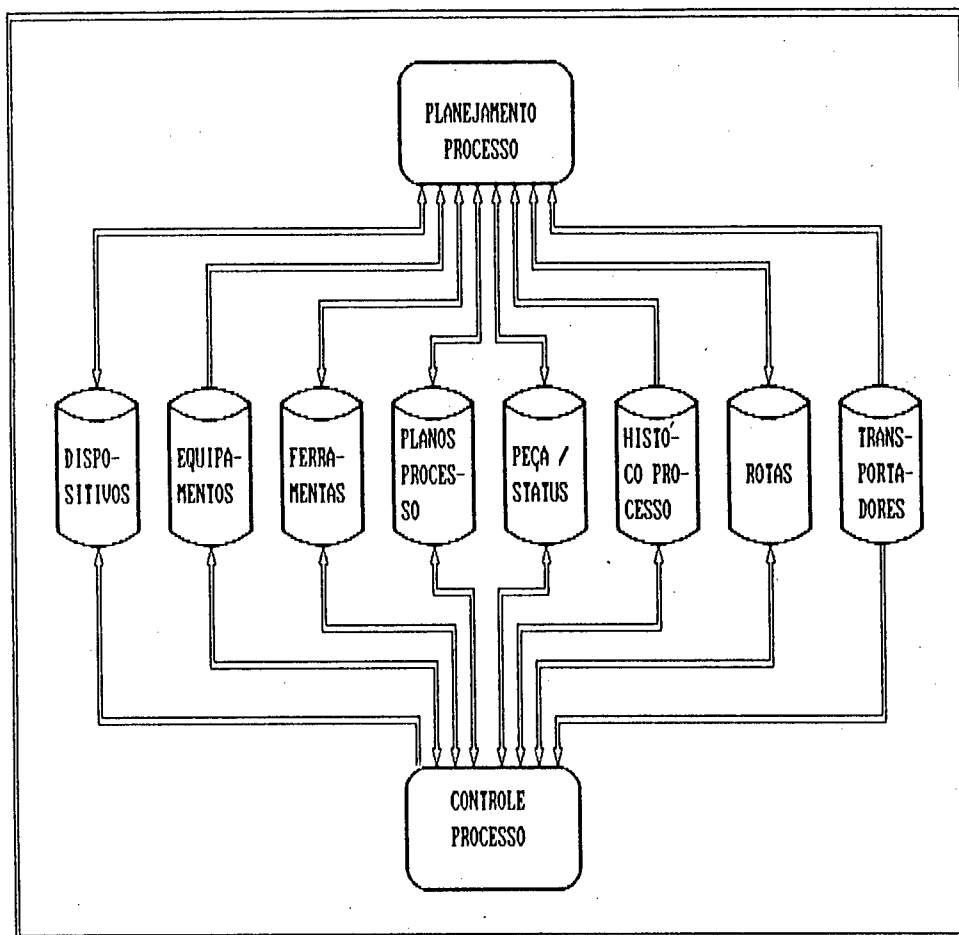


Figura 3.3- Relacionamento entre o CAPP (planejamento) e o CAM (execução) [65]

- mudanças do status da produção: permite saber a cada instante onde está cada peça, ferramenta, dispositivo ou transportador. Ou, através do histórico, saber a situação qualitativa da produção (disponibilidade mecânica, peças rejeitadas, atrasos e suas causas, etc.);
- atualização dos dados de produção: otimizações efetuadas no chão-de-fábrica são repassadas às bases de dados para revisão de valores, programas e métodos adotados. É o caso, por exemplo, de alterações em tarefas, modificações em fixações ou em programas NC, e assim por diante.

O CAPP, é classificado segundo três tipos básicos [5, 56, 117]:

- CAPP variante (ou por recuperação de arquivos);
- CAPP generativo;
- CAPP híbrido.

Eles diferem entre si pela forma como abordam o tratamento dos dados.

O princípio variante baseia-se na recuperação de planos de processo similares existentes que são adotados como padrões e modificados de acordo com as especificações da peça a ser trabalhada. Baseia-se nas técnicas de Tecnologia de Grupo- GT ("Group Technology").

O princípio generativo utiliza-se da lógica desenvolvida a partir dos processos de produção para, através de regras e de formulações matemáticas, poder simular automaticamente a lógica de decisão do processista. Cada peça sempre gera um novo plano de processo cada vez que é requerida pela produção [86]. É um sistema com grande potencial, mas ainda inexistente na prática em função justamente da dificuldade de formulação matemática precisa e da complexidade do processo de decisão (que é muito dependente da experiência, de avaliações subjetivas e das frequentes atualizações tecnológicas). É motivo, hoje, de várias pesquisas em Universidades e Centro de Pesquisas, principalmente na área de Inteligência Artificial, [99, 118, 119, 120].

O sistema híbrido, como o nome já o diz, está entre os dois primeiros. Baseia-se, em geral, no método variante e na GT, incorporando algumas ferramentas disponíveis do método generativo. É uma tendência natural de migração dos métodos variantes.

O processo de criação de um plano, independente do método utilizado, segue sempre o mesmo critério básico, sintetizado na figura 3.4. À FMC, e à sua integração, interessa sobretudo a maneira que o CAPP utilizado seja perfeitamente entrosado na estrutura do

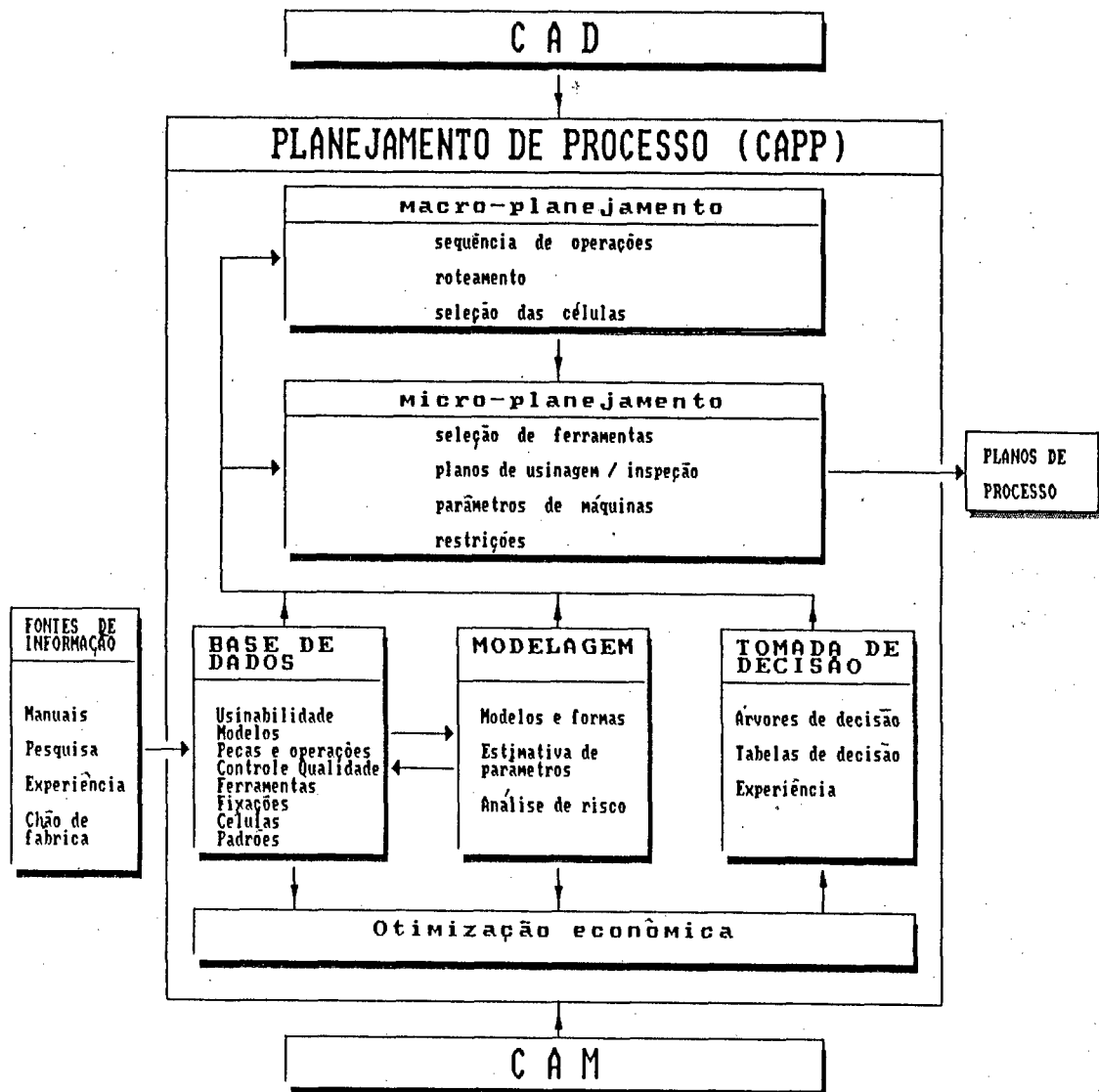


Figura 3.4- Etapas de elaboração de um plano de processo em ambiente automatizado .

sistema de informação, evitando redundâncias ou descontinuidades [121]. A natureza repetitiva da produção com FMC's (descartada a utopia dos "lotes de um") e o existente agrupamento das peças em famílias convidam à adoção dos princípios variante ou híbrido, suportados por uma estrutura de base de dados. A base de dados, por sua vez, se apoia nas bases tecnológicas formal (GT) e informal (experiência). A base de dados é motivo de um estudo mais aprofundado no capítulo 5. A base tecnológica formal é comentada a seguir e a informal no item 3.4.

3.2.2 Tecnologia de Grupo (GT)

A GT é uma filosofia, já antiga, que visa agrupar peças similares em famílias para tirar vantagens dessas similaridades nas diversas etapas da produção [56, 116, 122].

Parte da observação de que, na produção, problemas similares têm soluções similares. Para este propósito, a GT se fundamenta em dois requisitos básicos:

- Reconhecimento das similaridades;
- Memória dos problemas passados e suas soluções.

Os esforços de pesquisa têm se concentrado mais no primeiro item. Tradicionalmente, o segundo item não tem recebido muita atenção [123]. Do ponto de vista da integração, entretanto, a memória dos problemas e de suas soluções é tão ou mais importante que os algoritmos de reconhecimento de similaridade. Ela é que garantirá o aperfeiçoamento de um processo integrado e continuamente atualizado.

O agrupamento em família, que se baseia no reconhecimento de similaridades, pode ser:

- pela forma geométrica;
- pelo processo de fabricação;
- pela combinação dos dois primeiros.

Os métodos utilizados para agrupamento em família são basicamente três [5, 52, 122]:

- inspeção visual;
- classificação e codificação;
- análise de fluxo de fábrica.

Os dois últimos se prestam à automatização e integração e cada um tem suas vantagens e desvantagens (ver [11, 52, 122]).

O método de classificação e codificação se baseia nas informações do CAD (similaridades geométricas) e o de análise de fluxo de fábrica nos dados disponíveis nos planos de processo (similaridades de processo) [11, 86].

Do ponto de vista do projeto e da peça, o método de classificação e codificação é mais vantajoso. Já para a formação das FMC's e otimização dos fluxos e recursos, o método de análise de fluxo de fábrica é mais útil [52]. O ideal seria a adoção de uma solução que contemplasse as vantagens dos dois métodos, como sugerem alguns exemplos em [122].

A Tecnologia de Grupo exerce papel fundamental na integração das FMC's no contexto produtivo [11, 56, 124, 125, 126], pois:

- facilita a formação de FMC's;
- permite a rápida recuperação de projetos e de planos de processo;
- racionaliza a elaboração de novos projetos e reduz redundâncias de fixação;
- permite a coleta de dados confiáveis das peças e da produção para fins estatísticos e de controle;
- facilita as estimativas de necessidades de máquinas e de balanceamento de suas cargas;
- racionaliza o projeto e o uso de ferramentas e dispositivos de fixação;
- reduz os tempos de preparação ("set-up") e de passagem ("throughput times");
- facilita a programação NC.

Outras características interessantes e também aspectos econômicos podem ser encontrados em [122, 126, 127, 128].

A figura 3.5 ilustra um exemplo de formação de famílias, destacando as células criadas após o reagrupamento por algoritmo apropriado, baseado em análise de fluxo de fábrica. Destaca-se o potencial da

Peça	Número da máquina																						
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
A	X	X														X		X		X			
B		X			X		X	X	X					X					X				X
C	X		X	X						X		X											X
D		X			X			X	X										X				X
E						X				X		X											
F						X				X		X			X		X					X	
G	X		X	X							X	X				X		X					
H	X		X	X							X	X				X		X		X			X
I						X				X					X		X					X	
J						X				X		X			X		X					X	
K		X						X	X												X		
L		X			X		X	X	X					X						X			X
M	X		X	X							X	X				X		X	X	X			X
N		X					X	X	X					X									
O						X				X					X		X					X	

a) antes do agrupamento

Peça	Número da máquina																						
	02	08	09	19	22	05	10	14	01	03	04	11	13	16	18	20	23	06	10	15	17	21	12
B	X	X	X	X	X	X	X	X															
D	X	X	X	X	X	X																	
K	X	X	X	X																			
L	X	X	X	X	X	X	X	X															
N	X	X	X	X			X	X															
A									X	X				X	X	X							
C									X	X	X	X	X				X						
G									X	X	X	X	X	X	X								
H									X	X	X	X	X	X	X	X	X						
M									X	X	X	X	X	X	X	X	X						
O															X			X	X	X	X	X	X
E																		X	X				X
F																		X	X	X	X	X	X
I																		X	X	X	X	X	X
J																		X	X	X	X	X	X

b) depois do agrupamento

Figura 3.5- Análise de grupo, com destaque para a organização das células [52]

GT também para otimização das células, na medida em que fornece recursos para:

- Avaliação do grau de flexibilidade da célula e a identificação de possibilidades de substituição de MT específicas por equipamentos mais flexíveis;

- Identificação de famílias abrangentes ou específicas, com maior ou menor número de peças, grande ou pequena coesão de similaridade;
- estudos de "lay-out's" das FMC's e dos FMS's.

O fato das FMC's agruparem menor número de máquinas que as células convencionais faz com que os algoritmos de agrupamento tenham seus tempos de processamento bastante reduzidos. Além disso, outros problemas normalmente encontrados na implantação do conceito de GT [52] são evitados ou simplificados. É o caso do balanceamento das máquinas da célula, da distribuição equilibrada de carga entre células, ou os decorrentes da introdução de peças não previstas no plano original de produção [129].

3.2.3 Integração CAD - GT - CAPP

A GT é a ponte que une os diferentes conceitos de integração. E isso impõe restrições às diversas áreas envolvidas:

- ao CAD: projetos orientados ao enquadramento das peças dentro das famílias existentes;
- ao CAPP: planos de processo baseados também no histórico dessas famílias - o que induz ao uso de CAPP's variantes ou híbridos;
- ao CAP: planos de produção orientados para as famílias existentes (inibe a introdução de novos produtos que não se enquadrem nas famílias existentes).

O sistema integrado CAD-GT-CAPP deve procurar otimizar as interfaces CAD-CAPP em benefício, em última instância, do desempenho da FMC [93, 99, 118].

Espera-se, dessa forma, atingir um nível ótimo de desempenho dessas interfaces, garantindo as necessárias flexibilidades de produto, processo e roteamento para a FMC.

Entretanto, ainda existem barreiras a serem ultrapassadas para a automatização dos agrupamentos em famílias e elaboração dos planos de processo. Dentre elas destaca-se a citada limitação do CAD para transferência dos dados topológicos e tecnológicos da peça.

A melhor perspectiva para solução deste problema de forma consensual e padronizada está associada ao projeto STEP/PDES. Ele enfoca o problema a partir do intercâmbio de Modelos de Produtos com informação suficiente para que seja interpretado diretamente por programas aplicativos avançados de CAD/CAPP/CAM. [110, 113].

3.2.4 O Projeto STEP

O STEP extrapola o modelo geométrico do IGES modificando-o para permitir agregar as necessárias características topológicas e tecnológicas que complementam a descrição de uma peça ou produto.

O Modelo de Produto previsto no projeto STEP, descreve e comunica características essenciais dos objetos físicos. Estes são descritos quanto à sua forma física, dimensões e especificações técnicas. O processo de definição do produto engloba todo o seu ciclo de vida [95, 111]:

- projeto e análise;
- fabricação e manipulação;
- montagem;
- inspeção;
- marketing;
- assistência técnica.

O Modelo de Produto completo inclui a árvore de decomposição do produto em componentes e estes em peças. Cada peça é identificada univocamente e inclui:

- especificação de matéria prima;
- geometria da peça acabada;
- tolerâncias geométricas;
- acabamento superficial;
- definição de características;
- especificações para processo, inspeção e intercambiabilidade de peças.

A peça deixa de existir como um desenho. Suas especificações são imutáveis a não ser que ocorram alterações de projeto. Nesse caso, as alterações serão incorporadas à história da peça e uma nova identificação é dada, acusando as modificações de acordo com um conceito de versões.

Os arquivos de modelo de produto passam a ser manipulados através de uma estrutura de base de dados cuja sintaxe e semântica permita recuperar a história de cada peça que compõe o produto ao longo de seu ciclo de vida. A figura 3.6 apresenta um resumo dos elementos que compõem os dados do Modelo de Produto, que permite visualizar e entender a arquitetura do sistema [111, 130].

A figura 3.7 esquematiza a montagem da estrutura do modelo de dados de uma peça [111, 113]. O cabeçalho de identificação aponta para os dados geométricos. Estes, por sua vez, se associam à estrutura topológica e respectivas características. A estas, finalmente, são associados os parâmetros de funcionalidade que valoram as características. O ponto chave da abordagem do STEP é o conceito embutido de características. O objetivo é que, em uma estrutura ideal de produção, cada peça possa ser representada pelas características de interesse, usando a mesma linguagem familiar ao técnico que manipula a peça [131].

<p>1. Identificação de Arquivo sistemas-ponte unidades</p> <p>2. Identificação da Peça identificação do desenho nome da peça número da peça versão / "status" especificações aplicáveis</p> <p>3. Especificação da Matéria Prima tipo de material características pré-trabalhos exigidos especificações aplicáveis</p> <p>4. Geometria Detalhada "wire frame" modelo sólido</p> <p>5. Topologia características especificações restrições</p>	<p>6. Definição de Características tipo de característica nome de características geometria associada referências externas biblioteca macros especificações aplicáveis</p> <p>7. Descrição de Tolerâncias definições globais características controladas limites admissíveis registros de referência</p> <p>8. Especificações de Processo tratamento térmico acabamento superficial requisitos de montagem requisitos de inspeção</p> <p>9. Estrutura de Produto produtos aplicáveis lotes montagem conjunto entidades externas</p>
--	---

Figura 3.6- STEP: elementos da estrutura do Modelo de Produto [130]

A versão preliminar do STEP que está em discussão na ISO ainda está incompleta. Alguns dos elementos faltantes são relevantes [130]:

- não inclui dados para informação sobre acabamento superficial, rebarbas e revestimentos;
- não permite o agrupamento estruturado das características mais usadas;
- a inclusão de partes padronizadas na biblioteca (como parafusos, porcas, perfis) não está prevista para curto prazo;
- tolerâncias de forma e posição ainda não se integram no modelo de apresentação.

Algumas dessas restrições são tidas como resolvidas até a data prevista para publicação da versão 1.0 (1990 ?). De qualquer modo, o STEP já assegura uma poderosa interface de comunicação entre as diversas áreas de produção, e até mesmo entre a empresa e seus fornecedores.

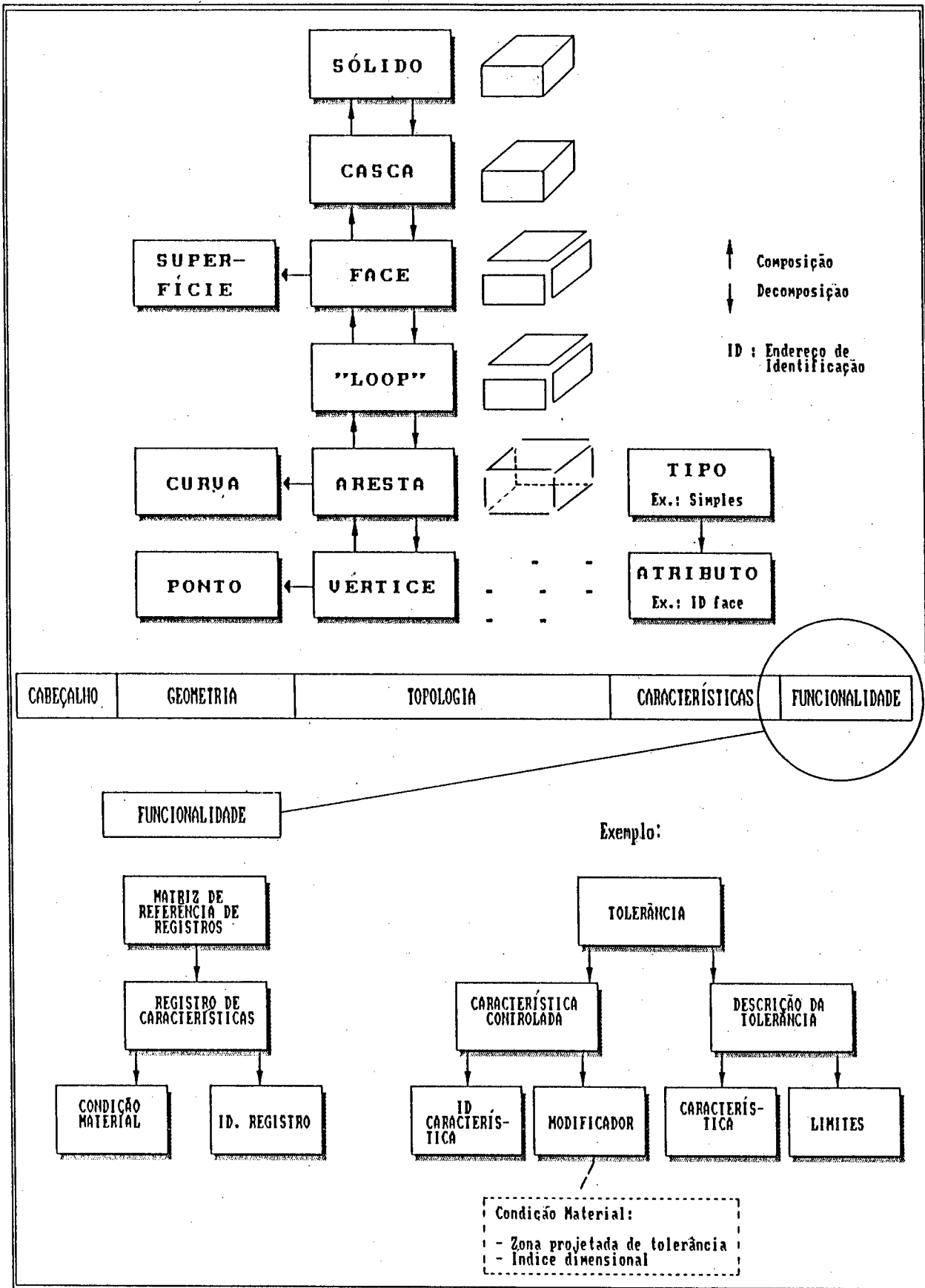


Figura 3.7- Construção do Modelo de Dados de Produto (concepção PDES/STEP) [124]

Dada a sua abrangência, espera-se que o STEP seja realmente uma solução que ponha fim na "torre de babel" que constitui a integração do CAD na estrutura produtiva. O apoio dos usuários a esse projeto tem sido bastante forte [101, 110, 111].

Um modelo de FMC que preveja a integração com uma visão de longo prazo deverá, certamente, se apoiar em padrões como o STEP e seu projeto já deve, desde o início, ser previsto visando este objetivo.

3.3 AS PEÇAS

Uma contradição fundamental tem que ser conscientemente tratada no projeto de cada peça: a incompatibilidade entre flexibilidade e produtividade.

Se o conceito de produção com FMC's se apoia fundamentalmente na flexibilidade (em todas as suas vertentes), não há como evitar que a produção em lotes muito pequenos eleve o custo de produção [15].

A GT já presta grande serviço à produtividade ao disciplinar o projeto e o planejamento. Entretanto, nem sempre a GT provê as ferramentas necessárias à otimização dos projetos das peças visando a produção em FMC's. Além disso, a literatura é um tanto omissa no tratamento desta questão, que, em última instância, traduz-se em um problema de padronização, interno a cada empresa.

Ao considerar a produção com FMC's é importante determinar padrões associados ao projeto das peças, já desde a GT, principalmente os referentes a:

- materiais;
- peças a processar;
- manipulação e transporte;
- operações especiais.

3.3.1 Materiais

Cada tipo de material (entendido aqui tanto quanto à sua composição como quanto ao processo de produção) impõe condições específicas de usinagem e ferramental adequado.

A primeira restrição que se apresenta refere-se aos materiais inadequados à produção automatizada. É o caso simples, por exemplo, dos aços de baixo carbono. Estes tendem a gerar cavacos em forma de fita, que impõem interferência permanentemente do operador para retirá-los, além de prejudicarem a operação do extrator de cavacos. Materiais com restrições dessa natureza, são inadequados para produção em FMC, a não ser que sofram um tratamento térmico adequado.

Como princípio orientativo, a padronização deve visar a redução da variedade de materiais utilizados àqueles que melhor se adaptam à produção automatizada. As vantagens decorrentes seriam:

- banco de dados de informações tecnológicas de usinagem menor e mais facilmente gerenciável;
- melhor conhecimento tecnológico do processo, através da história acumulada e da maior facilidade para testes de otimização;
- redução do número e variedade de ferramentas no estoque;
- redução do estoque de matérias-primas (e do número de fornecedores).

3.3.2 Peças a Processar

A solução mais simples seria padronizar rigidamente as peças a processar. Esta tem sido uma alternativa bastante utilizada nos projetos de FMC's (como, por exemplo, o uso de barras cilíndricas ou blocos). Entretanto, são tantas as restrições técnicas e de custo impostas que torna-se inviável generalizar esta opção para

todo e qualquer projeto. É preferível definir parâmetros que orientem a escolha da melhor alternativa em prol da constância de qualidade. Dois aspectos se destacam:

- qualidade do material;
- constância dimensional.

A qualidade do material influencia principalmente no desempenho das ferramentas. Inclusões ou falhas do material podem acarretar quebra imediata da ferramenta. Variações na composição do material tornam imprevisível a vida da ferramenta. Em ambos os casos o problema é sério para o gerenciamento e operação automática da FMC. A única solução está no controle rígido do fornecimento das matérias primas.

A inconstância dimensional é um problema, principalmente quando se trata de fundidos. E se reflete na FMC nos problemas de fixação e na usinagem.

Na fixação e agarramento, tanto na MfU como na THU podem ocorrer falhas de posicionamento que acabam por comprometer a peça. Em condições extremas pode acontecer a impossibilidade de agarramento pelo manipulador ou pela fixação (ou não consegue agarrar devido às sobre-medidas ou, na situação oposta, solta-se durante a manipulação ou usinagem).

Na usinagem o problema se reflete no rendimento do conjunto MT - peça - ferramenta. Variações grandes de sobre-material acabam por impor condições conservadoras de usinagem a fim de se preservar contra as piores situações, em detrimento do rendimento da FMC.

A solução dos problemas acima requer a imposição aos fornecedores de matéria-prima, de um rígido controle da qualidade de materiais e limites estreitos de sobre-material ("near-net-shape") [132], diminuindo, assim, os tempos de usinagem, a produção de cavacos, o desgaste de ferramentas e, naturalmente, os custos de produção.

3.3.3 Manipulação, Transporte e Operações Especiais

É importante observar que os manipuladores trazem consigo problemas de erros de posicionamento, falta de sensibilidade e limitação quanto às alternativas de agarramento da peça no volume de trabalho do manipulador.

Em certas operações de usinagem, a peça terá que ser manipulada mais de uma vez para que se complete o ciclo (mudada de posição, troca de dispositivo, etc.)

Isso tudo impõe à peça, ao dispositivo de fixação e ao manipulador uma coerência mínima de projeto para que não ocorram falhas de fixações que comprometam ou impeçam a usinagem. A peça contribui para o sucesso dessa coerência, através de um projeto preocupado com a fixação e com as tolerâncias da peça a processar [60, 132, 133].

É possível prever, por exemplo, a fixação de uma família de peças através de sobre-material de dimensões padronizadas, que seria cortado fora ou descolado após a usinagem. A moderna tecnologia de adesivos já permite o uso de sobrematerial colado, o que traz a grande vantagem de permitir seu reaproveitamento e padronização (fig. 3.8) [134, 135]. É uma solução interessante principalmente quando a família é constituída por grande número de itens com pequenos lotes de produção (situação que imporia uma grande variedade de dispositivos sub-utilizados).

Outro aspecto a ser considerado se refere à identificação. A previsão de um local para identificação na própria peça, quando possível, é uma forma interessante de acompanhar a evolução na linha de produção. Produtos de maior responsabilidade, onde interessa manter um histórico de cada peça ao longo de todo o seu ciclo de vida, são candidatos naturais a este tipo de solução (é o

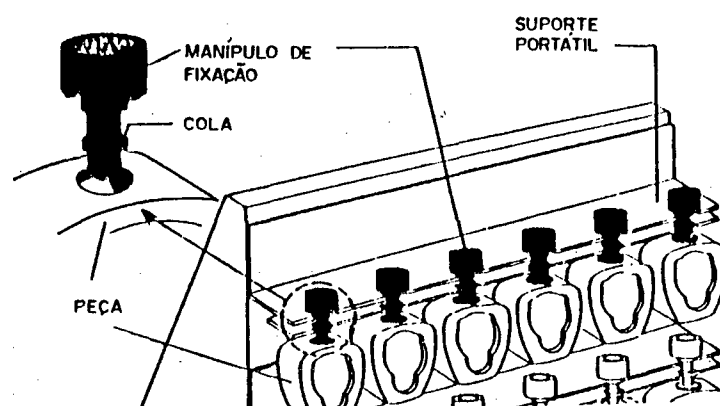


Figura 3.8- Sobrematerial para fixação e manipulação: sugestão de manipulador colado reutilizável [59]

caso, por exemplo, de turbinas de uso aeronáutico, unidades de memória de massa de computadores, equipamentos hospitalares e muitos outros).

Ressalte-se que estes aspectos do projeto acima citados são passíveis de padronização apenas a nível interno de cada empresa pois são muito dependentes das características das famílias de peças e da estrutura do sistema de produção.

3.4 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

Quando do seu surgimento, esperava-se que os FMS's pudessem dispensar totalmente a intervenção humana ou, pelo menos durante um turno completo [15]. O próprio tempo e a evolução da tecnologia trataram de sugerir uma solução consensual que, ao priorizar a qualidade, entregou ao homem as decisões de real importância para a orientação da produção. O que ocorre, na prática, é o deslocamento do homem das operações rotineiras para as inteligentes, entregando aos equipamentos computadorizados as tarefas repetitivas e com tomadas de decisão simples. O controle computadorizado das FMC's será discutido no capítulo 5.

O operador humano, bem treinado, ainda é fundamental como supervisor no controle das FMS/FMC's, principalmente quando se exigem tomadas de decisão flexíveis e ágeis diante de ocorrências paralelas inesperadas (fig. 2.7) [136].

A figura 3.9 resume uma comparação entre as aptidões humanas e dos equipamentos computadorizados na operação de FMS's, útil na delimitação das interfaces homem/máquina.

3.4.1 Perfil da Mão de Obra

A intervenção humana é necessária em três situações básicas [137]:

- na produção, durante o ciclo normal de fabricação;
- na preparação das máquinas para produção ("set-up");
- na manutenção (preventiva e corretiva).

Em todos os casos, as principais ações humanas estão associadas à:

- capacidade de julgamento do homem (inclui também a intuição);
- destreza para execução de tarefas delicadas;
- experiência, traduzida na capacidade de reagir a situações imprevistas, baseando-se em associações comparativas;
- capacidade de reconhecimento de características (principalmente quando ocorrem associadas).

Percebe-se daí que o perfil da mão de obra necessária para estas ações deve ser:

- de bom nível intelectual;
- experiente;
- bem treinado.

Por outro lado, não necessariamente tem que ser de uma origem especializada, mas deverá ter bom conhecimento:

- do processo;
- do relacionamento da FMC com o sistema produtivo;

F M S	EQUIPAMENTOS COMPUTADORIZADOS	HOMEM
<p>OPERAÇÃO FÍSICA</p> <ul style="list-style-type: none"> - carga e descarga - ajuste da peça na MfU (peças prismáticas) - troca de ferramentas - "pre-setting" de ferramentas - seqüenciamento 	<ul style="list-style-type: none"> . pode direcionar robô para manipular até 900 kg; . fornece tipo, nº e quantidade de peças; . ilustra graficamente a disposição de cada peça; . difícil de determinar a orientação da peça. . muito difícil se a peça não estiver pré-fixada no palete; . usa dispositivos de trava para fixar no palete; . é necessário "visão" no equipamento; . não disponível para alta precisão e geometria complexa. . troca automaticamente magazine de ferramentas (erro posic. = +/- 5mm); . avisa quando a ferramenta atinge limite previsto e instrui o robô para retirar; . não disponível para alta precisão e geometria complexa. . heurísticas computacionais provêm bons seqüenciamentos, sem garantia de solução ótima; . simulação avalia o seqüenciamento. 	<ul style="list-style-type: none"> . capacidade limitada do braço. Dependente do tipo de movimento e direção da carga. Fadiga; . verifica dados da peça, notifica ao computador a peça carregada e suas características. . lento, mas com excelente capacidade de reconhecimento de características. . insere ferramentas manualmente; . verifica a ferramentas quando o computador emite sinal. . bom operador realiza estas tarefas; . precisão de posicionamento: <ul style="list-style-type: none"> - com dispositivo de realimentação: +/- 0,1 mm (bom) - sem dispositivos de realimentação: +/- 30,0 mm (ruim) . intuição ajuda a determinar o algoritmo. Intervém para ajudar o computador a otimizar. . Entra dados para simulação e avalia.
<p>CONTROLE DE EQUIPAMENTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - MfU - Robô <p>DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO/INSPEÇÃO</p>	<ul style="list-style-type: none"> . CNC controla motores de eixos, árvore, trocador de paletes, etc. . DNC descarrega programas para CNC . mais rápido e preciso . Controlador do Robô controla os movimentos . Sensores fornecem a realimentação de acordo com suas especialidades . DNC descarrega programas e instruções para robô . condições muito limitadas para aprender ou se adaptar ao ambiente . pode controlar sistemas de medição automatizados . apresenta os resultados para análise do QC. . faixa de utilização limitada . pode tratar tolerâncias inferiores a +/- 0,03mm 	<ul style="list-style-type: none"> . modifica programas em execução . supervisiona o controle e monitora "status" . treina o robô transferindo sua "inteligência" para o computador . boa capacidade de reconhecimento de características . fácil aprendizagem e flexível na adaptação ao ambiente . estabelece critérios para o sistema de medição . boa capacidade de julgamento . limite detectável: +/- 1,0 mm
<p>CONTROLE DE FLUXO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Supondo taxa de entrada de 0,5 a 10 peças/h 	<ul style="list-style-type: none"> . alta capacidade para receber informações . usa os dados obtidos para seqüenciamento e dimensionamento de capacidade para estabelecer taxa 	<ul style="list-style-type: none"> . capacidade limitada para aceitar informação (< 20 bit/s) . monitora e identifica taxas anormais . determina taxas máxima e mínima

Figura 3.9- Comparativo entre as capacidades humana e dos computadores na operação de FMC's [138]

F M S	EQUIPAMENTOS COMPUTADORIZADOS	H O M E M
CONTROLE DE TRÁFEGO	<ul style="list-style-type: none"> . pode otimizar o transporte de peças, dispositivos e ferramentas no sistema . controle correto depende da realimentação de sensores . se realimentação é incorreta, computador pode errar 	<ul style="list-style-type: none"> . bom julgamento comparativo para corrigir problemas de controle de tráfego . programa o controlador para o transporte . boa detecção de erros. Tempo de latência na resposta: 110 - 530 ms
MONITORAMENTO DO SISTEMA - vida/desgaste de ferramenta - controle de qualidade - status do sistema	<ul style="list-style-type: none"> . anota o tempo acumulado de uso. Informa o controle para troca quando atinge limite . sensores monitoram desgaste e/ou quebra. Difícil avaliar momento exato adequado para troca . analisa alterações na qualidade, detecta desgastes ou outras mudanças de condições. Informa ao homem para tomada de decisão . compara geometria da peça com o padrão e calcula ajustes necessários para corrigir . atualiza, minuto a minuto, o status de todo o sistema . pode diagnosticar ocorrências rápida e precisamente . relata problemas de execução. Redireciona a peça se possível 	<ul style="list-style-type: none"> . ajuda na supervisão atualizando bases de dados com fatos novos . tem controle sobre a vida da ferramenta. Pode alterar programa se ocorrer necessidade . toma as decisões para a garantia da qualidade . pode identificar e adotar novos planos para QC . monitora o status globalmente com flexibilidade . questiona o computador na ocorrência de falhas . capacidade computacional baixa < 5 bit/s
OUTRAS FUNÇÕES - armazenamento de programas - registro dos estoques de peças e ferramentas - determinação de prioridades - emergência - manutenção - reparo	<ul style="list-style-type: none"> . pode armazenar e gerenciar grande quantidade de programas . pode descarregar programas com velocidade de até 10 Mbit/s . confiabilidade pode ser aumentada com arquivos redundantes . mantém grande base de dados . atualização pode ser automática ou manual . aplica as regras pré-determinadas . pode desligar o sistema de acordo com a seqüência pré-programada . pode manter um programa pré-estabelecido . atualiza a base de dados a cada ocorrência . pode diagnosticar origem do problema em ordem de prioridades, desligando (se crítico) ou avisando o operador (se menos crítico) 	<ul style="list-style-type: none"> . revisa os arquivos de programas . decide quanto à inclusão de novos programas ou modificações nas existentes . aumenta a confiabilidade ao decidir quanto ao "back-up" . atualiza os estoques. Acrescenta ferramentas ao estoque . escreve o software que determina essas regras . tempo de reação para situações simples: 0,25 a 0,35 s. Aumenta com a complexidade da situação . boa capacidade de detecção e correção . determina os padrões de manutenção . executa a manutenção periódica, verifica visualmente os pontos de observação . trata manualmente dos problemas de manutenção . o sistema depende do homem para reparo

Figura 3.9-
(cont.)

Comparativo entre as capacidades humana e dos computadores na operação de FMC's [138]

- dos equipamentos sob sua supervisão;
- do software que manipula.

Um perfil, como se nota, exatamente oposto ao procurado para atender as necessidades da produção seriada convencional.

A migração gradual para sistemas inteligentes tira também gradualmente da mão do operador as operações rotineiras. A supervisão de uma FMC' inteligente exige a maior qualificação e capacidade de julgamento ao operador. Este lidará quase que exclusivamente com situações de crise, envolvendo imprevistos acumulados que exigem tomadas de decisões rápidas após avaliação de diversos e variados parâmetros, envolvendo problemas de:

- software e hardware;
- dos sistemas monitores de segurança;
- das interfaces intra e extra - FMC.

3.4.2 Segurança nas FMC's

O não envolvimento da mão de obra diretamente com a execução pode sugerir uma segurança que, na realidade, não ocorre.

As FMC's trouxeram consigo uma série de problemas novos de segurança que passaram a exigir uma abordagem também nova [60, 139]. A segurança em FMC's é motivo, hoje, de alguns trabalhos de padronização [19, 77, 137].

Distingue-se três tipos distintos de integridade quando se refere a FMC's.

- física;
- lógica;
- humana.

A primeira se preocupa com os equipamentos e o seu projeto para a operação segura. É da responsabilidade do fabricante do equipamento, que se encarrega de incorporar os elementos de segurança necessários (válvulas, batentes, limitadores, etc).

A segunda já é mais complexa pois exige o intertravamento de hardware e software entre equipamentos que se interrelacionam. Por exemplo, a THU só deve se mobilizar para transferir uma peça da MfU para a lPU se:

- não houver presença humana na área;
- se o MfU puder abrir a porta de segurança e liberar a peça da fixação;
- se a lPU estiver pronta para receber a peça, com porta de segurança aberta e dispositivo de fixação preparado.

A integridade humana, por ser a mais importante, é motivo de um aprofundamento maior nesse trabalho e é comentada a seguir.

3.4.3 A integridade Humana em FMC's

Já existe um certo consenso em relação aos procedimentos básicos de segurança e algumas premissas importantes são assuntos nos trabalhos que se desenvolvem atualmente [19, 137, 139]:

- a segurança do homem vem em primeiro lugar;
- uma estratégia de controle dos riscos deve implementar, pelo menos:
 - a eliminação ou controle das fontes de risco já no projeto;
 - o controle à exposição às fontes de risco pelo uso de proteções ou equipamentos de segurança;
 - a colocação de avisos de alerta dos riscos ao pessoal nos locais considerados críticos.

Estas premissas colocam consequências importantes, sendo as principais anotadas a seguir:

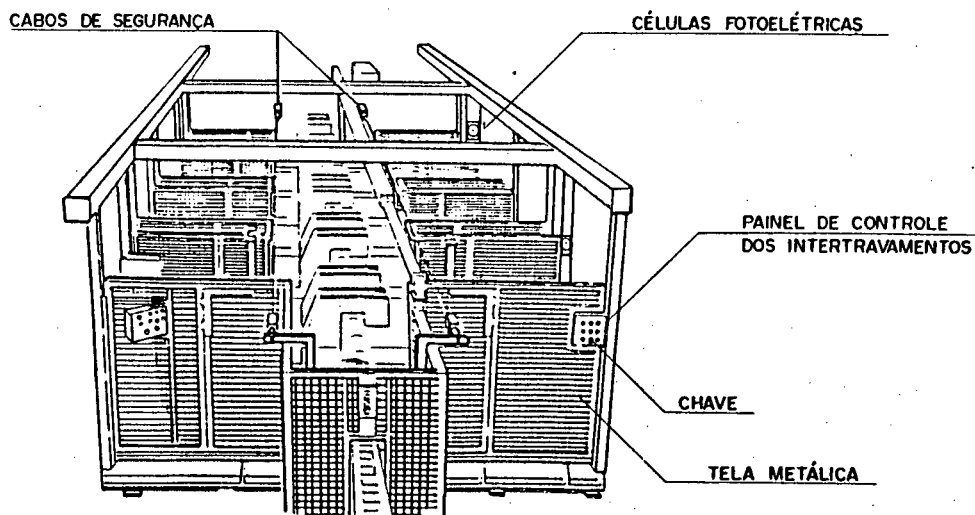
- a) diante de qualquer possibilidade de risco ao homem, todo movimento tem que ser imediatamente interrompido (no caso da entrada inadvertida de uma pessoa no volume de trabalho de um robô, por exemplo), mesmo que signifique perda da produção, da peça ou prejuízo aos equipamentos. Surge aqui o problema da restauração do sistema ao seu estado anterior à falha, que não é previsto nos estudos voltados para a segurança. Este problema se estende ao caso da queda de energia na fonte de alimentação. O tratamento do problema é sério em FMC's pois exige a ressincronização de todos os equipamentos que, por sua vez, necessitam ser referenciados aos seus próprios sistemas de coordenadas. Uma FMC inteligente deve contemplar "backup's" de memória não volátil para cada equipamento de forma a assegurar o imediato retorno à condição de operação prévia à falha;
- b) os sistemas de segurança e seus intertravamentos não devem ser baseados em software ou firmware. Devem ser eletromecânicos ou mecânicos [19]. Este aparente "retrocesso tecnológico" fundamenta-se na falta de confiabilidade potencial dos primeiros a interferências de qualquer natureza, inclusive humana. Os sistemas mecânicos, além de mais imunes, são mais difíceis de serem burlados quando bem projetados.
- c) indicação de status e alarme dando preferência a mensagens explicativas (em tela, por exemplo). Além de auxiliarem o operador na tomada de decisão, são mais seguras que luzes individuais (que tendem a falhar). Os alarmes para quem

trafega na circunvizinhança da FMC podem ser visuais ou sonoros e devem ter características bem próprias, padronizados para cada circunstância (operação normal, alerta, alarme de parada, falta de peças, etc) [19].

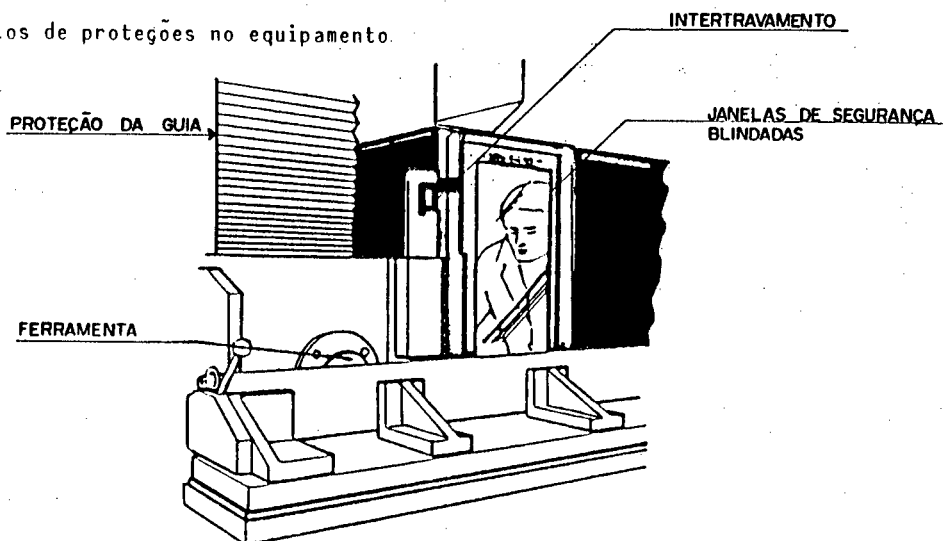
d) todo um conjunto de medidas de segurança tem que ser previsto para a intervenção de pessoas na célula. As intervenções durante a operação normal devem ser fora da área de risco e em condições controladas (para troca de ferramentas gastas no magazine, por exemplo). Operações de "set-up" ou de manutenção, que exigem a entrada do pessoal na FMC, têm que ser acompanhadas de um elenco de precauções que garanta que o sistema só volte a operar quando não houver mais ninguém na área de risco.

A figura 3.10 ilustra alguns dos itens de segurança previstos para uso em FMC's baseados nas experiências já adquiridas com a operação de equipamentos mecânicos e elétricos.

a) Sistemas de proteção típicos de uma FMC



b) Exemplos de proteções no equipamento.



c) Dispositivo de trava da chave geral da FMC. Cada cadeado corresponde a um empregado

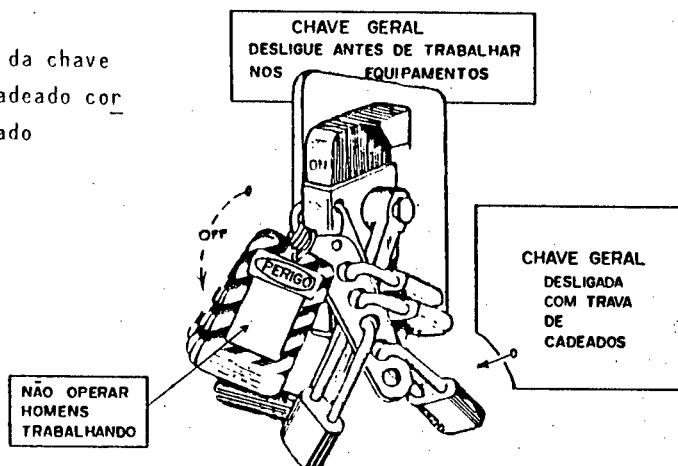


Figura 3.10- Exemplos de sistemas de segurança para FMC's [19]

4 ASPECTOS FÍSICOS

Os aspectos físicos de uma FMC relacionam-se com tudo o que se poderia chamar de mecânico. Tratam, portanto, de uma área que conta com uma base tecnológica já amadurecida e com padrões sedimentados, envolvendo grande quantidade de normas.

A introdução do conceito de FMC impõe a integração de tecnologias até então estudadas e entendidas isoladamente. O fato é que nenhuma iniciativa que privilegia a visão de conjunto foi tomada até agora. A literatura é omissa no tratamento do problema aventurando-se a, no máximo, sugerir orientações específicas [61, 142, 143, 144, 145].

A visão de conjunto é necessária para que se atinja os objetivos de flexibilidade e operacionalidade da FMC. Busca-se a otimização do sistema como um todo, o que nem sempre significa a obtenção da máxima eficiência tecnológica de cada função individual [66].

A análise dos aspectos físicos foi segmentada para facilitar a abordagem. Objetiva-se apresentar soluções padronizáveis que visem a otimização das interfaces de cada uma das unidades de uma FMC para usinagem. Não são avaliados, nesse caso, aspectos de desempenho das operações de cada unidade, uma vez que estes dependem de análises de relações custo/benefício específicos para cada projeto de FMC.

A abordagem do problema contempla dois casos distintos:

- FMC's para peças prismáticas;
- FMC's para peças de revolução.

As primeiras são geralmente baseadas em centros de usinagem. Nesse caso, duas interfaces necessitam de maior atenção:

- a entrada/saída dos paletes;

- a troca de ferramentas no magazine.

As segundas baseiam-se normalmente em tornos CNC ou centros de torneamento. Os principais aspectos endereçados são:

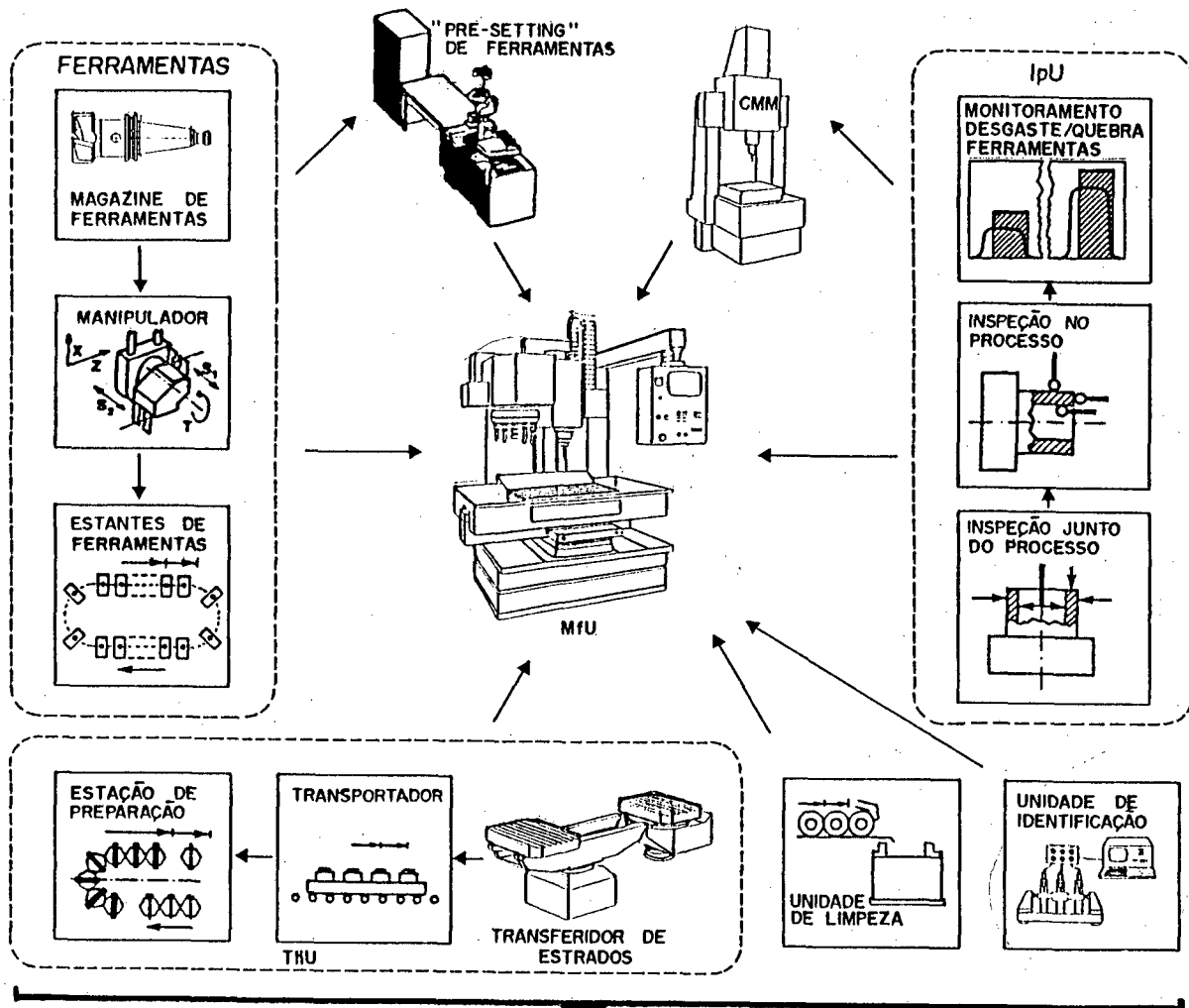
- a alimentação de peças na MfU;
- a troca de ferramentas gastas ou quebradas;
- a substituição dos elementos de fixação.

Observa-se que as restrições para automatizar FMC's de peças de revolução são maiores que para prismáticas. Os ciclos usualmente mais curtos de usinagem e a tendência para programação de lotes cada vez menores contribuem decisivamente para tal, na medida em que impõem maiores restrições nos projetos das interfaces. Isso explica em grande parte a pequena difusão das FMC's para peças de revolução se comparadas às de peças prismáticas [143, 146].

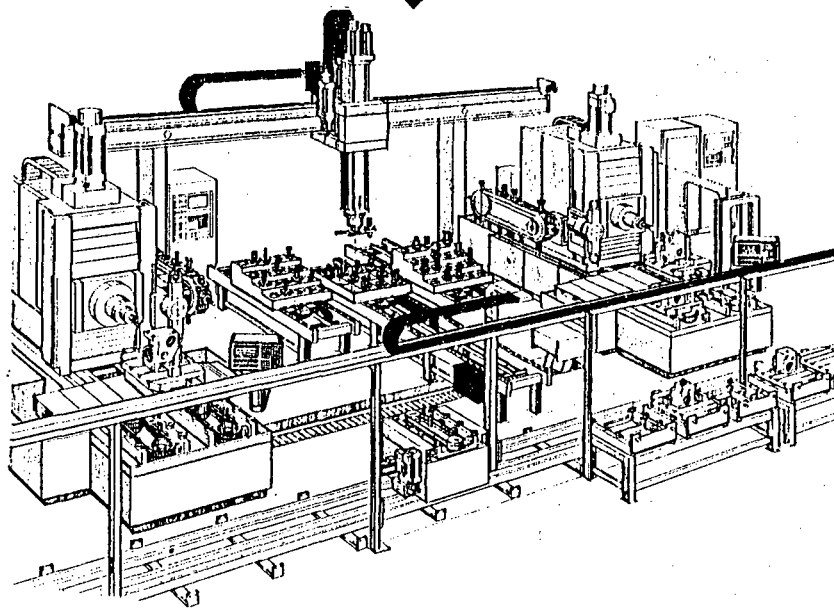
A seguir serão analisadas cada uma das unidades que fisicamente compõem a FMC. Serão dissecadas as suas principais interfaces e sugeridas soluções padronizadas (ou padronizáveis) que favoreçam à integração dessas unidades na FMC e da FMC no contexto de chão de fábrica.

4.1 O CONCEITO DE MODULARIDADE

A partir do primeiro investimento em uma máquina ferramenta CNC, deveria ser possível migrar gradualmente, apoiados em programas-piloto, para uma FMC completa pela simples incorporação de módulos. Cada um desses módulos deveria permitir, por sua vez, a migração para soluções mais sofisticadas à medida que os investimentos se justificassem e a infraestrutura estivesse preparada [65, 147]. A figura 4.1 sintetiza esse conceito caracterizando cada um dos módulos e sua perspectivas de migração dentro das alternativas de tecnologia atualmente disponíveis (representado pelos blocos em cada unidade). A figura 4.1.b [72]



a)



b)

Figura 4.1- FMC modular com respectivas unidades básicas

exemplifica um FMS modular completo para peças prismáticas de porte médio (peso de até 20 kg), com ciclo de usinagem longo (maior que 15 min) [19], composto por duas FMC's, estação de preparação de peças com autonomia para algumas horas de operação e sistema para manuseio automático de ferramentas até o magazine de cada máquina-ferramenta- MT ("Machine Tool").

Para que este grau de modularidade seja alcançado, e a integração das FMC's em FMS preservada, uma série de medidas visando a padronização de interfaces precisa ser tomada [148]. Por outro lado, é preciso sempre considerar que a flexibilidade é antagônica à produtividade. A melhor opção, em cada caso, dependerá de acurada análise econômica.

4.2 AS UNIDADES DE FABRICAÇÃO (MfU)

A qualidade das MT permite, hoje, ter-se menor preocupação com os aspectos de desempenho e qualificação das MfU para FMC's. Já existem normas sedimentadas para ensaios de recepção de cada tipo de máquina-ferramenta, que avaliam características geométricas e de desempenho dinâmico (ISO R230, por exemplo, que está sendo revista para incluir novas técnicas de ensaio, como laser de alinhamento e laser interferométrico) [76].

Alguns novos testes de desempenho e testes dinâmicos, bem como ensaios de erro de posicionamento e repetibilidade mais especializados e completos são motivos de projeto de normas submetidos à ISO. Alguns destes testes contemplam também a problemática dos robôs e CMM's [76].

4.2.1 Máquinas-ferramenta- MT

Do ponto de vista das interfaces para FMC's o interesse maior está na adoção de critérios já utilizados informalmente pelo mercado para enquadrar as MT's dentro de um conceito de classes de máquinas (figura 4.2). O objetivo, em última instância, é o de assegurar máximas portabilidade e flexibilidade de roteamento às FMC's [149]. FMC's de mesma classe poderão sempre executar os serviços umas das outras, independentemente de marca de equipamentos. Usarão os mesmos paletes e ferramentas para produzir peças de qualidade equivalente. A padronização nos CNC's permitiria, inclusive, o uso dos mesmos programas NC, como será visto no capítulo 5.

As novidades mais importantes talvez sejam a de estabelecer classes de precisão de usinagem e categorias com volumes de trabalho maiores, vocacionadas para FMC's.

No primeiro caso os equipamentos são agrupados de acordo com os índices de tolerância alcançáveis na usinagem. As normas de ensaio de qualidade de MT já disponíveis (inclusive a NBR 8027), apesar de insuficientes para o objetivo proposto, podem servir de base, no que tange aos métodos de ensaio, para a nova norma.

O método mais simples, e provavelmente eficaz, de ensaiar comparativamente as MT para enquadrá-las nas classes de precisão seria o baseado no ensaio de usinagem de peças-modelo que reproduzissem as principais condições críticas esperadas para cada tipo de MT [150].

Estes ensaios seriam prescritos em normas de testes de conformidade. Deveriam ser acompanhados de normas (ou pelo menos recomendações) para qualificação de laboratórios especializados que se credenciariam e se equipariam para emitir os certificados de conformidade [77].

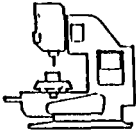
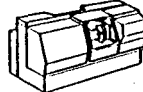
CENTROS DE USINAGEM / FRESADORAS 	TORNOS 
CLASSE DE PRECISÃO (1) TIPO: VERTICAL / HORIZONTAL (2) Nº DE EIXOS NC PALETE - TAMANHO (DIN 55 681) (3) CONE DE FERRAMENTAS (ISO 7 388 A) (4)	CLASSE DE PRECISÃO (1) TIPO: Nº DE CABEÇOTES DE FERRAMENTAS ÁREA DE TRABALHO: em X (comprimento máximo) em Y (B máximo) (4) SUPORTE DE FERRAMENTAS (DIN 69 888 ?) (5)
(1) - Diferencia os equipamentos quanto às suas incertezas de fabricação, dividindo-os em 3-4 grupos (2) - Separa por categorias, de acordo com a aplicação (3) - Define o volume de trabalho mínimo aceitável (alcance no eixo Z e proporcional à área do palete) (4) - Define também a potência na árvore e as faixas de rotação e torque (5) - Deve restringir a abrangência das normas em que se baseiam, especificando os tipos mais usados	

Figura 4.2- Classes de Máquinas-ferramenta para FMC's: parâmetros de definição .

As MT's para peças prismáticas, em particular, poderiam prever classes com volumes de trabalho maiores (maiores deslocamentos segundo o eixo X, pelo menos). Objetiva-se introduzir paletes maiores e, com eles, maior quantidade de peças em uma única montagem [132]. As MT não teriam que ser necessariamente mais potentes para tal aplicação. A grande vantagem está na redução substancial dos tempos secundários quando o tamanho dos lotes permitir.

O conceito de classes de máquinas pode ser estendido a alguns equipamentos mais especializados que eventualmente complementam a MfU. É o caso, por exemplo, de furadeiras multifuso ou brochadeiras. Outros equipamentos, de uso mais esporádico nas MfU's certamente não justificarão esse enquadramento. O uso de equipamentos complementares se justifica quando se verifica que certas operações específicas podem ser executadas mais eficientemente por eles [143].

Pode acontecer ainda que operações especializadas agregadas à FMC a tornem por demais específica, prejudicando sua flexibilidade (de roteamento e produto). Nestes casos, deveriam ser estudados meios para que estas operações sejam executadas fora da FMC. Este aspecto se torna mais contundente quando apenas algumas peças das famílias que passam pela FMC demandam a operação especializada em questão.

4.2.2 Ferramentas e Suportes

As FMC's para peças prismáticas já usufruem das facilidades oferecidas pela norma ISO 7388 (projeto de norma ABNT 4:01-07-018) que é acatada pela maioria dos fabricantes das MT utilizáveis em FMC. O próprio mercado tem, inclusive, se restringido a alguns tipos dentre os vários oferecidos pela norma (cones 30, 40 e 50 tipo A e 60 tipo C). Os tipos B e D equivalem aos A e C acrescidos de passagens de refrigeração.

Cada um desses cones aplica-se a uma determinada faixa de torque de usinagem. Permitem a utilização de qualquer tipo de ferramenta de hastes padronizadas pelo uso dos adaptadores também padronizados (DIN 1835. Ver fig. 4.3). Ferramentas especiais também podem ser projetadas com extensões (não padronizadas) dos cones ISO. As vantagens desta padronização são inequívocas, e vão desde o planejamento do processo à redução dos estoques de ferramentas. Os cones ISO servem como um dos parâmetros de seleção de classe de máquinas.

Já no caso de peças de revolução não há este consenso. A base da padronização ainda é a dos insertos de metal duro, intercambiáveis manualmente.

Mais recentemente se padronizou um sistema de suportes (DIN 69880) como um primeiro passo em direção aos sistemas de troca

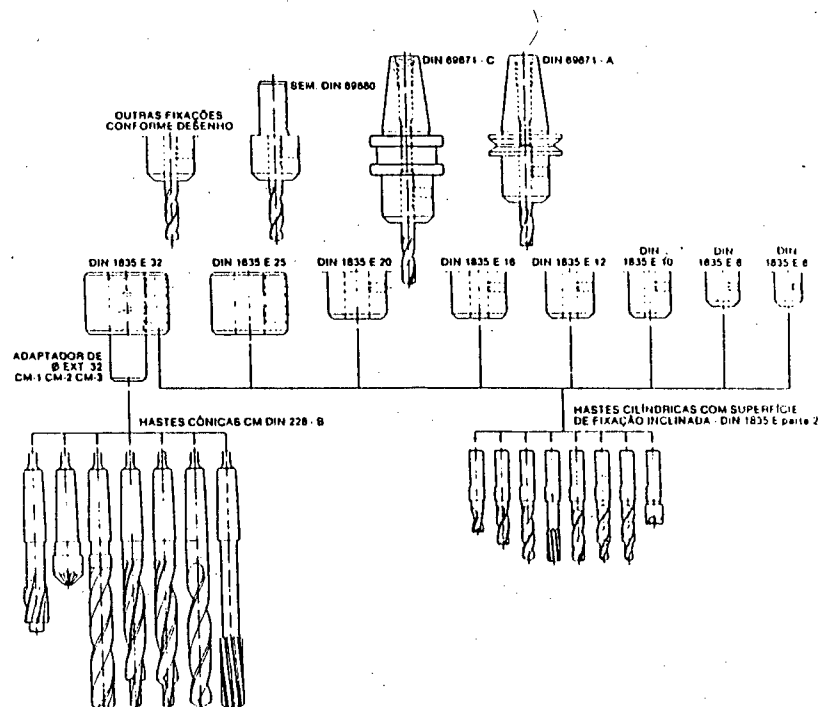


Figura 4.3- Sistema modular de ferramentas padronizadas para fresadoras / centros de usinagem [140]

automática. Entretanto, os seus sistemas de encaixe tipo "Wirth" e, principalmente, a fixação por parafusos, inviabilizam a troca automática do conjunto.

Algumas outras propostas (não padronizadas) sugerem o uso de suportes intercambiáveis (fig. 4.4) ou de suportes com cabeças destacáveis (fig. 4.5a) [151, 152, 153, 154]. O primeiro ainda não viabiliza a troca automática, apesar das tentativas nesse sentido. São, de qualquer modo, mais um avanço para maior agilidade e confiabilidade na troca de ferramentas. O segundo prioriza a flexibilidade e adota um conceito similar ao dos cones ISO, com a vantagem de permitirem o uso de ferramentas acionadas. Os próprios cones ISO têm sido propostos como alternativa para solucionar o problema de troca automática (fig. 4.5).

O problema, entretanto se estende a outra esfera: a troca automática durante o ciclo de usinagem é um problema no caso de

tornos. As operações de usinagem de peças de revolução são rápidas e envolvem constantes mudanças de ferramenta na torre.

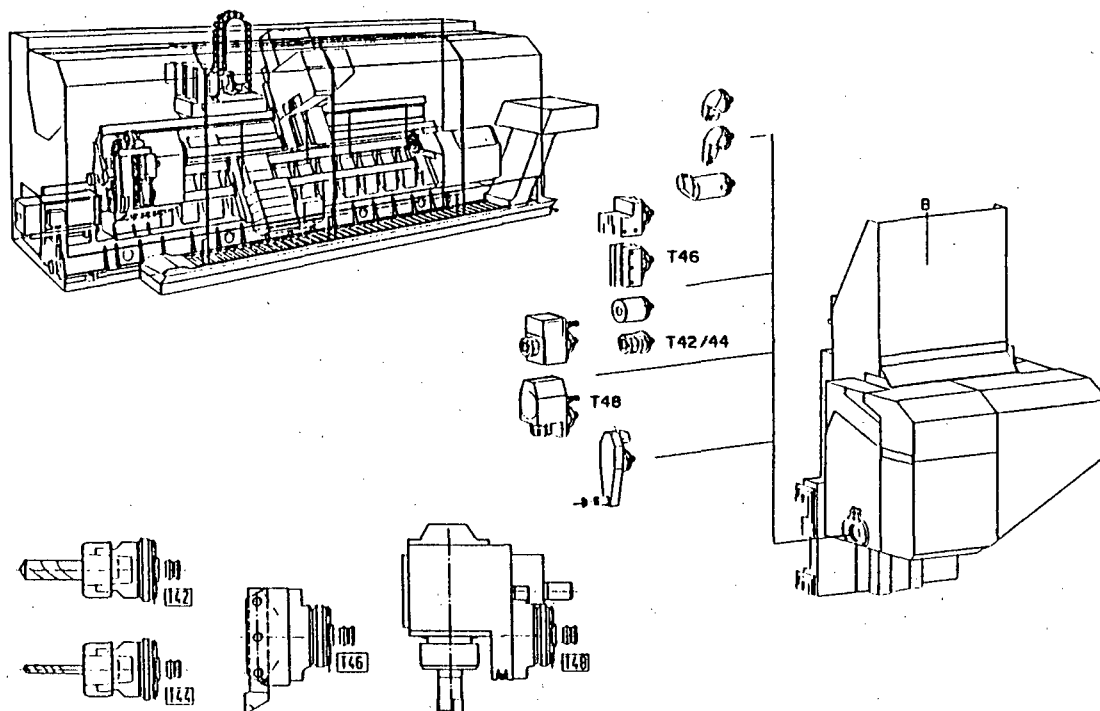
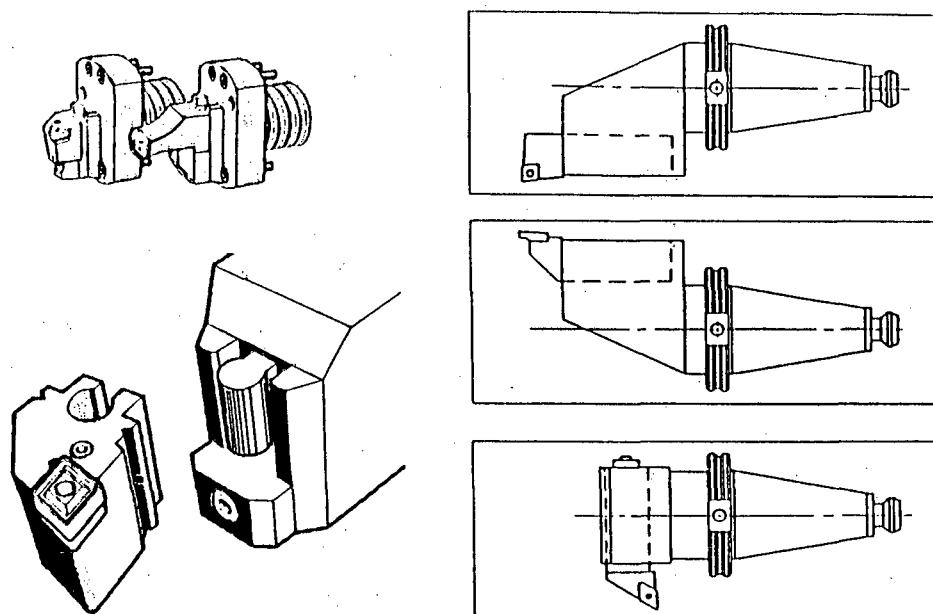


Figura 4.4- Proposta de suportes intercambiáveis de ferramentas para tornos. Em detalhe, opções para fresagem.



a) Cabeças intercambiáveis para troca rápida

b) Cones ISO adaptados para uso em tornos

Figura 4.5- Alternativas de soluções para troca rápida de ferramentas em tornos para FMC's.

Por outro lado, as torres não podem ser muito grandes para não sacrificar a rigidez nem interferir no volume do trabalho, o que limita a quantidade de ferramentas disponíveis. Desse modo, em função do tempo requerido, maior que 7s, as trocas de ferramentas entre torre e magazine tornam-se anti-econômicas [152]. Devem ser, portanto, o menos frequente possível, visando apenas o complemento para alguma operação específica ou a troca de uma ferramenta desgastada por sua gêmea. Soluções como a da figura 4.4, que dispensam a torre de ferramentas, são ineficientes para os casos dos ciclos curtos característicos do torneamento.

O ideal é programar as trocas de ferramentas da torre apenas durante o "set-up" para nova família de peças pois, como são relativamente poucas, raramente se justifica automatizar esta operação. O desenvolvimento de um sistema manipulador para ferramentas só se justifica quando objetivar também a troca de peças.

A operação automática exige atenção especial para o controle de desgaste e quebra de ferramentas. No item 4.4 será discutido em detalhes o problema.

4.2.3 Dispositivos de Fixação

São, junto com as ferramentas, itens críticos na garantia de flexibilidade na produção de uma FMC dedicada a pequenos lotes.

A figura 4.6 sintetiza os objetivos de projetos das fixações para FMC's que balizam a discussão que se segue.

Os dispositivos de fixação necessitam atenção especial na medida em que podem significar, sozinhos, acréscimos de 10 a 20% no

custo total de uma FMC [62]. Estes, junto com os dos sistemas de manipulação e transporte, podem se elevar a 200% no caso de peças prismáticas para operação com um turno automático [15].

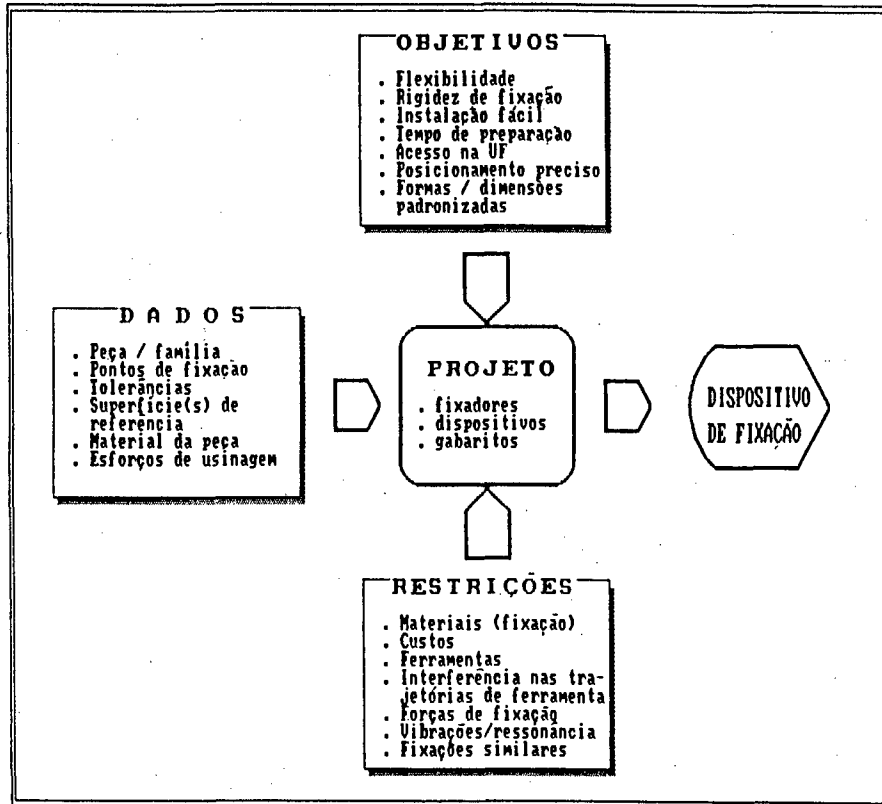


Figura 4.6- Projeto de dispositivos de fixação flexíveis: objetivos e restrições.

A GT é a primeira metodologia de racionalização da qual se deve lançar mão. Aliada a um critério de projeto que contemple a fixação, consegue-se ganhos que podem significar reduções no número de dispositivos da ordem de 10 vezes [143].

Também aqui há de separar os casos das peças de revolução e prismáticas:

- a) As peças de revolução são manipuladas soltas e o dispositivo de fixação é residente na MT (placa e pinças ou ponta de arraste de acionamento hidráulico ou pneumático). São várias as opções normalizadas para a fixação no dispositivo da

extremidade da árvore. Nenhuma, entretanto, se adapta à troca ou preparação automáticas. No caso de placas, a única que se aproxima desse objetivo é a ANSI B5.9D por dispensar, na fixação, o uso de parafusos ou encaixes por roscas [510].

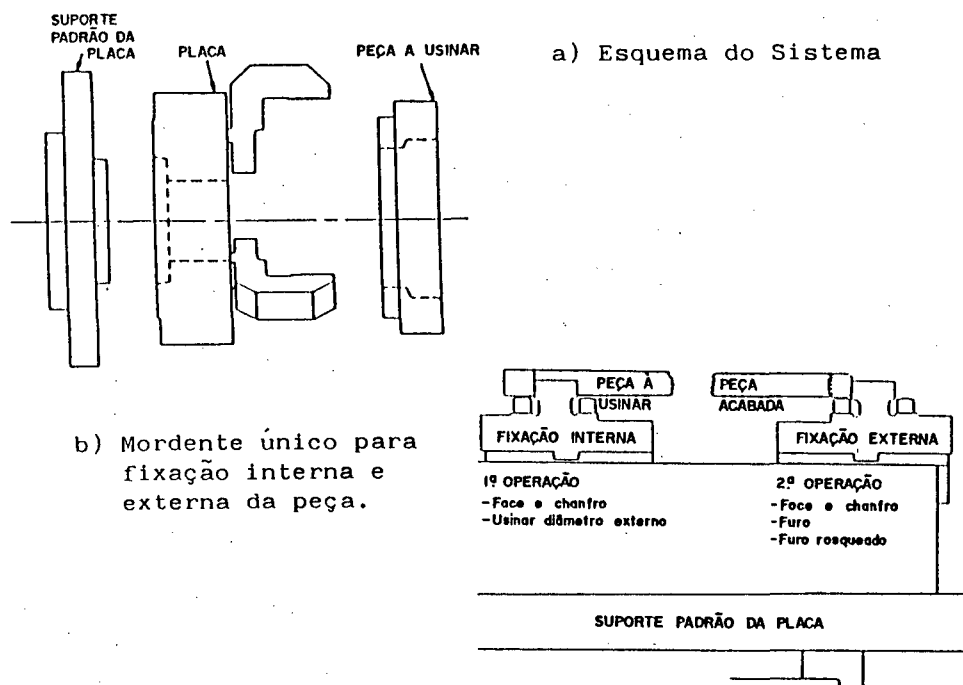


Figura 4.7- Sistema modular de fixação para peças rotacionais delgadas [155].

Existem ainda dois complicadores adicionais:

- o engate das conexões (hidráulicas ou pneumáticas);
- o peso, superior a 10 kg, no caso de placas e pinças;
- o trabalho de preparação do dispositivo (troca de castanhas, ajuste da peça) exige a parada da MT.

Algumas iniciativas visando contornar estes problemas podem ser vistas em [146, 152, 155]. A figura 4.7 ilustra um exemplo, específico para famílias de peças anulares de grande diâmetro, baseado em um acoplamento intermediário na árvore que permite a troca rápida de dispositivo [155]. Entretanto, não deixa de ser uma solução específica. Para diâmetros menores, duas soluções têm sido mais

PONTAS DE ARRASTE COM CONTRA-PONTA	PLACA USADA COM ALIMENTADOR DE BARRAS
VANTAGENS	
<ul style="list-style-type: none"> . Leve . Boa capacidade autocentrante (compensa erros de posicionamento do manipulador) . Usinagem de diâmetros variáveis e ao longo de todo o comprimento . Aceita peça a processar pré-formada . Permite troca rápida e automática 	<ul style="list-style-type: none"> . Grande autonomia de trabalho (função do estoque de barras) . Manipulação simplificada . Peça bruta padronizada (barra cilíndrica) . Alimentação e fixação rápidas
DESUANTAGENS	
<ul style="list-style-type: none"> . Uso do manipulador para carga e descarga . Diâmetro da peça limitado a 160 mm . Torque de usinagem limitado . Necessita preparação da peça a processar (furos de centro) . Estoques de peças a processar e processadas ao lado da MfU . Arrastadores marcam a face da peça 	<ul style="list-style-type: none"> . Pesado . Limitação dos diâmetros máximo e mínimo da barra (para cada placa) . Exige potência e força de agarramento maiores para arrastar a barra . Só aceita barras com pequenos erros de cilíndricidade e retilineidade (difíceis de encontrar no mercado nacional) . Rotação máxima limitada

Figura 4.8- Comparação entre sistemas de fixação automatizáveis de uso mais difundidos para tornos

frequentemente adotadas, que são analisadas e comparadas na figura 4.8:

- . pontas de arraste com contraponta;
- . placas vasadas para alimentação direta de barras cilíndricas.

As características das famílias de peças a serem usinadas e o grau de automatização pretendidos determinarão a escolha do sistema de fixação.

- b) O caso de peças prismáticas é um pouco mais simples, pois:
- . a montagem da peça no dispositivo se dá paralelamente ao ciclo de usinagem;
 - . peça e dispositivo entram na MfU juntos e preparados;

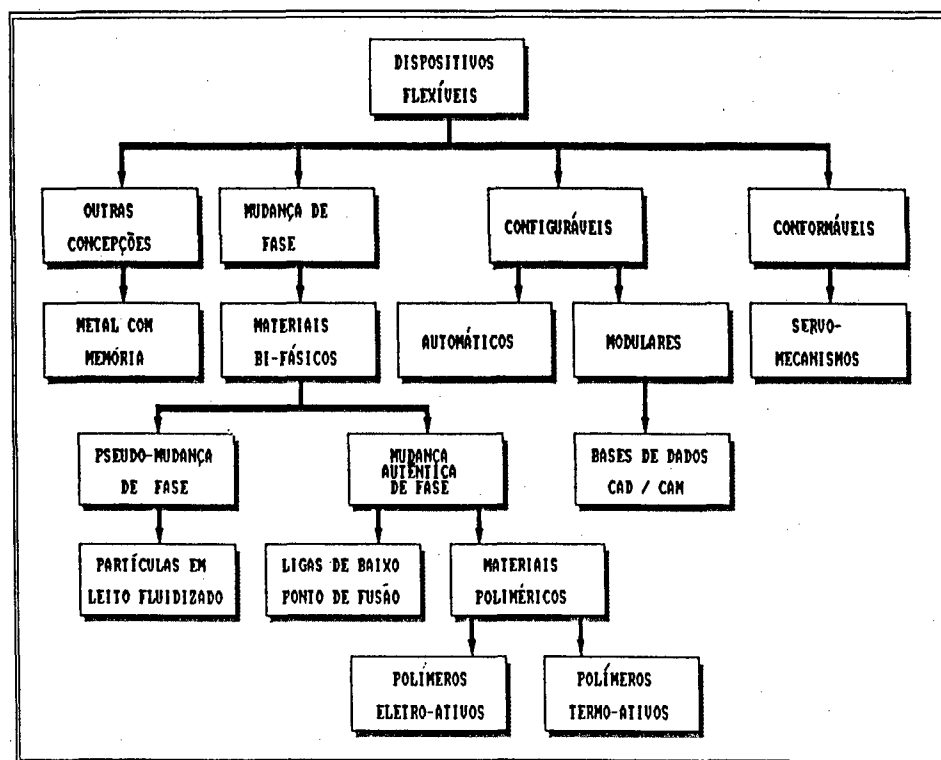


Figura 4.9- Dispositivos flexíveis para FMC's: sistemas em desenvolvimento.

é possível manter conjuntos de peças + dispositivos já preparados e próximos à MfU para usinagem imediata.

Diversos estudos e pesquisas têm sido feitos voltados para o desenvolvimento de dispositivos flexíveis, compatíveis com as necessidades das FMC's [43, 156, 157, 158]. Entretanto, os resultados não têm sido conclusivos.

Entende-se por dispositivo flexível aquele que se propõe a atender uma ampla gama de peças, diminuindo as variedades estocadas. A figura 4.9 apresenta um esquema estruturado das técnicas atualmente em desenvolvimento para dispositivos flexíveis para peças prismáticas [43, 156]. Cada uma delas enfatiza certos objetivos de projeto. Os sistemas baseados em materiais bifásicos, por exemplo, se destacam pela

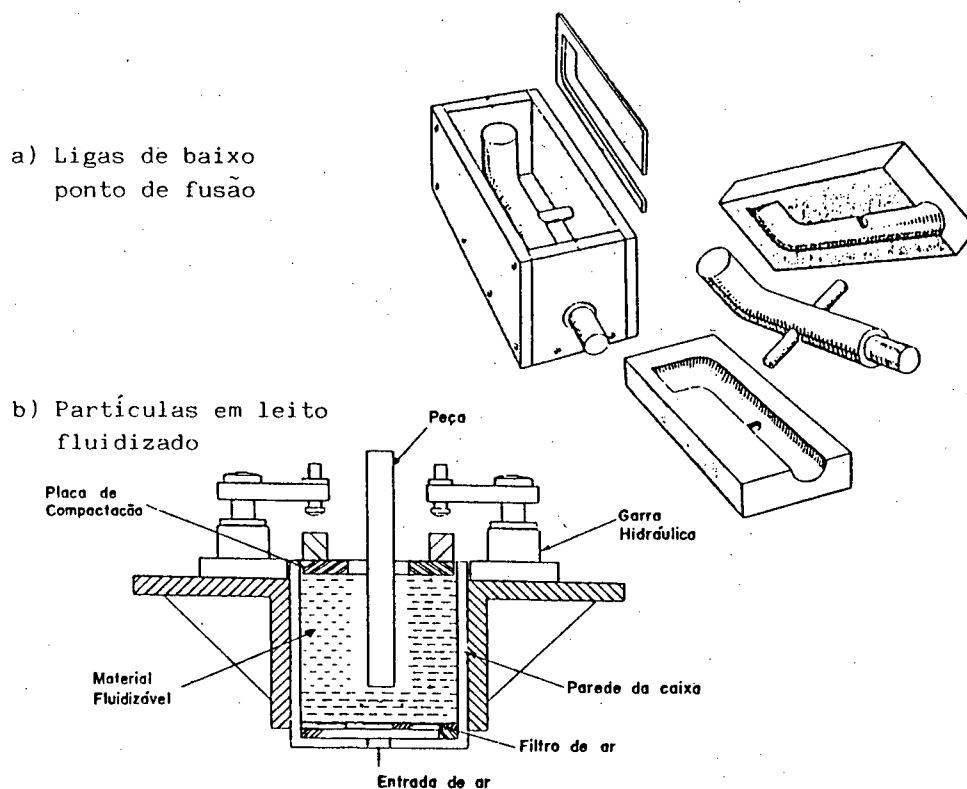


Figura 4.10- Dispositivos de fixação por mudança de fase .

capacidade de fixar, com grande rigidez, peças com formas complexas e variadas, ou delgadas/ deformáveis (fig. 4.10). São interessantes também para fixação simultânea de várias peças pequenas. A vantagem desses sistemas está na capacidade de se moldarem à peça a ser usinada. Os dispositivos de mudança autêntica de fase (fig. 4.10a) ainda gozam das vantagens de poderem ser usinados com a peça e de serem reutilizáveis [163].

O sistema de partículas em leito fluidizado (fig. 4.10b) utiliza um princípio simples, baseado na capacidade que têm as partículas de pequeno diâmetro de se comportarem como fluidos quando o ar é injetado controladamente na caixa. Uma vez posicionada a peça, cessa-se o fluxo de ar e pressiona-

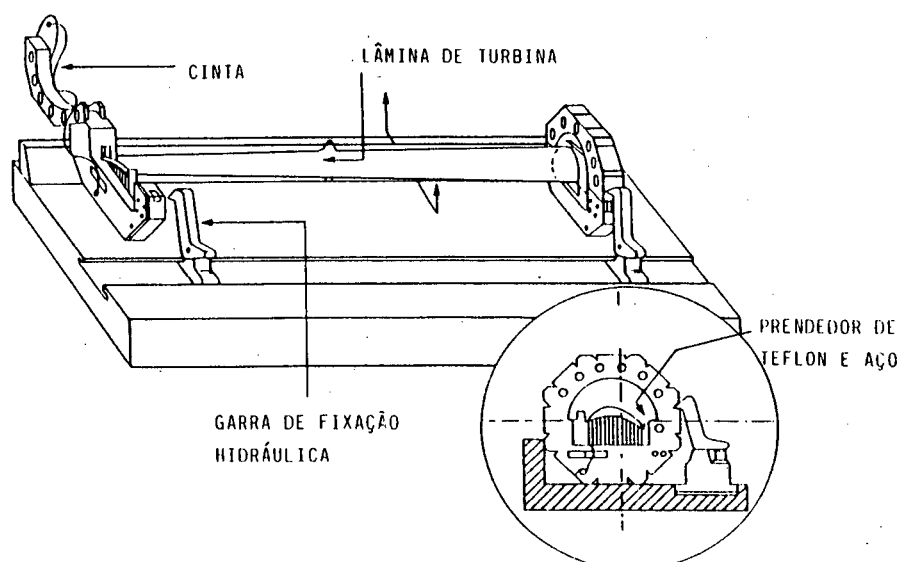


Figura 4.11- Sistema conformável de fixação [43]

se a tampa, tornando o sistema rígido [156].

Os sistemas conformáveis têm objetivos similares aos dos materiais bifásicos. Permitem ainda obter-se tempos de preparação bastante baixos. São, entretanto, de construção complexa e a flexibilidade só é atingida dentro de uma dada família de peças geometricamente similares [43]. A figura 4.11 ilustra um caso aplicado à fixação de pás de turbinas.

As figuras 4.12 e 4.13 apresentam a concepção dos dispositivos configuráveis. Os sistemas automáticos (fig. 4.12) propõem-se a atender quase todos os objetivos de projeto. Uma vez instalados no palete, poderiam ser reconfigurados automaticamente através de manipuladores e de software agregado ao próprio sistema de fixação (que se propõe a ser "reprogramável") [157]. São, entretanto, extremamente caros. Necessitam de um sistema complexo de controle adaptativo que atualmente os tornam inviáveis economicamente. A capacidade de reconfiguração rápida e automática é sua característica forte. Objetiva a perseguida

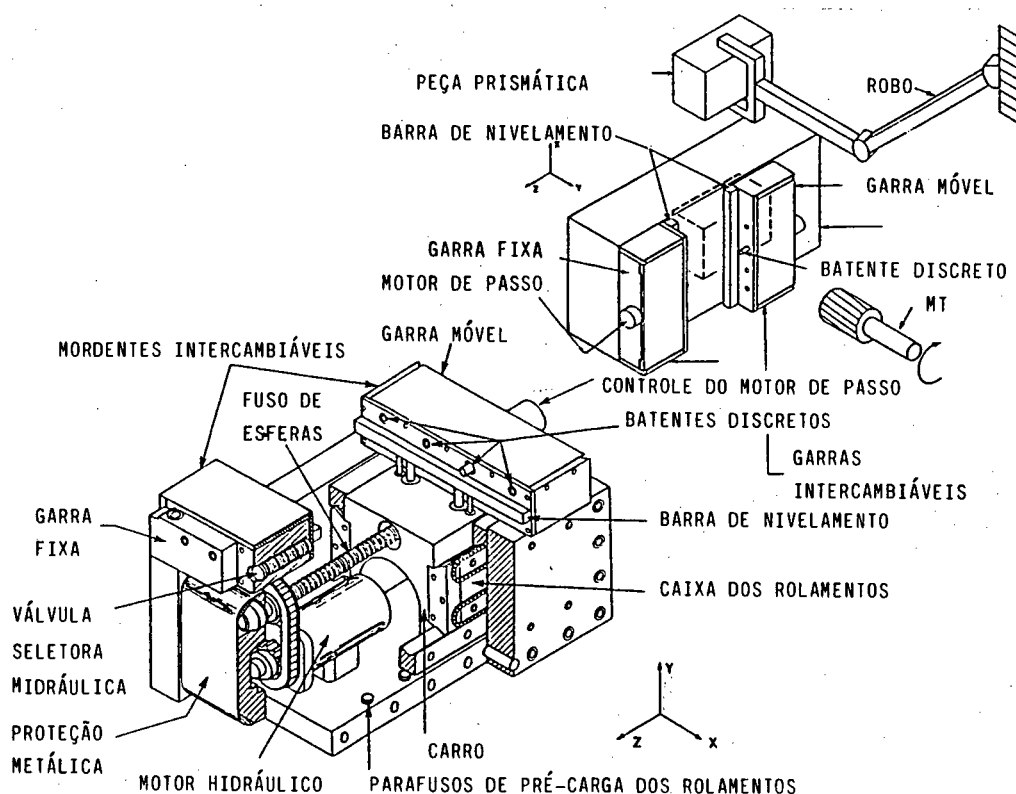
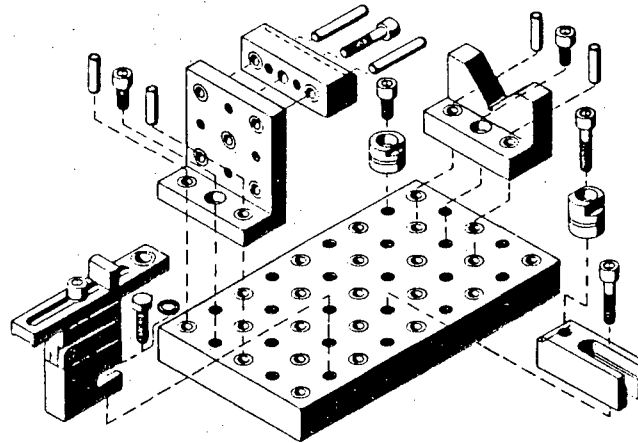


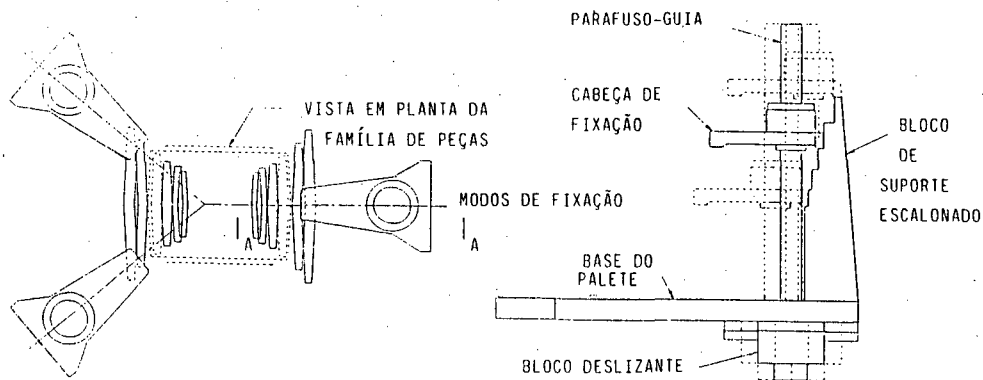
Figura 4.12- Dispositivo de fixação flexível, automaticamente configurável, para várias famílias de peças [157].

flexibilidade de volume, permitindo-se falar em lotes de uma peça [157, 159].

A figura 4.13 apresenta esquematicamente a filosofia dos dispositivos modulares. Estes priorizam a padronização, aproveitando muitos elementos de fixação já normalizados (e o que ainda não o é, pode-o ser facilmente). Os elementos são, individualmente, de baixo custo, mas podem se tornar caros no conjunto. Exigem cuidado para garantia de rigidez: montagens complicadas podem gerar deformações indesejáveis. Demandam um certo tempo de instalação mas são fáceis de manusear na preparação da peça se o projeto de montagem do dispositivo for bem feito. Uma base de dados desses projetos deve ser criada e o plano de montagem deve ser anexado aos planos de processo. Percebe-se daí que estes dispositivos não se destinam aos "lotes de um" devido ao tempo necessário



a) Elementos padronizados e esquema de montagem



b) Sistema modular dedicado a uma família de peças com detalhe da fixação (mista A-A)

Figura 4.13- Dispositivos modulares de fixação - exemplos [158].

de instalação e à interferência humana. Podem, no máximo, atender a tamanhos variados de peças dentro de uma mesma família (fig. 4.13b). A grande vantagem desses sistemas é a simplicidade: eles reproduzem, de certa forma, as técnicas tradicionais de fixação, o que facilita o treinamento do pessoal e adaptação à nova cultura.

4.3 UNIDADE DE MANIPULAÇÃO E TRANSPORTE - THU

A manipulação e o transporte são atividades caras e improdutivas e por isso devem sempre ser minimizadas e otimizadas.

Esta constatação óbvia tem um peso muito grande nas FMC's. A redução do número de MfU's na célula visa também diminuir a manipulação e o transporte. Por outro lado, filosofias de JIT ("Just-in-time") - que exigem grandes flexibilidades de volume e roteamento - e a redução do tamanho dos lotes de produção forçam o uso intensivo das THU's. O objetivo, nesses casos, é reduzir aos limites mínimos os estoques intermediários, as áreas que ocupam e os tempos de passagem ("throughput times"), mesmo que à custa de tempos de preparação ("set-up times") maiores. Como consequência, reduz-se o capital de giro necessário para manter esses estoques [160].

É preciso deixar claro a razão da existência dos estoques intermediários nas FMC's:

- balanceamento de MfU's com ciclos de produção diferentes ou flutuantes;
- apoio à operação em turnos automáticos;
- facilitar o trabalho de preparação de peças para a produção;
- compensar a falta de confiabilidade e as diferentes disponibilidades dos sistemas [161].

O perfeito balanceamento desses objetivos conflitantes na manufatura celular flexível depende fundamentalmente dos tipos de peças que serão produzidas e da estrutura produtiva de cada empresa. É hoje motivo de vários estudos e propostas e não está inserido no escopo deste trabalho. Para maiores informações sobre os diversos aspectos e tendências do problema, ver [64, 115, 162, 164, 165, 166, 167, 168]. Sugere-se ver também [5, 15] a respeito das exigências impostas pelos turnos automáticos e [143] para uma análise da inviabilidade econômica desta operação.

Não é possível estabelecer uma receita única para o projeto de THU's, dada a variedade de fatores concorrentes que contribuem

para determinação do melhor tipo de sistema a ser adotado [15, 132, 143, 169, 170]. Os principais fatores são:

- peças: tamanho, forma, peso, variedade;
- processo: tempos de ciclo de usinagem;
- manipulação: complexidade da peça para agarramento, posição da peça no recebimento (previsível, aleatória), taxa de transferência;
- lotes: tamanho, variação de características entre lotes.

Um modelo básico pode ser previsto como sugestão e será delineado item a item.

O transporte de cavacos e fluidos de corte não será abordado neste trabalho por ter tratamento equivalente ao da manufatura convencional e ser independente dos demais. Alguns detalhes de interesse poderão ser encontrados em [15, 16].

4.3.1 A Estratégia Gradual

Este trabalho se preocupa em sugerir um modelo generalizado de THU que contemple as FMC's para peças prismáticas e de revolução. O modelo está calcado em uma estratégia de migração gradual em três etapas, conforme ilustrado na figura 4.14. Este modelo se insere no contexto de modularidade exposto na figura 4.1 e objetiva chegar a THU's inteligentes a partir de equipamentos e controles convencionais, com o auxílio do operador. O modelo se baseou em conceitos mais genéricos defendidos por [15, 61, 132, 145, 160, 171, 172].

A estratégia permite que as três etapas possam se superpor nas distintas atividades: pode-se, por exemplo, chegar ao controle inteligente do transporte e manipulação de ferramentas estando ainda no estágio manual no que concerne às peças. Três requisitos

são, entretanto, fundamentais para que a migração de um estágio para outro seja possível:

- padronização de cada componente;

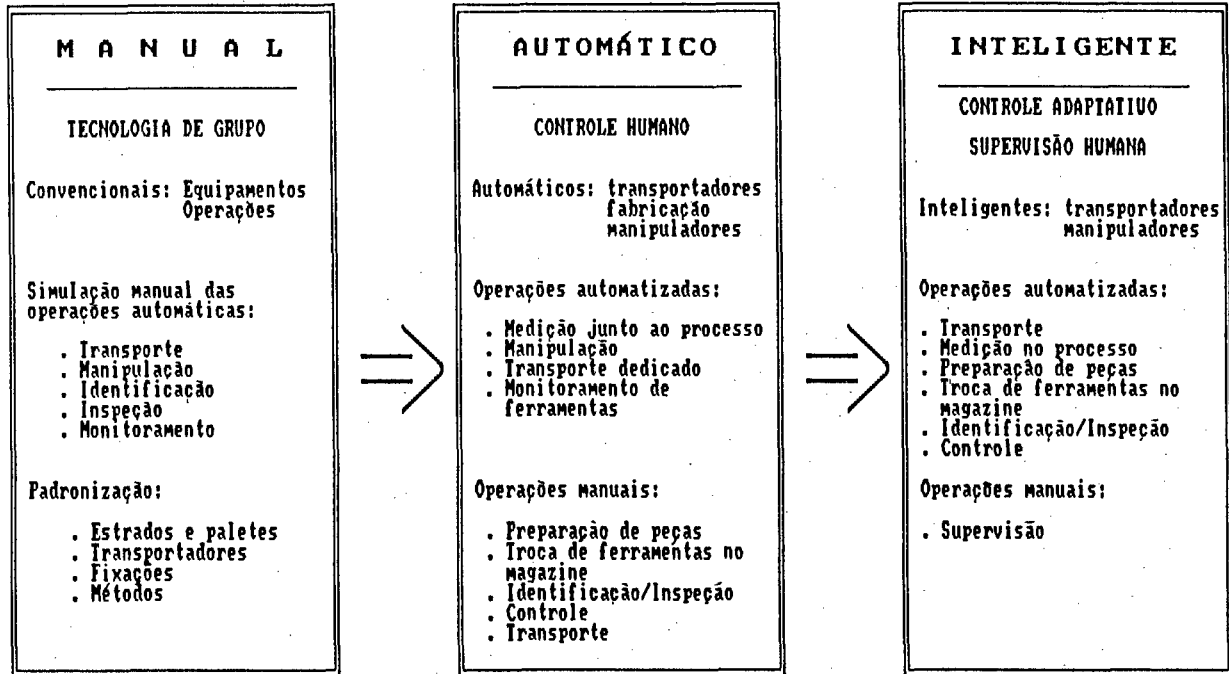


Figura 4.14- Manipulação e transporte: estratégia de migração gradual para sistemas inteligentes.

- modularidade do sistema (considerando a interação entre unidades);
- "lay-out" flexível e expansível.

4.3.2 Soluções Padronizáveis e Modulares para as Interfaces

A padronização existente nos sistemas convencionais de transporte é quase que integralmente dedicada aos ambientes de estocagem e despacho/recebimento. Pouco se aproveita para o ambiente de FMC's e menos ainda para o modelo ora sugerido, que prioriza a modularidade e a simplicidade para se garantir bons resultados [148].

A modularidade das THU's é entendida aqui como sugerido em [145, 164]. Equipamentos e controle devem ser:

- deslocáveis e configuráveis;
- de fácil agregação de módulos para expansão;
- flexíveis: aptos a lidar com combinações variadas de objetos e rotas;
- integrável a outros tipos de equipamentos (complementares aos de usinagem).

Os componentes da THU que necessitam se integrar nesse conceito de modularidade são:

- transportadores;
- estrados e paletes;
- transferidores de paletes;
- garras de manipuladores.

A figura 4.15 apresenta o conceito de modularidade aplicado aos transportadores. A intenção é permitir a substituição ou aperfeiçoamento dos transportadores de acordo com a filosofia delineada por cada empresa.

É possível iniciar-se com sistemas totalmente manuais em células piloto que emulam, desde o princípio, as perspectivas automatizadas e inteligentes do sistema. À medida que as necessidades técnicas e as vantagens econômicas justifiquem, o sistema pode evoluir na direção dada pelas setas da figura 4.15, isto é, na direção da maior flexibilidade e automatização.

A estrutura do sistema produtivo ditará as alternativas para escolha da concepção da THU adotada que, por sua vez, orientará o "lay-out" do FMC/FMS. São bem distintos os casos, por exemplo, de peças de grande porte, pesadas, usinadas em centros de usinagem com ciclos longos e de pequenas peças de revolução com ciclos de usinagem curtos. O primeiro convida ao uso de carro sobre trilhos com operação automática e controle remoto, carregando o palete já

com a peça. O segundo caso pode sugerir o uso de transportadores contínuos com lógica flexível (com capacidade de identificar a peça e orientá-la para a unidade de destino [169]), transportando peças soltas, com um robô local alimentando as unidades. Esta

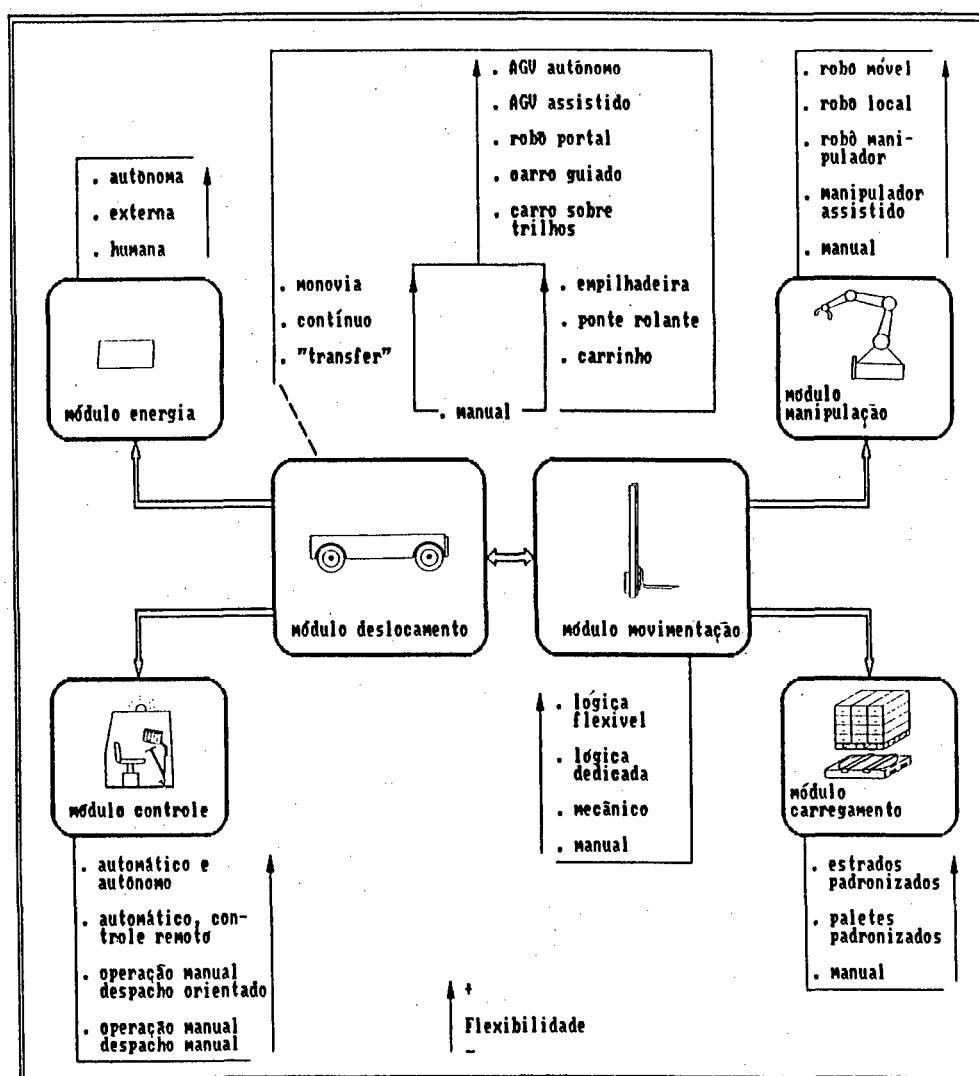


Figura 4.15- Unidade de transporte: modularidade para migração gradual para sistemas inteligentes.

concepção pode evoluir, se se justificar, para AGV's autônomos transportando estrados [148].

A concepção modular de transportadores impõe algumas características de padronização que têm que ser solucionadas. Os sistemas contínuos, em função de sua rigidez, têm que atender a

requisitos de segmentação tais que permitam reconfiguração flexível. Deveriam contar com os seguintes módulos padronizados, para cada classe de capacidade:

- segmento de reta (0,5, 1, 2 e 5 m);
- segmento de curva (90°, 45°, 30°);
- segmentos de armazenamento (estoques intermediários);
- segmentos de transferência e desviadores;
- acionamentos e respectivas correntes, pinos de arraste;
- acessórios complementares (batentes, fins-de-curso, etc).

O detalhamento de uma proposta de módulos padronizados está além dos objetivos deste trabalho.

Mais importantes que os transportadores em si, sejam eles contínuos ou discretos, são as suas interfaces com a FMC e com os estoques ou estações de preparação. Três aspectos merecem comentários mais detalhados:

- módulo de carregamento;
- geometria das interfaces;
- "lay-out" da FMC.

a) Módulos de carregamento. Distinguem-se em função da aplicação:

- . carregamento de estrados;
- . transporte de paletes.

Adotou-se o termo paleta para diferenciá-lo dos estrados convencionais. É amplamente utilizado não só nos países de língua portuguesa como também nos de língua inglesa (pallet), alemã (paletten) e francesa (palette). Os estrados, metálicos ou de madeira, são normalmente colocados no chão, ao lado da unidade onde servirão, e são usados aos pares: um que chega com as peças a serem processadas e outro que sai, com as peças prontas.

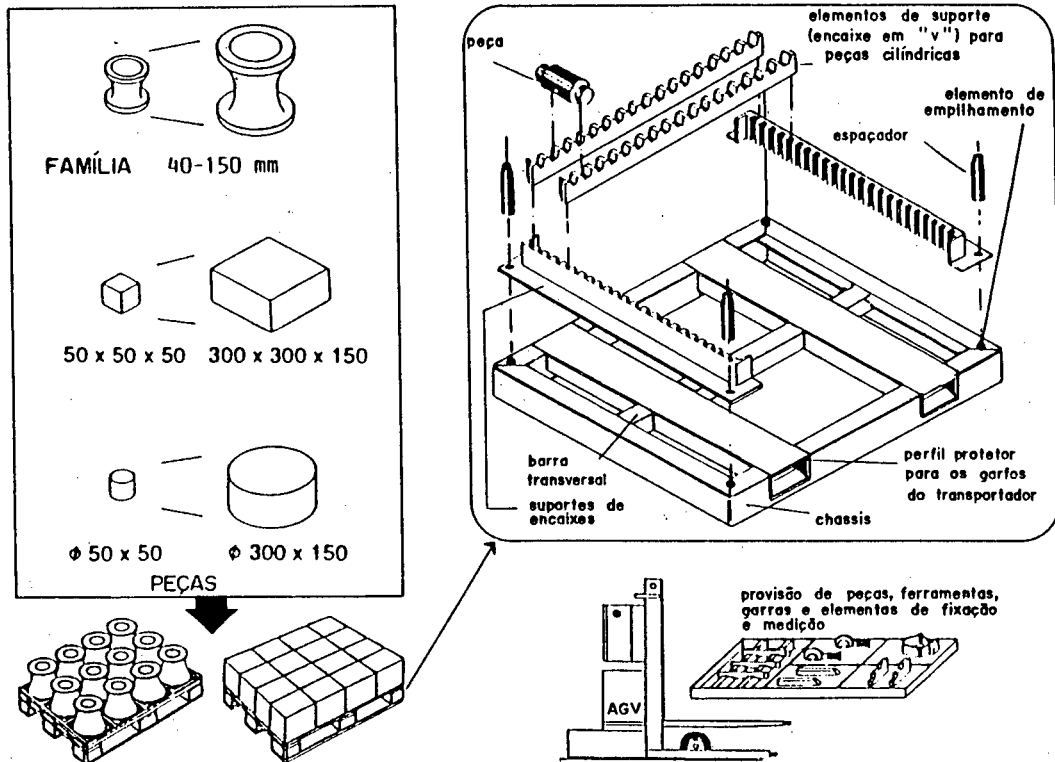


Figura 4.16- Sistema de estrados modulares empilháveis e padronizados para FMC's

O estrado é de uso mais generalizado e se destina ao transporte de peças e de ferramentas. O palete é mais dedicado à movimentação de peças prismáticas com seus dispositivos, após preparação. Exemplo típico do uso de estrados é ilustrado na figura 4.1b. As peças, no caso, chegam à estação de preparação em estrados.

A figura 4.16 apresenta um conceito de estrados modulares e empilháveis para transporte genérico de peças de revolução [16, 173, 174]. A concepção estudada prevê, entretanto, extrapolar o seu uso para peças prismáticas e ferramentas usando-se os elementos de suporte e espaçadores apropriados [175]. Para tal é importante que não só as dimensões dos estrados sejam padronizadas, mas também os seus espaçadores (que têm que ter concepção condizente com a manipulação automática), elemento de suporte e indexação, de acordo com as exigências das ferramentas e das peças transportadas.

O transporte automatizado, quando ocorrer, passa a impor requisitos para correto posicionamento dos estrados no chão e uns sobre os outros, de forma que o manipulador depois possa localizar facilmente o item em sua posição correta, sem necessidade de se sobrecarregar com sistemas de sensores de proximidade que compensem incertezas de posicionamento. O uso de batentes e limitadores em posições adequadas orientariam o transportador. Cones de centralização, fixos no chão e equivalentes às cabeças dos espaçadores, garantiriam o correto posicionamento.

Os problemas dos paletes são mais fáceis de serem equacionados. As dimensões básicas já se encontram padronizadas (DIN 55201 e ISO DIS 8526). A norma divide os paletes em dois grupos: até 800 mm de comprimento e acima de 1000 mm, estes destinados às MfU de grande porte. Os paletes do segundo grupo são robustos e pesados, o que prejudica a concepção prevista para FMC's que incorporam paletes grandes com diversas peças pequenas em uma única montagem visando otimizar os tempos de usinagem em relação aos secundários. Seria necessária a criação de uma linha leve de paletes de grandes dimensões para essa finalidade dentro do espírito da norma existente.

Persistem ainda algumas indefinições na norma em relação aos mecanismos de travamento e de centralização nas unidades de trabalho (pinos de centragem) que tornam as normas incompletas para uso em FMC's [176]. Falta também padronizar o mecanismo de arraste. Apesar das soluções dos diversos fabricantes serem parecidas, não são compatíveis entre si. Não existe ainda um consenso de norma para as dimensões e

forma do pino de centragem e nem previsão de passagens de ar ou óleo visando os dispositivos flexíveis. Sugere-se a adoção do pino de centragem como esquematizado na figura

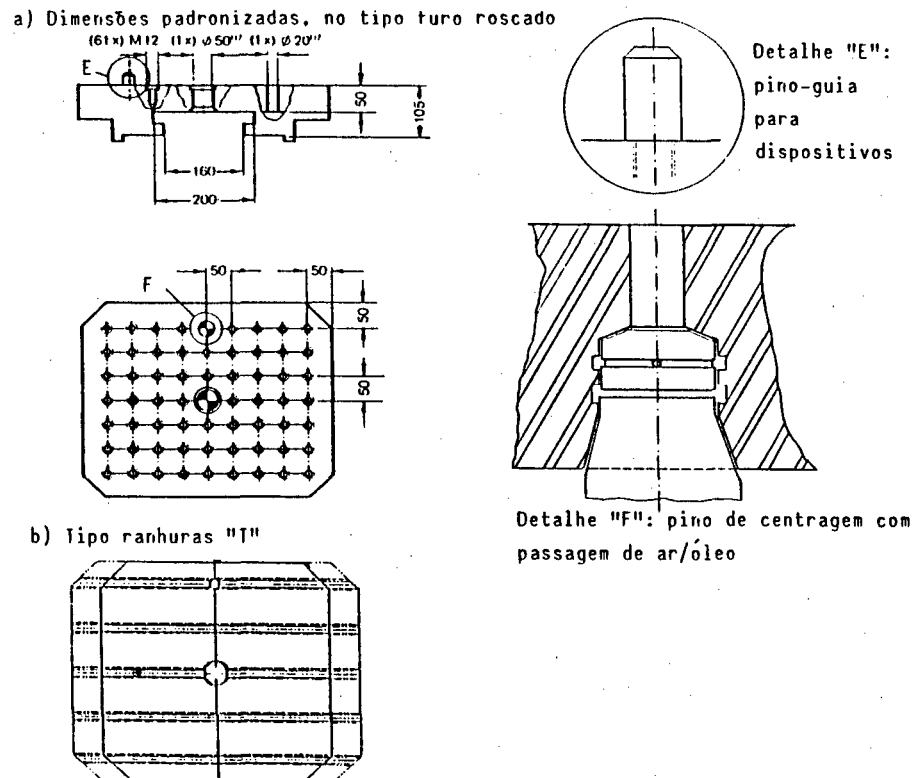


Figura 4.17- Paletes padronizados para aplicação em FMC's.

4.17, que se aproveita da sugestão inglesa para o padrão ISO e incorpora as passagens para estes fluxos necessários à FMC (o detalhe das vedações com anéis "O" não é mostrado no esquema).

b) geometria das interfaces: É um aspecto importante e até hoje tratado apenas superficialmente [66, 77, 145]. Os paletes são sempre manuseados em alturas compatíveis com as MT e demais estações, como as de preparação e inspeção. Estas alturas procuram compatibilizar as limitações técnicas (como o escoamento de cavacos) com as econômicas e com os aspectos de ergonomia (posição para operação ou montagem, por exemplo). Oscilam em geral, entre 700 mm e 1100 mm, de

acordo com o interesse predominante no projeto. As vantagens de uma altura única e padronizada de projeto logo se destacam:

as demais interfaces que se relacionam com a THU seriam induzidas à mesma padronização;

Os AGV's não necessitariam dos sistemas de levantamento e ajustagem de altura dos paletes. Além da simplificação e barateamento, significa também economia de energia e conseqüente maior autonomia para o transportador autopropelido;

a modularidade dos transportadores contínuos seria mais livremente exercitada e a troca destes por autônomos facilitada;

As MfU e IPU poderiam ser mais livremente relocadas ou trocadas, aproveitando-se da padronização dos paletes e da altura;

Os transferidores de paletes, as estações de preparação de peças e os estoques intermediários tenderiam a ter suas demais dimensões padronizadas o que facilitaria bastante rearranjos de "lay-out" e de configuração do FMS.

c) "Lay-out": O conceito de modularidade preconizado para as FMC's sugere a adoção de "lay-out's" com módulos lineares visando facilitar a inclusão de novas unidades na FMC e de novas FMC's no FMS. É um conceito que destoa das configurações clássicas de célula (principalmente as em "U"). Sacrificam o compartilhamento de unidades entre células para facilitar a evolução modular do sistema.

Os transportadores mais simples e baratos, para pequenas distâncias, deslocam-se em linha reta (carro sobre trilhos, transportadores contínuos). Estes vão se tornando limitados

e caros à medida que o sistema cresce, além de tumultuar as áreas de circulação pois as obstruem. O aumento de capacidade e de flexibilidade, com custos unitários de transporte mais baixos, são conseguidos com a incorporação progressiva dos transportadores guiados, que fazem curvas e não obstruem as áreas de circulação com estruturas. Sugestões de "lay-out's" que seguem a concepção sugerida podem ser vistos em [15, 16, 143, 164, 177]. Observe-se que os comentários relativos a lay-out estendem-se também às FMC's para peças de revolução que utilizam estrados.

4.3.3 Movimentação de Ferramentas

A movimentação de ferramentas desdobra-se em dois problemas distintos:

- interface entre magazine de ferramentas e o estoque estratégico local (estante de ferramentas ou trocador de magazines);
- interface entre o estoque estratégico local e a unidade de "presetting" (que acumula o gerenciamento de ferramentas).

Cada um dos componentes destas interfaces é comentado a seguir, através da análise dos seus elementos:

- a) Magazine de ferramentas: Dada a diversidade de tipos de magazines e das posições em que são colocados na MT é praticamente impossível falar-se em um único modelo de padronização. E nem se justifica. Esta preocupação deve dirigir-se para a estante de ferramentas, que é a interface entre a MfU e as demais.

b) Estante de ferramentas: Esta pode ser facilmente padronizada em módulos a partir de, por exemplo, 30 encaixes de ferramentas com posições indexadas, alcançáveis por um robô tipo portal (fig. 4.1b). Essa concepção, simples, baseia-se em modelos já difundidos entre fabricantes de MT. A vantagem está em permitir a padronização dos métodos de acesso do robô (interno à FMC) e do transportador (externo, repõe as ferramentas gastas ou quebradas e reequipa a estante para novos lotes de produção). Facilita também a padronização das garras do robô (convém lembrar que, no caso de peças de revolução, o robô tende a manipular ferramentas e peças com diferentes garras).

Este trabalho não detalhará o projeto dessas estantes por entender que é apenas uma questão de consenso de norma para adequação dos mesmos ao uso em FMC's.

A solução dos trocadores de magazines é descartada pois é limitada em capacidade e de difícil manuseio, além de ser inviável para ferramentas mais pesadas (ISO 50 BU 60). Observar ainda que um magazine intercambiável dificilmente suporta mais do que 30 ferramentas e uma operação automática pode requerer mais que 120 ferramentas [144].

c) Manipuladores: Várias são as alternativas de manipuladores, cada um com suas vantagens e restrições [15, 139, 170]. O robô portal, entre todos, é o que melhor se adequa às aplicações em função do seu volume de trabalho, capacidade de carga e custo. As restrições de manipulação ainda estão por conta das MT para peças de revolução, cujos projetos em geral não permitem a alimentação por cima (as máquinas NC

convencionais prevêm o acesso lateral, visando o operador humano). Os robôs são ainda limitados, devido à sua incapacidade de emular as ações humanas como o sensoreamento tátil, o controle adaptativo, a versatilidade de agarramento e, principalmente, ações simultâneas e coordenadas de dois braços para, por exemplo, segurar a peça enquanto a prende [15].

As garras têm merecido muita atenção dos pesquisadores. Existem bons trabalhos visando desenvolver garras com pinças intercambiáveis [178, 180] ou com "sensibilidade tátil" e capacidade de auto-alinhamento [175, 179]. O problema é que estas facilidades, se agregam algumas vantagens operacionais, acabam por tornar mais críticas as principais limitações dos robôs: sua capacidade de carga e sua velocidade de operação. O fato é que a flexibilidade adicional oferecida por esses sistemas nem sempre é compensadora [180].

No ambiente de FMC's as garras devem objetivar a simplicidade e eficácia utilizando o auxílio de recursos externos simples (a exemplo do cone de ferramentas ISO e da ponta de arraste para tornos). Deve-se prever a troca rápida de garras, quando necessário, a partir dos punhos padronizados, para garantir a intercambiabilidade. Os punhos devem prever passagens de ar e energia auxiliar para suprimento da garra sem necessidade de conexão externa (similares ao dos pinos de centragem dos paletes). Esta é uma área que ainda carece de consenso quanto à padronização

4.4 UNIDADE DE INSPEÇÃO - IPU

Uma atenção secundária tem sido dada a esta unidade quando do projeto de uma FMC, o que é de certa forma incoerente quando se sabe o papel da qualidade como motivadora dos investimentos em FMC. É importante que a IPU conte com a mesma flexibilidade e inteligência que as demais [181].

Qualquer IPU de FMC inteligente deve atender a alguns requisitos importantes:

- operação automática;
- robustez e confiabilidade;
- simplicidade e facilidade de manuseio;
- adequada incerteza de medição;
- flexibilidade (de produto, no caso);
- ser economicamente viável.

Para atender tais requisitos há uma tendência de sobrecarregar os projetos com dispositivos que minimizem a influência dos fatores acima, basicamente de 3 formas [182]:

- projetando-os imunes;
- protegendo-os;
- compensando o efeito das restrições (física, matemática ou logicamente).

Por outro lado, vários fatores influenciam no desempenho da IPU nas FMC's (e impõem severas restrições a seus projetos) [142, 181, 183, 184]:

- variação da temperatura: ambiental e devido ao processo de fabricação;
- elementos estranhos: sujeira, rebarbas, fluido de corte, restos de cavacos;
- interferências eletromagnéticas, elétricas, mecânicas, vibrações;

- variação de características: material, forma e dimensão, posição, montagem.

As exigências de projeto são tais que acabam tornando-os sofisticados, caros ou mesmo pouco confiáveis. Esta provavelmente é a razão porque tanto se investiga na área, tantos resultados interessantes se publicam, a nível laboratorial, e tão pouco se utiliza [43].

A proposta de modelos para IPU's deve, portanto, priorizar a simplicidade, aproveitando os preceitos de modularidade e padronização para que se viabilize técnica e economicamente.

4.4.1 Tecnologia de Inspeção

A inspeção automatizável em FMC pressupõe a existência, na empresa, de uma estrutura implantada de garantia da qualidade, baseada em recursos de controle estatístico de processo- SPC ("Statistical Process Control"), para que se assegure a necessária realimentação e, mais importante, readaptação do processo produtivo. A garantia de qualidade interessa, na realidade, evitar a produção de peças defeituosas. Ao controle de qualidade- QC ("Quality Control") cabe a responsabilidade de operacionalizar a garantia de qualidade no chão de fábrica. Para maiores detalhes, inclusive relativos à terminologia relativa a garantia de qualidade aqui utilizada, ver [185, 186, 187, 188].

A inspeção em FMC ocorre em 5 situações distintas (fig. 2.3):

- para controle interno de cada equipamento (posicionamento de eixo, rotação do fuso, limitadores de fim-de-curso, etc.);
- para controle das interfaces de unidades (como o posicionamento de um transportador na estação de preparação, troca de ferramenta na MfU pelo manipulador);

- para controle das ferramentas (vida, desgaste, quebra, "offset");
- para controle geométrico da peça (inclusive compensação de forças de corte, desgaste de ferramentas, etc.);
- para controle de qualidade.

Os dois primeiros casos em geral envolvem controles relativamente simples com tecnologias já dominadas. Ocorrem nos níveis 0 e 1 mostrados na figura 2.3.

Já os dois últimos, cujas ações de controle são exercidas prioritariamente através dos níveis 2 e 3, envolvem situações mais complexas, com implicações na filosofia de inspeção. Esta, por sua vez, distingue 4 abordagens distintas [58, 184, 189]:

- a inspeção após o processo (na peça já processada);
- a inspeção junto ao processo (nos estoques intermediários ou equivalentes, entre etapas do processo);
- a inspeção no processo (na MfU, durante ou intermitente ao processo);
- a inspeção do processo

A tendência é migrar da primeira para a última abordagem à medida que se supere as restrições e se cumpram os requisitos de projeto. O 2º e o 3º casos representam o estado da arte da tecnologia de inspeção hoje [189].

A última abordagem, a inspeção do processo, é um conceito aqui criado para adequar-se às exigências das FMC's inteligentes. Procura-se, por esta abordagem, controlar o processo para que ele garanta a produção livre de defeitos através da antecipação das correções após analisar as causas [59, 184, 190]. É uma concepção simples na sua essência e visa a atuação preventiva das técnicas de inspeção, caminhando na direção dos controles adaptativo e inteligente. Utiliza os recursos de SPC e se vale, principalmente, do contínuo acompanhamento das peças, das

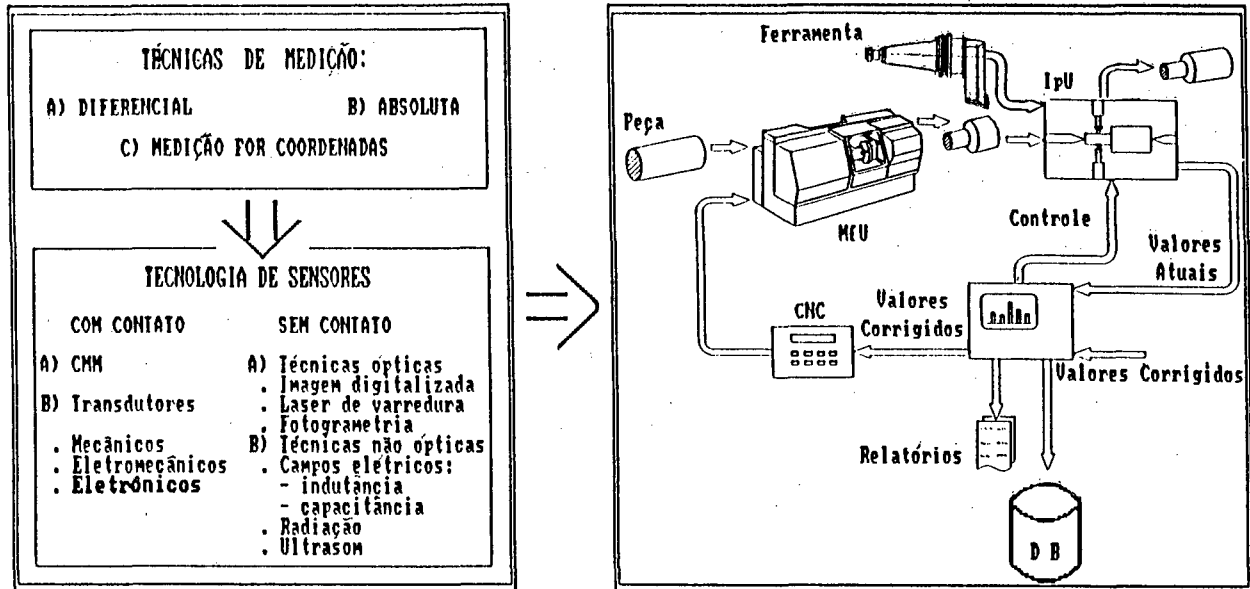


Figura 4.18- Tecnologias de inspeção em FMC's: técnicas e processo.

ferramentas e do processo, através dos recursos das demais abordagens de inspeção. A operacionalização deste conceito é ilustrada na figura 4.18, que sintetiza também as diferentes técnicas de inspeção, tanto para peças como para ferramentas.

Não se deterá aqui nos detalhes das tecnologias de sensores e seus princípios funcionais, que poderão ser consultados em [182, 179, 191, 192]. As técnicas de medição sem contato, em particular, poderão ser vistas em [193, 194]. A digitalização de imagens, mais especificamente, tem merecido atenção especial em função do seu potencial e flexibilidade. A figura 4.19 esquematiza as principais estratégias pesquisadas para o uso em automatização industrial. Entretanto, as aplicações ainda são muito restritas em função dos altos custos envolvidos, da fragilidade e das limitações tecnológicas, principalmente o grande esforço computacional requerido. Sobre o assunto, ver [43, 179, 193].

Destaque-se o papel da tecnologia de medição por coordenadas (através das CMM com CNC). Apesar de ser uma abordagem de inspeção após o processo, esta cria condições para que se possa

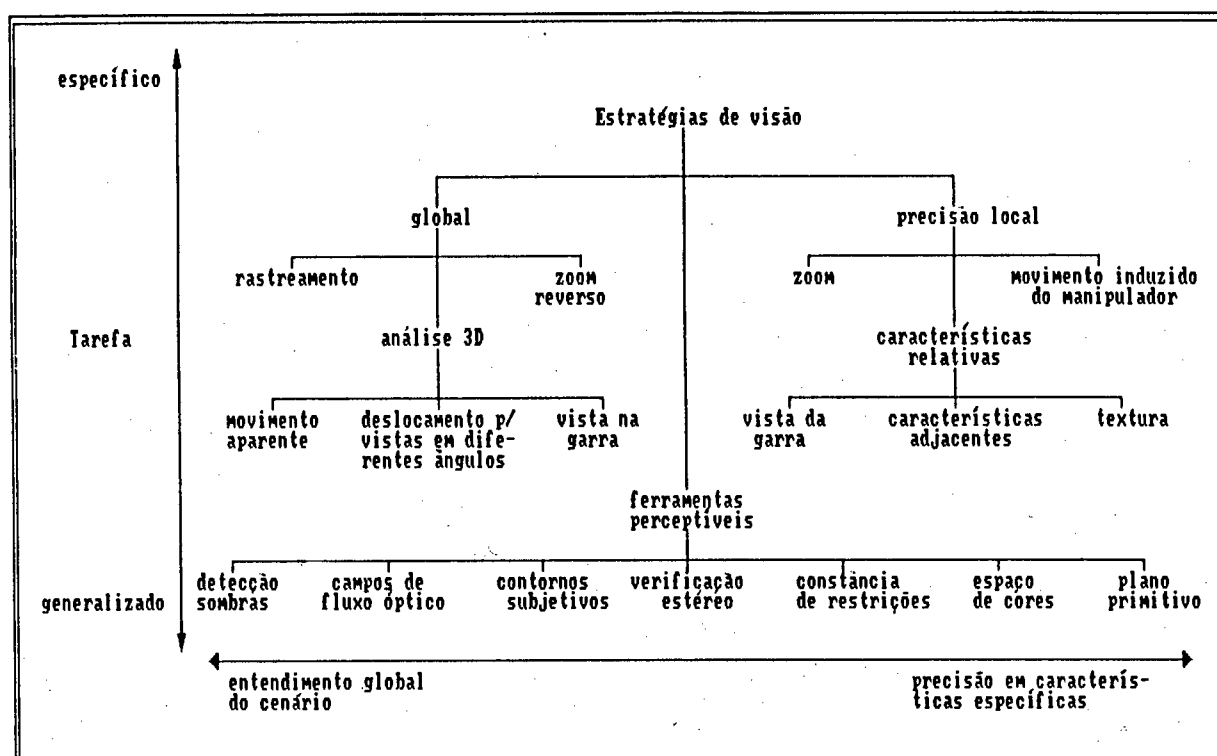


Figura 4.19- Estratégias de visão assumidas em função das necessidades das tarefas da produção [43]

exercer de forma racional o controle do processo, graças à sua capacidade de medir muitas e diferentes características da peça, e de medir peças que podem variar indistintamente de forma e dimensões, independente dos tamanhos dos lotes. Mais importante é a possibilidade de analisar a peça computacionalmente, de forma detalhada, permitindo reaver (e rever) a sua história, avaliar tendências e sugerir ao sistema medidas corretivas antes que este saia de controle. Para mais detalhes sobre o tema, ver [59, 181, 196, 197, 198, 199].

4.4.2 A Inspeção de Peças

Há de se distinguir as situações possíveis:

- inspeção por amostragem x inspeção de 100% das peças;
- incerteza de medição pequenas x tolerâncias pouco exigentes.

As diferentes combinações dessas situações exigirão

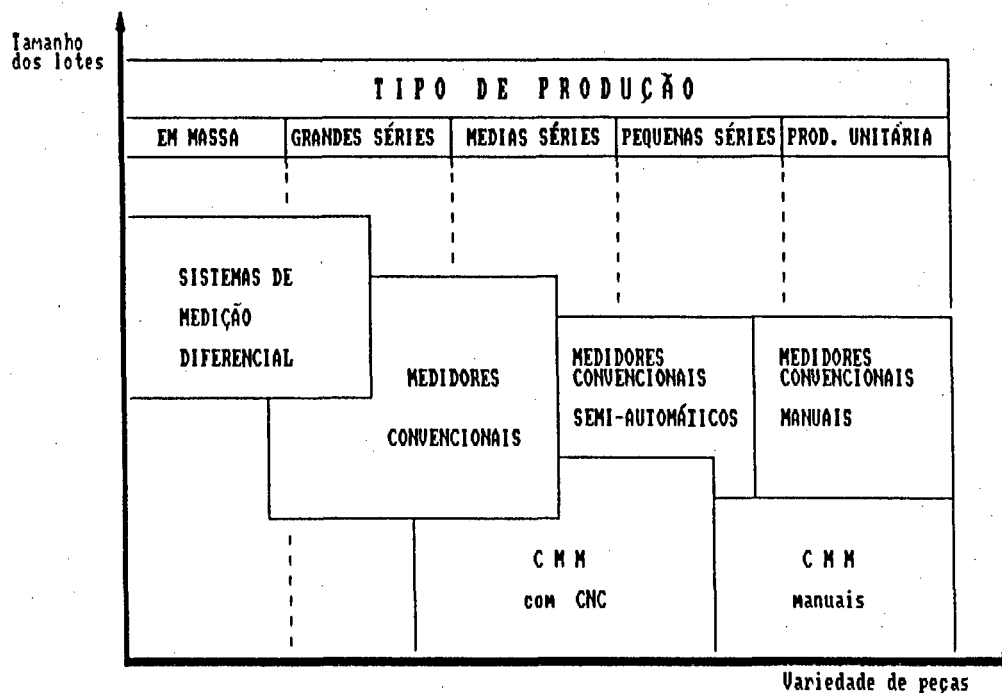


Figura 4.20- Áreas de aplicação dos diversos sistemas de medição disponíveis para o Controle de Qualidade

características distintas para cada IPU que têm que ser coerentes com o grau (e tipo) de flexibilidade pretendida para a FMC (fig. 4.20). Observar a analogia com a figura 1.10, que mostra a adequabilidade das MfU às diferentes situações pretendidas. Em muitas situações a inspeção no processo oferece características interessantes de flexibilidade: o advento dos apalpadores com transmissão óptica ou indutiva do sinal foi uma evolução importante pois permitiu a colocação automática do sensor no lugar de uma ferramenta [200]. Esse método procura utilizar a MT como uma CMM [189]. As restrições a considerar (além das já citadas) são:

- as incertezas de posicionamento da ferramenta na MT e da MT propriamente dita;
- o tempo adicional necessário para a inspeção, que desviará a MT de sua função principal, a usinagem;

- a capacidade da MT e do seu CNC de lidar com as trajetórias, interpolações e as incertezas de posicionamento (incluindo a repetibilidade de posicionamento) requeridas pela medição;
- as limitações para se processar as informações que subsidiam o QC.

No entanto, dentro da estratégia aqui proposta, este método incorpora algumas características muito úteis:

- pode ser implementado em qualquer MT normalmente utilizada em FMC a custos iniciais relativamente baixos;
- permite testar e validar a estratégia adotada pela empresa para o QC, principalmente a sua sistemática de planejamento e de avaliação do resultados. Ver, a propósito, [201, 202, 203, 204, 205];
- permite a inspeção e imediata correção de características críticas do processo quando as tolerâncias ou desgaste de ferramentas, por exemplo, precisam ser controladas cuidadosamente;
- é o primeiro passo para introdução futura da CMM integrada ao processo;
- é uma excelente ferramenta de apoio à preparação das peças (ver o item 4.4.4).

A inspeção junto ao processo também é uma estratégia a ser considerada. As suas principais desvantagens são a relativa demora para obtenção das informações e a manipulação adicional necessária. A primeira deixa de ser tão crítica se o processo puder ser considerado capaz. A segunda dependerá da racionalização do processo de inspeção e da sua integração ao fluxo corrente de transporte (de forma a evitar gargalos e estoques intermediários).

Por outro lado, as vantagens são significativas:

- permite, em uma primeira fase, iniciar o controle pela medição com instrumentos manuais acoplados a coletores de dados [59, 65];
- torna a IpU fisicamente separada da MfU, liberando esta para as atividades produtivas;
- facilita a introdução gradual de IpU mais sofisticados (e eventualmente dedicados) à medida que o processo justifique.

A melhor alternativa para cada FMC deve ser estudada caso a caso. No entanto, a concepção aqui pensada de FMC pressupõe uma única abordagem no que se refere aos fluxos de informação e controle, vistos na figura 4.19. A inspeção do processo não entra nessa análise por não se aplicar: ela se propõe, na prática, a ser complementar aos demais métodos.

4.4.3 A Inspeção de Ferramentas

Muitos são os fatores que influenciam no desempenho de uma FMC. A manutenção do processo sob controle, entretanto, está intimamente associada ao comportamento das ferramentas, sobretudo ao seu desgaste e quebra.

A predição do comportamento de uma ferramenta, por sua vez, depende de uma série de outros fatores que não necessariamente dependem dela e que são difíceis de se manter sob controle, como variações do material da peça, quantidade de sobrematerial, parâmetros de corte, e assim por diante. O fato é que, a despeito de toda a pesquisa já feita desde o tempo de Taylor, ainda hoje não se consegue monitorar adequadamente, e muito menos prever, o desgaste de uma ferramenta [43, 206].

Já que não é possível predizer o desgaste ou a quebra da ferramenta, tem-se tentado monitorá-los através de grandezas a eles associados, como o torque da árvore (ou a correspondente

corrente do motor principal), da força de corte, de avanço, temperatura ou vibração de ferramenta. Várias pesquisas recentes tentaram estabelecer parâmetros comportamentais úteis à análise da ferramenta [152, 184, 206, 207, 208, 209]. Esses estudos exigem um levantamento prévio das variáveis correspondentes para estabelecimento dos padrões de referência e impõem uma série de restrições à operação do sistema, como constância de sobrematerial, limitação do corte interrompido a condições estritamente controladas (número de dentes da ferramenta, tipo de superfície a usinar), montagem isenta de vibrações, e assim por diante [43, 210]. Apesar das restrições de uso, do preço e das limitações técnicas, alguns sistemas já se encontram disponíveis no mercado [152, 211].

Dentre os sistemas de monitoramento das ferramentas destaca-se os transdutores piezoelétricos como sensores diretos da força de corte [211], hoje já bastante utilizados em sistemas de torneamento. A vantagem dessa alternativa está na possibilidade imediata de automatização e no rápido tempo de resposta, aumentando a segurança das operações automáticas de usinagem.

Entretanto, a tendência em FMC's ainda tem sido fazer previsões conservadoras da vida das ferramentas (baseadas em testes e históricos das ferramentas), ou simplesmente adotar valores recomendados (o que leva a se assumir valores ainda mais conservadores) [144, 206]. Os sistemas de acompanhamento podem ser complementados por detectores de quebra de ferramenta [143, 171, 200]. Esses dados conservadores podem significar um acréscimo razoável nos tempos de usinagem e, conseqüentemente, na elevação dos custos de produção, uma vez que os parâmetros de corte também acabam subestimados. Significam ainda desperdício de ferramentas, cujo custo pode representar até 1/3 do de usinagem [171], além do excesso de manuseio, de reafiação e de estoques.

O modelo integrado sugerido por este trabalho, baseado na concepção da inspeção do processo, favorece a adoção de soluções que extrapolam as convencionalmente pesquisadas, aproveitando os recursos já disponíveis. O objetivo é otimizar a vida das ferramentas e os parâmetros de corte, além de realimentar o processo com correções dos "off-sets" de ferramenta devido ao desgaste, com custos relativamente baixos.

A concepção é bastante simples: sabe-se hoje que o desgaste de uma ferramenta segue o comportamento do gráfico da figura 4.21a. É contínuo e com comportamento previsível até o limiar da quebra, quando a deterioração acelera exponencialmente a inclinação da curva. As tensões e a temperatura de corte têm comportamento similar. Este ponto corresponde a um desgaste de flanco aproximado de 0,8 mm nos insertos de metal duro (mantidos constantes os parâmetros de corte) [43]. Em determinadas ferramentas esse valor pode cair para 0,3 mm.

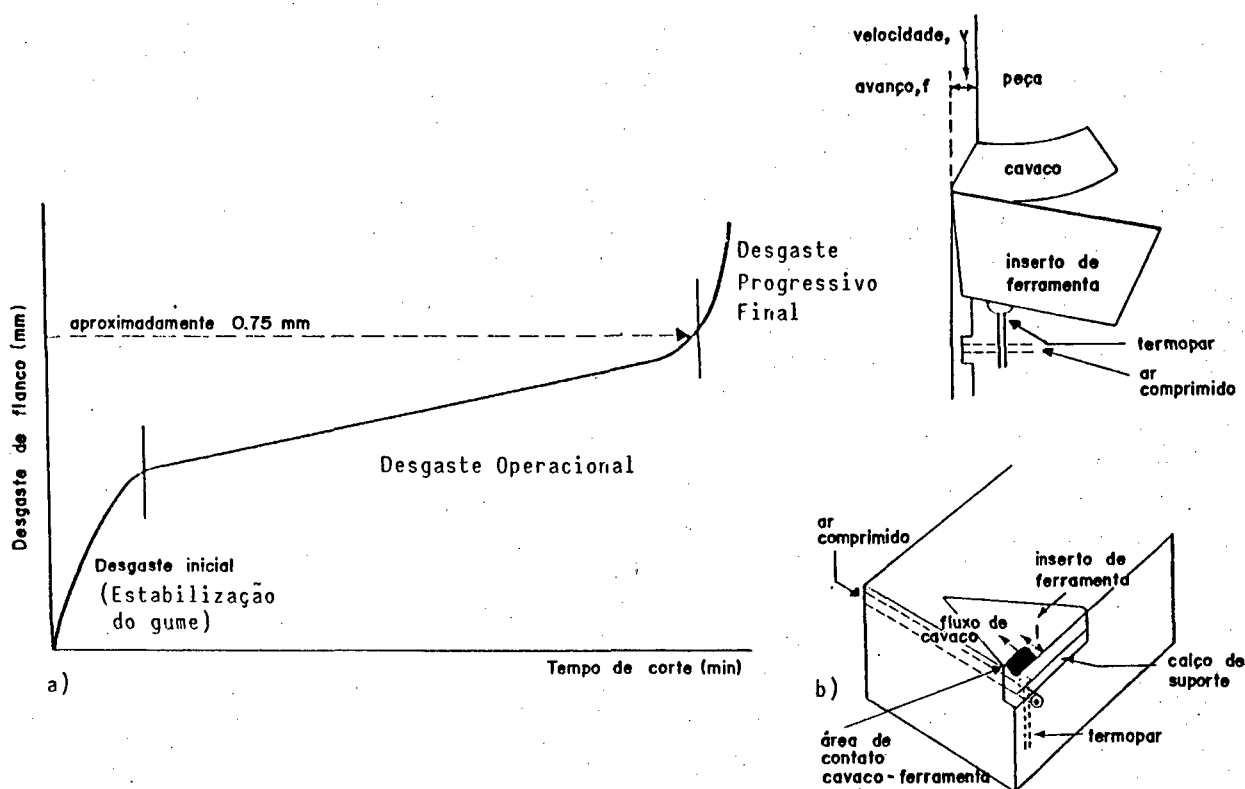


Figura 4.21- Sistema para controle de desgaste e de vida de ferramentas

Por outro lado, já se dispõe de apalpadores para medição aplicáveis a ferramentas que garantem incertezas de medição menores do que 0,03 mm [212, 213], o que os torna aptos a medir o desgaste em questão.

Dois caminhos poderiam então ser seguidos relativos ao "pre-setting":

- executá-lo na própria MT;
- usar uma unidade de "pre-setting".

O primeiro tem a vantagem de referenciar as ferramentas na própria MT, com o ônus do tempo gasto para tal e da maior incerteza de medição. O segundo necessita uma intercomparação cuidadosa entre a unidade de "pre-setting" e as MT para evitar propagação de erros (nas medições subsequentes pela MT).

Em ambos os casos será útil, de qualquer maneira, o apalpador com sistema de referência na própria MT visando a correção do zero-ferramenta, principalmente nos casos de usinagem de precisão [213]. Um termopar é instalado na base de inserto para monitoração da temperatura (fig. 4.21b).

As características do processo determinarão o intervalo de tempo decorrido até a primeira verificação de desgaste. Os intervalos vão diminuindo à medida que o valor do desgaste for atingindo os limites pré-estabelecidos para troca. O termopar, enquanto isso, controla variações anormais de temperatura: elevações bruscas serão imediatamente seguidas de uma verificação de desgaste e de aviso ao operador pois podem significar falha iminente ou quebra. Este sistema demanda alguns cuidados:

- medições de alguns pontos da ferramenta que permitam traçar o perfil do desgaste e verificar se houve lascamento;
- controle rígido das curvas Desgaste x Vida de cada ferramenta para otimizar os intervalos de inspeção;

- atualização das bases de dados a cada novo ajuste de "offset" para rastreamento de eventuais distorções ou problemas (comparando com a história da ferramenta existente na base de dados);
- inspecionar visualmente ou por instrumentos as ferramentas trocadas para avaliar os desgastes de cratera ou outros problemas não acusáveis pela inspeção automática. Manter histórico na base de dados;
- avaliar cuidadosamente que processos e que ferramentas justificam esse controle. São candidatos os processos mais críticos quanto ao controle de desgaste ou que envolvam ferramentas caras. Ferramentas que imponham muitos pontos de medição (fresas, por exemplo) podem ser problemáticas.

As técnicas de inspeção podem evoluir para métodos sem contato, baseados, por exemplo, em imagens digitalizadas com análise de planos primitivos (rever fig. 4.19) [43, 206]. Seriam aproveitados, no caso, os sistemas utilizados na FMC para fins de inspeção das peças.

Uma opção mais barata, robusta, confiável, e que conta com a vantagem de medir, sem contato, o desgaste de flanco além de permitir o controle adaptativo, é ilustrada na figura 4.21b: a utilização das técnicas de medição pneumática para monitorar continuamente o desgaste (e quebra) das ferramentas [144, 189].

O princípio é o mesmo dos calibradores pneumáticos e é possível de ser implementado em boa parte das ferramentas utilizadas em FMC's. As restrições maiores estariam nas ferramentas multi-insertos ou de acabamento, onde as superfícies de incidência são várias ou têm seus ângulos muito acentuados. O corte interrompido pode ser tratado com o uso de filtros de linha pneumáticos que manteriam o valor da pressão em torno da média. A

conversão analógica/digital do sinal pneumático já não é mais problema.

4.4.4 O Posicionamento de Dispositivos / Peças

Rigidez e precisão de posicionamento são os itens mais críticos no projeto de qualquer dispositivo. No caso dos dispositivos flexíveis deve-se somar, às incertezas de posicionamento já existentes, as oriundas do sistema de manipulação e do posicionamento do palete na MT (no caso de peças prismáticas) ou dos mecanismos de agarramento automáticos (no caso das peças de revolução).

Uma alternativa interessante surge a partir do advento dos transdutores acopláveis à MT para inspeção no processo. O uso desses transdutores no lugar de uma ferramenta permite a medição de pontos pré-estabelecidos na peça antes de usinagem, de forma a corrigir as referências de zero-peça na MT ajustando, assim, os desvios angulares ou de deslocamento que possam ter ocorrido. Permitem, adicionalmente, corrigir as condições de usinagem em função, por exemplo, das sobremedidas da peça a processar. A figura 4.22 apresenta algumas das principais aplicações [189]. As únicas incertezas de posicionamento que passam a existir são as da própria MT e do instrumento.

Com este recurso deixa de ser importante a fixação precisa das peças, isto é, demorada, problemática, inflexível e cara [184, 195, 197, 200]. O custo adicional desta concepção está no próprio MsU (e respectivo software) e, principalmente, no tempo adicional requerido ao processo. A alternativa da inspeção no processo será compensadora quando:

- a fixação flexível for difícil ou cara;
- a usinagem for de precisão (e as incertezas de fabricação da MT compatíveis);

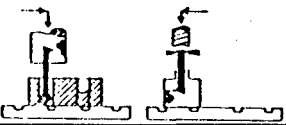

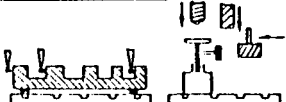

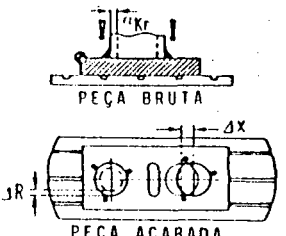
TAREFA DE MEDIÇÃO	OBJETIVO	ESTRATÉGIA DE CORREÇÃO
① ESTADO DO APALPADOR 	<ul style="list-style-type: none"> • VERIFICAÇÃO DE PEÇAS E FERRAMENTAS • PROTEÇÃO CONTRA ACIDENTES • ELIMINAR MOVIMENTOS EM VAZIO 	<ul style="list-style-type: none"> • PARADA DO CN AVISO AO OPERADOR • SALTO PARA TRECHOS DO PROGRAMA
② MEDIÇÃO DE PONIOS DE REFERÊNCIA 	<ul style="list-style-type: none"> • COMPENSAÇÃO DE DEFORMAÇÕES TÉRMICAS 	<ul style="list-style-type: none"> • RESET X,Y,Z • CORREÇÃO DE ORIGEM $\Delta (X_0, Y_0, Z_0)$
③ MEDIÇÃO DE COMPRIMENTO DE REFERÊNCIA 	<ul style="list-style-type: none"> • REVISÃO DA MÁQUINA • MEDIÇÃO AUTOMÁTICA DE FERRAMENTAS 	<ul style="list-style-type: none"> • REAJUSTE, MANUTENÇÃO • CORREÇÃO DE DADOS DA FERRAMENTA
④ LOCALIZAÇÃO DA PEÇA 	<ul style="list-style-type: none"> • REDUÇÃO DO TEMPO DE AJUSTE DA PEÇA 	<ul style="list-style-type: none"> • TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS DE POSIÇÃO
⑤ MEDIÇÃO DE ELEMENTOS GEOMÉTRICOS 	<ul style="list-style-type: none"> • DETECÇÃO DE SOBREMEDIDAS • COMPENSAÇÃO DE DESGASTE • CONTROLE DE QUALIDADE ON-LINE 	<ul style="list-style-type: none"> • MODIFICAÇÃO DE ORIGEM • REAJUSTE OU SUBSTITUIÇÃO DA FERRAMENTA • CLASSIFICAÇÃO DA PEÇA

Figura 4.22- Inspeção no processo: técnicas de medição adotáveis e seus objetivos [189]

-- o tempo de usinagem for relativamente longo se comparado aos tempos secundários.

Como se vê, este enfoque de certa forma subverte os conceitos de fixação convencional ou flexível. Não os invalida, entretanto.

Sugere-se a seguir uma solução para viabilização do método de inspeção no processo aproveitando-se dos recursos oferecidos pelos dispositivos flexíveis.

A concepção proposta baseia-se na inclusão de 1 pino-guia de localização no palete, pré-fixado e calibrado (fig. 4.17e). Este seria utilizado como referência na instalação dos dispositivos, que contariam com o respectivo furo-guia. 3 ou 4 combinações de posição desses pinos seriam utilizadas para atender a todas as famílias de peças.

Optou-se por prever um pino simples, sem as passagens de ar/óleo, por três razões:

- não dificultar nem limitar o projeto dos dispositivos;
- evitar problemas na montagem dos dispositivos, principalmente com os anéis "O";
- como a montagem dos dispositivos nos paletes ainda será manual por um bom tempo, as conexões das passagens de ar/óleo poderão ser feitas por engates-rápidos.

Esta solução, simples, se beneficia das vantagens da padronização dos paletes e dispositivos para servirem de base para a otimização da inspeção no processo para ajuste fino do posicionamento da peça na MfU. Espera-se assim:

- agilizar a instalação dos dispositivos nos paletes;
- tornar os dispositivos flexíveis padronizáveis e mais simples e baratos;
- garantir a necessária precisão de posicionamento da peça;
- viabilizar economicamente a inspeção no processo como apoio à fixação, extendendo seus benefício ao controle da produção e à qualidade.

4.5 UNIDADE DE IDENTIFICAÇÃO - IdU

A identificação poderia ser entendida como uma aplicação específica de inspeção. No entanto, dada a sua importância para a FMC inteligente, a IdU merece uma análise específica.

A garantia da necessária flexibilidade de roteamento e produto de uma FMC inteligente está associada à sua capacidade de reconhecimento das mudanças de características das peças e ferramentas que entram na FMC para que sejam tomadas as providências necessárias. A figura 4.23 mostra como se dá esse processo na fase de instalação da FMC para produção de um novo

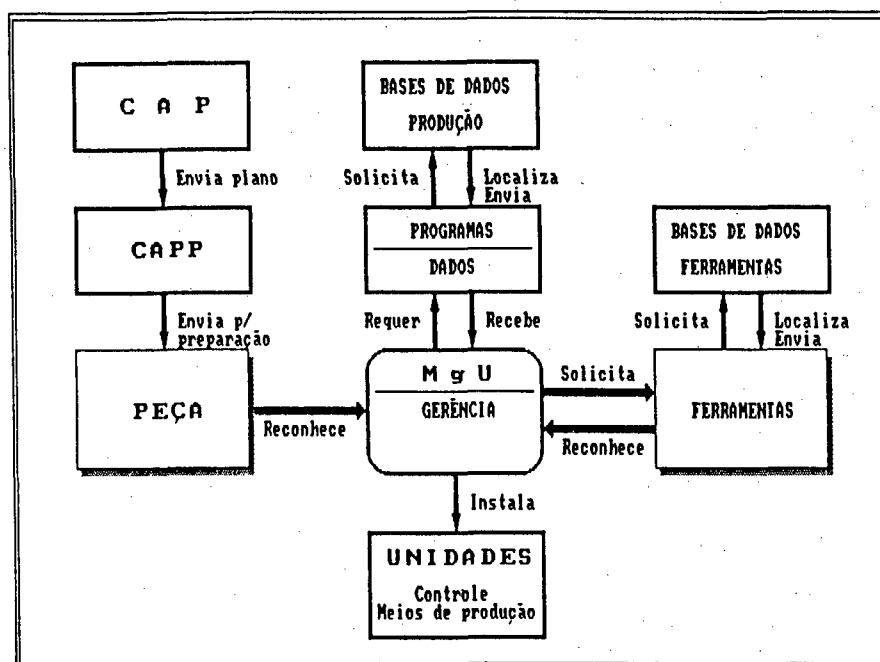


Figura 4.23- Manufatura inteligente: mecanismo para instalação da FMC a partir da identificação de novo lote de peças.

lote de peças. A identificação de cada ferramenta é necessária para que se forneça aos arquivos de ferramentas dos CNC's os parâmetros (comprimento e diâmetro) que corrigirão os programas NC. Os suportes de ferramentas, sendo padronizados, facilitam a incorporação de um meio de leitura em local legível.

As peças, ao contrário, podem variar bastante em forma e tamanho. Estarão ainda sujeitas, na usinagem, a mudanças na forma, a vibrações, cavacos, fluidos de corte e rebarbas. Os meios de identificação automatizados na própria peça ficam assim restritos a dois métodos:

- por característica reconhecível da peça;
- imagem digitalizada.

As demais tecnologias dependem da identificação do palete ou estrado. São elas:

- ópticas: código de barras - BC ("Bar Code") e identificação óptica de caracteres- OCR ("Optical Character Recognition");
- eletromagnéticas: rádio-freqüência e indutivo.

Os princípios funcionais, as características e limitações dessas tecnologias quando aplicadas ao ambiente da manufatura podem ser vistas em [59, 193, 214, 215, 216, 217]. A digitalização de imagens é comentada mais especificamente em [43, 179, 218]. Para uma análise comparativa entre os diferentes sistemas, ver [5, 183, 219].

As estratégias de identificação podem tomar duas direções diferentes, que orientarão, segundo filosofias distintas, a estrutura de controle dos fluxos de peças e ferramentas [220]. Elas podem ser classificadas como;

- identificação ativa;
- identificação passiva.

A primeira rastreia, durante a identificação, toda a evolução do objeto. Após cada etapa do processo a identificação é atualizada, revisando o histórico do objeto após cada alteração geométrica ou tecnológica de interesse. Esta característica, por ser bastante atraente, tem motivado muitas pesquisas na área. Os sistemas mais aptos a esse conceito são os de rádio-freqüência (podem incluir dados tecnológicos) e de imagem digitalizada (só dados geométricos).

A digitalização de imagens é uma opção quando são críticos os problemas de flexibilidade de volume. Os custos e a sobrecarga computacional do sistema limitam o seu uso aos casos onde outros

sistemas falham em atender os requisitos exigidos. Procura-se, nesses casos, aproveitar-se o seu potencial extendendo suas funções às de inspeção.

A estratégia de visão, nesse caso, favorece o uso dos métodos globais, como os de detecção de sombra, campos de fluxo óptico, ou contornos subjetivos (fig. 4.19) [220]. Objetivam principalmente o reconhecimento dos objetos e da sua orientação espacial, quando não é possível dispô-los devidamente indexados para manipulação.

A identificação passiva transfere o ônus da atualização dos registros para a MgU e respectivas bases de dados. A identificação é única ao longo de todo o processo e, em geral, traz apenas o código de identificação do objeto.

A implementação da IdU, considerando a estratégia gradual de migração, sugere uma evolução como mostrado na figura 4.24. A identificação passiva, apesar das limitações, é a solução mais natural e econômica, principalmente se se considerar que o registro das informações de processo terá que ser feito pela MgU mais cedo ou mais tarde, para acompanhamento da vida do produto. Os sistemas ativos seriam assim, redundantes e desnecessários.

Do ponto de vista lógico, a IdU deve ser implantada uma única vez: os códigos têm que ser unificados e acessíveis nas bases de dados. A evolução e sofisticação graduais da IdU se dão apenas em relação aos métodos utilizados para leitura dos registros.

A primeira fase, de identificação manual pelo operador, via teclado, pode até ser a última em muitas FMC's. Não justifica automatizar IdU's de FMC's que variem pouco as características do processo para usinar as famílias de peças, ou ainda que operem com lotes relativamente grandes e roteamento fixo.

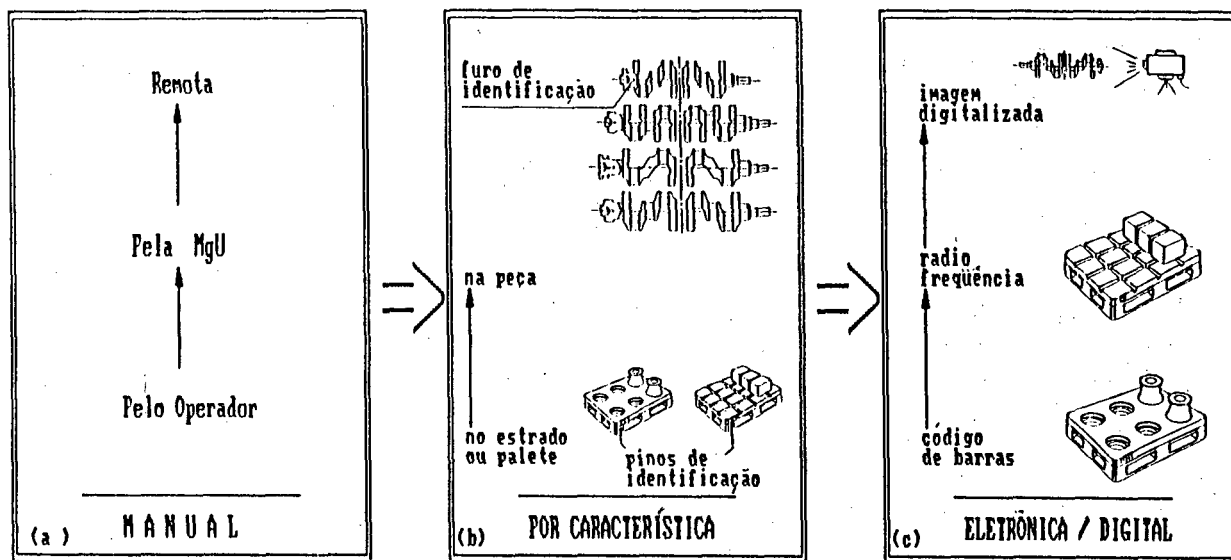


Figura 4.24- Evolução das técnicas de identificação de peças e ferramentas de acordo com as necessidades de sofisticação da FMC

A automatização da IdU fica interessante quando se necessita de grande flexibilidade de produto, volume e roteamento.

Uma solução intermediária sugere a adoção da identificação por característica: estas passam a ser lidas diretamente no estrado, palete ou na própria peça (fig. 4.24b). Este método não se aplica à identificação de ferramentas, dadas as dificuldades para implementação. Ele se baseia na inspeção ou contagem de uma característica específica do objeto que é univocamente associada à peça. Uma concepção interessante, para colocação em estrados ou paletes, consiste da colocação de pinos, associados segundo um código binário, que poderão ser lidos por simples transdutores indutivos, magnéticos, óticos ou eletromecânicos.

O BC é uma solução interessante quando se pensa na integração da informação em um nível mais amplo na empresa. É um sistema passivo e tem algumas limitações para aplicação em FMC's:

- pequena quantidade de informações armazenáveis (não muito mais que 20 caracteres);
- espaço ocupado pelo código relativamente grande (e tem que ser uma superfície regular);

- superfície de leitura tem que ser limpa e com as barras bem contrastadas.

No entanto, possui características favoráveis importantes:

- baixo custo de implantação, operação e manutenção. Pode iniciar com equipamentos baratos, disponíveis no mercado, como canetas óticas (apesar das limitações [214]) e impressoras matriciais convencionais, sofisticando-se gradualmente até os "scanners" laser para leitura sem contato;
- flexibilidade: pode usar etiquetas de papel ou plástico, descartáveis ou autocolantes. Pode ser impressa nos documentos já existentes ou ainda estampada, moldada ou fundida na superfície do objeto [183]. Como pode representar todos os caracteres ASCII, é possível usar o BC para transmitir ordens ("entre", "cancele", "imprima" etc);
- fácil uso: não exige modificações nos procedimentos ou sistemas já adotados nem treinamento especial. O BC pode, por exemplo, substituir o teclado (fisicamente, inclusive);
- padronização: Os códigos e interfaces já são de alguma forma padronizados e são aptos para ambientes diversos. Outros setores das empresas já usam o BC de forma disseminada;
- segurança: é imune a interferências ou deturpações. Só aceita a leitura ótica validada pelo próprio código.

Os códigos merecem um comentário mais específico: dentre as diversas opções existentes, o chamado código 39 (ou 3 de 9) tem se destacado como solução praticamente consensual para o ambiente industrial. As principais razões são [183]:

- é o único, entre os mais difundidos, que permite o uso de todos os caracteres alfanuméricos e caracteres de controle;
- possui mecanismos de detecção de erros que asseguram menos de 1 erro em 1 milhão de leituras;

- pode ser impresso com barras menores que 7 mm e permanecer legível.

Entretanto, o código 39 carece de padronização mais efetiva. Por enquanto existe apenas como padrão militar utilizado pelo Departamento de Defesa americano e de seus fornecedores. É também utilizado pela indústria automobilística e de autopeças, como padrão interno corporativo.

5. ASPECTOS OPERACIONAIS

Os aspectos operacionais associam-se à inteligência das FMC's, como visto no capítulo 2. Esta inteligência se manifesta nas ações e reflexões que consegue operacionalizar. Estas ocorrem a partir dos seus sistemas de controle e é fundamentada em uma estrutura integrada de Bases de Dados - DB ("Data Base").

Este capítulo se dedica a esses dois aspectos fundamentais para a integração dos fluxos de informação. Comenta também, em função da sua importância relativa à padronização, os problemas relativos a sistemas operacionais - OS ("Operating Systems") e comandos numéricos computadorizados - CNC ("Computerized Numerical Control").

Quando se fala em integração da manufatura, o enfoque da literatura normalmente se volta para os conceitos computacionais ou de integração de sistemas [5, 141, 221, 222], ficando prejudicada a visão de integração funcional, que requer o entendimento de como funciona e o que se pretende do sistema que se quer automatizar. Isto implica conhecer [113, 223, 224]:

- os detalhes da operação do sistema atualmente existente ou projetado;
- quais os resultados esperados de cada atividade;
- quais as atividades que deverão ser reestruturadas em função do ambiente automatizado;
- quais as atividades que se tornam dispensáveis.

Esta análise permite definir os elementos básicos (e respectivas características de interação) que suportarão o ambiente integrado. O enfoque dado a seguir parte desta visão de integração funcional, fundamentada nos conceitos e recursos apresentados nos capítulos 2 e 3. Tenta-se chegar a sugestões que viabilizem a incorporação gradual de soluções padronizadas para operação de FMC's.

5.1 CONTROLE

Quando se refere à integração das funções de controle, a literatura privilegia as estruturas hierárquicas [74, 225, 226, 227, 228]. Em geral, essas estruturas são modeladas seguindo um conceito altamente centralizado, onde as decisões tomadas nos níveis superiores são passadas como comandos aos níveis mais baixos, em fluxo sempre descendente. O retorno se dá sob a forma de confirmações, informações de status ou relatórios, em fluxo ascendente [229, 230, 231].

Essa concepção, em princípio válida, tem se mostrado limitada, principalmente devido a [68, 221, 232]:

- sobrecarga dos níveis superiores durante os processos de tomada de decisão e na manipulação de dados e arquivos;
- excessiva dependência dos níveis inferiores da hierarquia, com tendência para situações tipo "entre na fila e aguarde ordens";
- sobrecarga das vias de comunicação e excesso de fluxos de controle;
- eficiência limitada do conjunto, em função das diversas possibilidades de ingerência;
- falta de confiabilidade do conjunto. Propensão para problemas em cascata;
- dificuldade de evoluir para sistemas inteligentes.

Estas limitações levam a repensar o modelo hierárquico, principalmente quando se considera o caso das FMC's independentes e apoiadas por operadores inteligentes [68, 221].

5.1.1 Organização de Uma Estrutura de Controle

O controle de FMS/FMC's inteligentes sugere a adoção de estruturas descentralizadas. Nesse contexto a MgU da FMC se comunica o mínimo possível com os demais sistemas de controle e planejamento da produção [68]. A troca de informações ocorre basicamente em três situações:

- quando da delegação de responsabilidades à FMC (inicialização ou alteração de programação);
- quando da remessa de relatórios de produção pela FMC;
- em situações excepcionais (falhas, mudanças de estado, impossibilidade de atender as solicitações etc.).

A figura 5.1 apresenta uma distribuição temporal das funções de controle de uma FMC, detalhando cada uma das três situações possíveis. Durante a operação normal, a MgU da FMC só se comunica

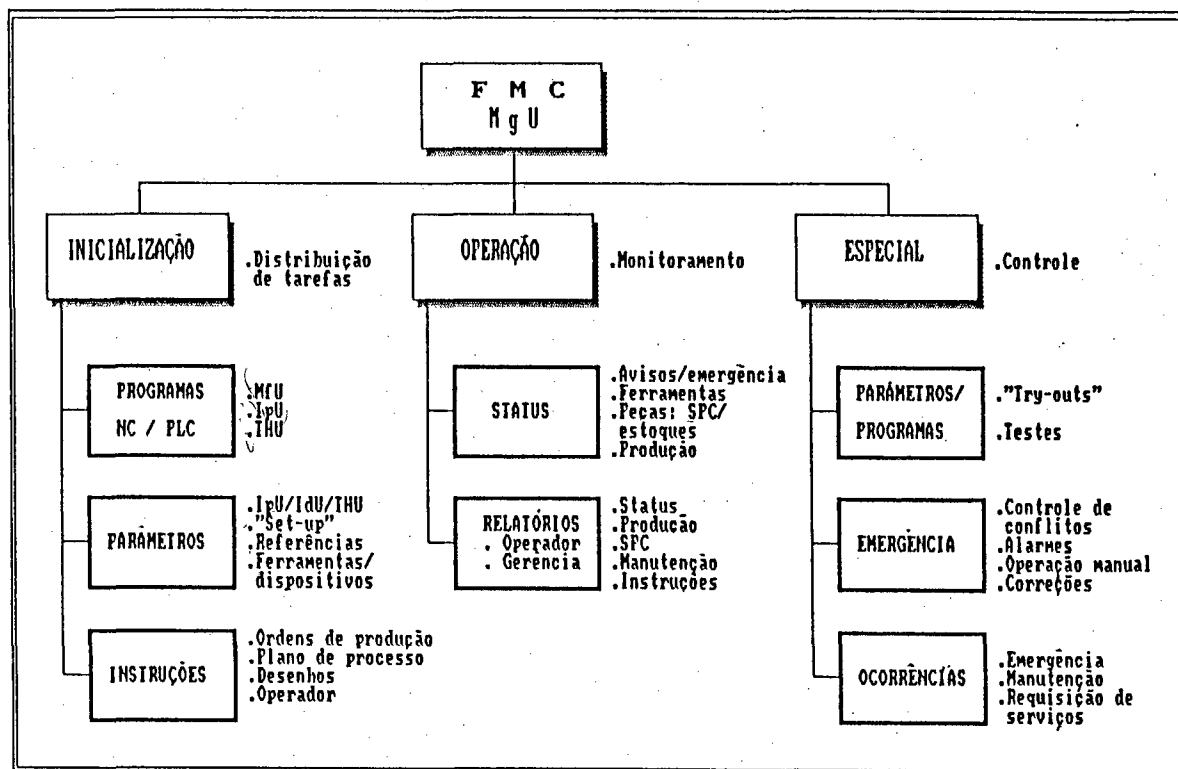


Figura 5.1- Distribuição temporal das funções de controle da FMC.

5.1.1 Organização de Uma Estrutura de Controle

O controle de FMS/FMC's inteligentes sugere a adoção de estruturas descentralizadas. Nesse contexto a MgU da FMC se comunica o mínimo possível com os demais sistemas de controle e planejamento da produção [68]. A troca de informações ocorre basicamente em três situações:

- quando da delegação de responsabilidades à FMC (inicialização ou alteração de programação);
- quando da remessa de relatórios de produção pela FMC;
- em situações excepcionais (falhas, mudanças de estado, impossibilidade de atender as solicitações etc.).

A figura 5.1 apresenta uma distribuição temporal das funções de controle de uma FMC, detalhando cada uma das três situações possíveis. Durante a operação normal, a MgU da FMC só se comunica

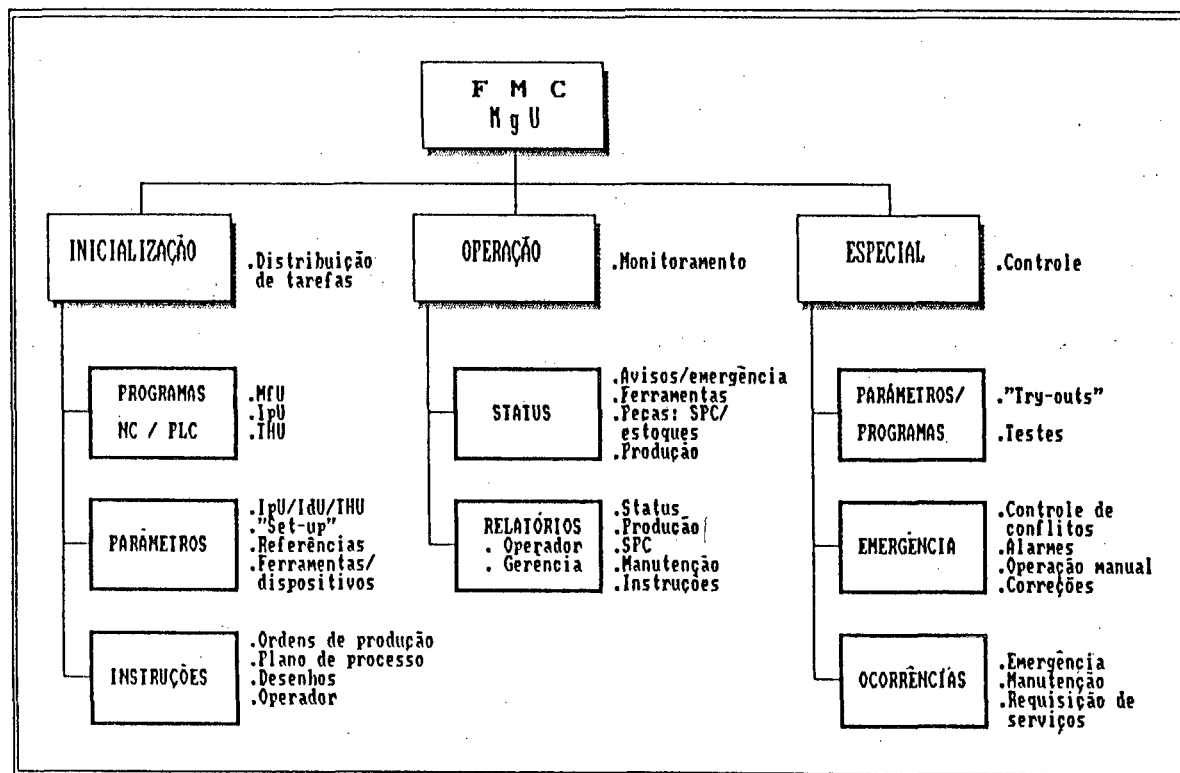


Figura 5.1- Distribuição temporal das funções de controle da FMC.

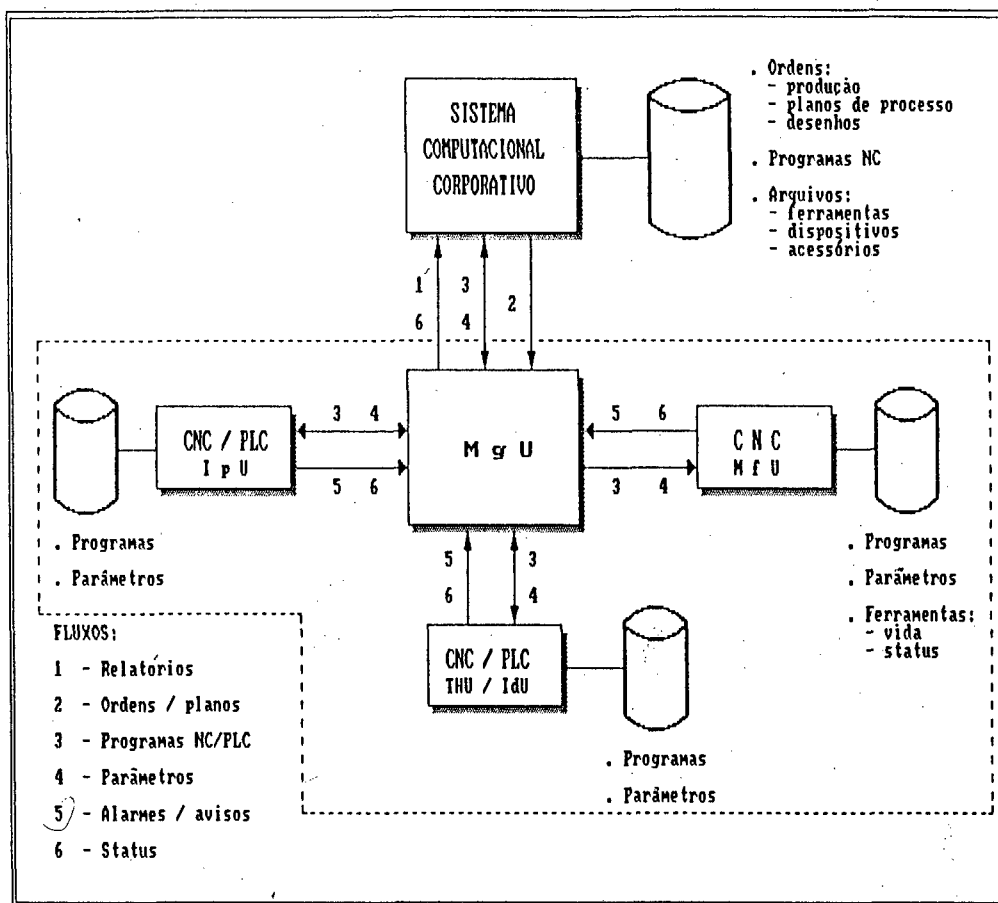


Figura 5.2- Distribuição organizacional das funções de controle de uma FMC

com frequência com as demais unidades da FMC e por serem estas em geral menos inteligentes (dentro de um modelo quase hierárquico, portanto). Exceções são as condições surgidas quando de mudanças de estado. É o caso, por exemplo, da necessidade de requisitar nova ferramenta para substituir a que chega ao limite da vida útil.

A fase de inicialização é a que demanda comunicação mais intensa, uma vez que diversas DB têm que ser acessadas para busca dos programas e parâmetros necessários.

A comunicação é mais crítica nas condições especiais de emergência, quando vários eventos simultâneos têm que ser disparados para garantia de integridade humana e/ou do sistema. A figura 5.2 ilustra um esquema básico da distribuição organizacional das

funções de controle no âmbito de uma FMC com potencial inteligente. O sistema computacional corporativo resume todas as funções extra-FMC que ocorrem na produção automatizada (fig. 1.4). Não é objetivo deste trabalho detalhar as estruturas das funções extra-FMC, apesar de que implicitamente já vem se delineando, desde o início, uma sugestão de modelo envolvendo estas funções.

A MgU da FMC é propositalmente colocada no centro da figura para melhor ilustrar o compartilhamento de responsabilidades. Observar que são representados os fluxos como se espera que ocorram com as tecnologias hoje disponíveis, e consideradas as suas limitações atuais. À medida que maior inteligência fique disponível nos controladores de unidades, maior delegação de responsabilidades passa a ocorrer. Por exemplo, quando a MfU passa a ter condições de identificar o lote de peças que chega (contar com IdU própria), a MgU se libera das funções de controlar status de produção da MfU, delegando a esta a responsabilidade pela requisição de parâmetros, programas e ferramentas faltantes. O mesmo ocorre com relação às Ipu's e as funções de SPC.

Esta consideração é importante se se considera a perspectiva de migração gradual para sistemas inteligentes. É importante também para que se lembre de garantir a portabilidade (de hardware e de software) dos sistemas [233, 234]. A visão de conjunto, a partir da aplicação, é fundamental para garantir a integração, pois dados não são integráveis a partir de "ilhas de automação" [224].

A figura 5.3 mostra três fases na produção de uma FMC inteligente, onde se ressalta o aspecto "encapsulamento" das atividades de cada FMC e em cada fase da produção, visando a portabilidade dos sistemas. A inclusão/exclusão de módulos ou de ações de controle são decisões de responsabilidade e efeito local. As alterações se refletem em simples atualizações de registros nas respectivas DB.

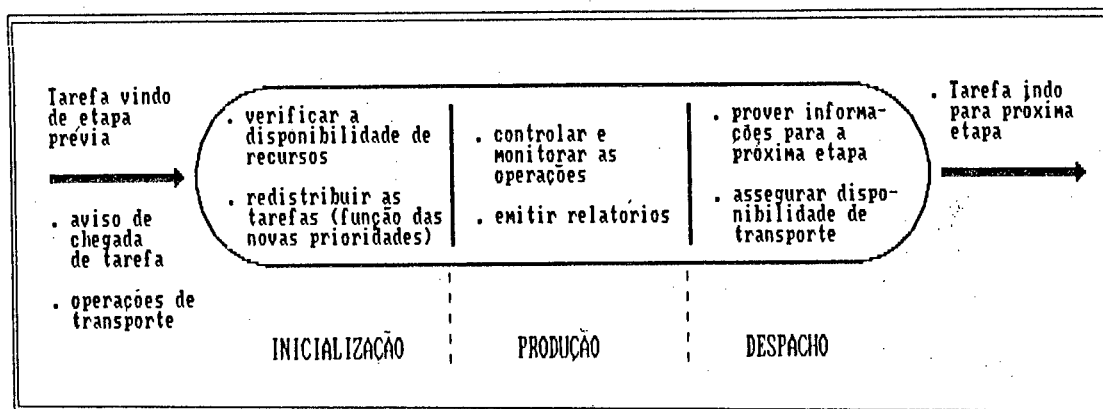


Figura 5.3- Distribuição das principais atividades de controle em uma FMC no disparo de uma tarefa [68].

5.1.2 Aspectos de Tempo Real

Os estudos de padrões de redes de comunicação - LAN's ("Local Area Networks") para ambiente de chão de fábrica estabelecem tempos de acesso entre as partes que comunicam da ordem de até 5 μ s, inferiores, inclusive, aos previstos para os processos contínuos [235, 236].

Esses estudos se baseiam na concepção hierárquica rígida de controle e partem do pressuposto que as reações do sistema têm que ser rápidas o suficiente para evitar "catástrofes" (resposta em tempo real). Para completar, eles prevêm ainda o uso das LAN's até para controle interno dos componentes das unidades (movimento dos braços de um robô, por exemplo), o que pode ser questionável. Em um controle centralizado, as MgU's têm ainda que procurar se antecipar aos efeitos multiplicadores das ocorrências em cascata, que fatalmente congestionariam as vias de comunicação.

Entretanto, em um sistema inteligente, como visto no capítulo 2, essas premissas tornam-se forçadas, na medida que as situações de crise são administradas localmente por cada unidade da FMC (mesmo

as unidades pouco inteligentes incorporam internamente seus sistemas de controle em malha fechada).

Os valores de resposta em tempo real têm que ser repensados nesse caso. Tempo real é, de fato, todo o tempo que o sistema pode dispor para responder a um dado estímulo, sem prejudicar o desempenho ou a segurança.

Como na FMC as ocorrências que envolvem tempos críticos restringem-se às de emergência e estas são encapsuladas em cada unidade, a necessidade de comunicação fica resumida à informação da mudança de estado da unidade e solicitação de providências. Portanto, sem crises.

No capítulo 6 serão detalhadas e quantificadas as necessidades de comunicação das FMC's.

5.1.3 O Conceito de Memória Compartilhada

O encapsulamento das informações em cada unidade inteligente prioriza os fluxos de dados ao invés dos de controle.

Exige-se, assim, uma forma para transferência e compartilhamento das informações que seja eficaz e transparente. Entende-se por transparência a independência em relação a localização física e lógica, sistemas operacionais, estruturas de bases de dados e meios de comunicação. Uma forma interessante e simples de operacionalizar este conceito é através do mecanismo de memória compartilhada, ilustrado na figura 5.4: cada unidade inteligente do FMS dispõe de áreas de memória (chamadas "caixa-postal"- CP) alocadas para acesso comum das demais unidades de um dado grupo (que pode extrapolar o âmbito intra-FMC). Aproveita-se aqui os conceitos publicados em [232, 237].

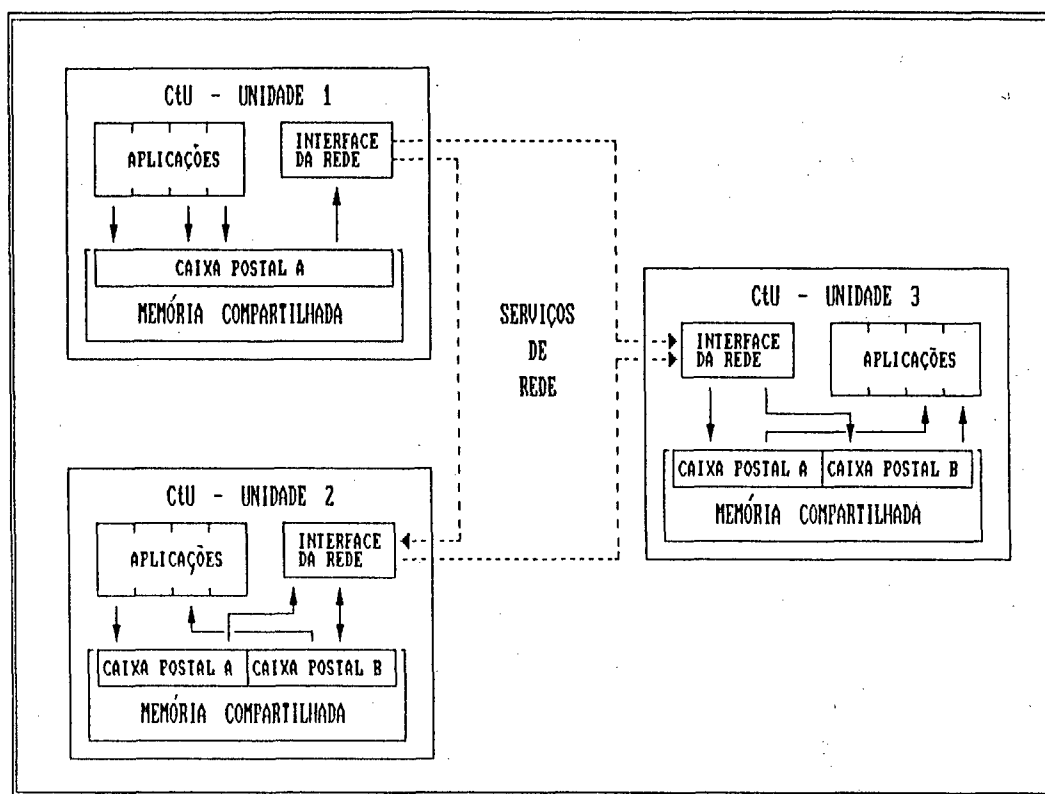


Figura 5.4- Conceito de memória compartilhada para intercâmbio de informações entre unidades .

O objetivo é permitir que todas as unidades possam comunicar-se através do endereçamento das mensagens para as caixas-postais de interesse, sem interromper as atividades do destinatário. Em momento oportuno, quando este estiver apto a tratar as informações recebidas (determinado pelas necessidades e possibilidades de cada controlador de unidade, de forma assíncrona), a mensagem é lida e providências (se houverem) tomadas.

As mensagens são transmitidas em um formato neutro padronizado e cada controlador as traduz à sua conveniência. A figura 5.5 mostra uma sugestão de estrutura de mensagem. Os campos de controle (bytes 1 a 6) são opcionais e dependerão da existência ou não de um gerenciador de caixas-postais, útil enquanto os controladores de unidades são menos inteligentes.

As principais vantagens advindas desse conceito são:

- permitir a comunicação entre sistemas heterogêneos;

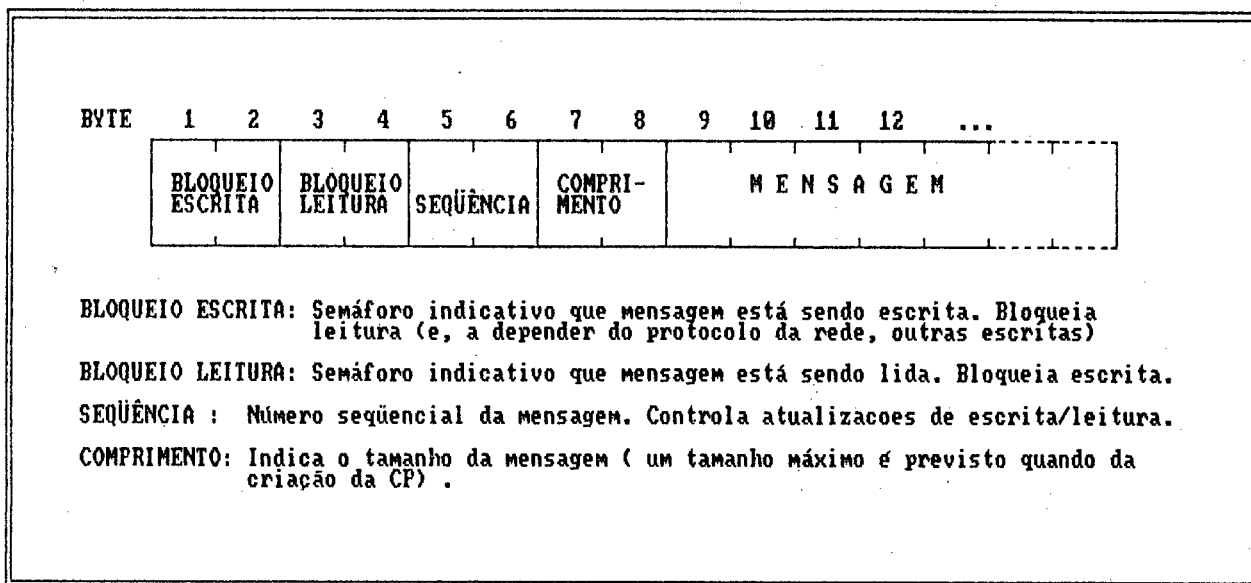


Figura 5.5- Estrutura das mensagens no sistema de Memória Compartilhada [237].

- favorecer a transparência e a independência dos dados;
- pequeno esforço adicional para a inclusão de novas unidades ou processos;
- permitir a ação coordenada entre diferentes processos, independente de localização física;
- simplificação dos mecanismos de comunicação;
- independência em relação às estruturas de LAN's e comunicação assíncrona entre processos.

Além disso, um aspecto merece ser destacado: no caso de FMC's que contem com unidades ainda não inteligentes ou com níveis variáveis de inteligência, a MgU pode representar logicamente o papel destas unidades, alocando provisoriamente CP's e emulando as funções de interface. A migração gradual é assegurada pela simples transferência física da CP (já que endereços lógicos e procedimentos não se alteram).

Alguns detalhes sobre a arquitetura, métodos de acesso e gerenciamento da memória compartilhada poderão ser vistos em [237].

Alguns protocolos de LAN's implementam algumas das características dos mecanismos de memória compartilhada como forma de assegurar a portabilidade das aplicações. Espera-se que, no futuro e uma vez estabilizados os processos de amadurecimento das tecnologias de integração e dos padrões de LAN's, possa se optar por utilizar apenas os recursos disponíveis nos protocolos das LAN's.

No capítulo 6 serão feitos alguns comentários sobre estes aspectos.

5.1.4 Gerenciamento da FMC

As diversas funções de gerenciamento e controle do processo são distribuídas de acordo com as características e modularidade da FMC. Podem ser, em FMC mais simples, todas concentradas na MgU. Ou podem ser distribuídas entre os controladores de unidades à medida que estes ganham inteligência para tanto. De qualquer modo, as funções básicas são sempre as mesmas e distribuídas em módulos, conforme sugerido na figura 5.6 [16, 31, 35, 41, 225, 230, 238, 239, 240, 241]. Cada módulo (e, eventualmente, submódulo) é endereçado por sua CP. Observe-se que é possível que módulos estejam fisicamente localizados e gerenciados fora da FMC (como provavelmente acontecerá com o módulo de gerência de recursos, que tende a ser alocado no FMS). Já o módulo de segurança, por exemplo, tenderá a ser residente em cada unidade da FMC, assumindo características próprias em cada um.

5.2 BASES DE DADOS- DB

Pode-se perceber, já desde capítulo 3, o papel central desempenhado pelo gerenciamento da informação em um FMS inteligente.

Os dados, e o seu compartilhamento, são a base das tomadas de decisão, o meio de integração das unidades, o modo de sincronização

M Ó D U L O		F U N Ç Õ E S
NOME	Nº	
. CONTROLE	1	<ul style="list-style-type: none"> . Status de cada unidade . intertravamentos para operação, emergência e "set-up" . sequenciamento e ressequenciamento . dados para o módulo 2 . disponibilidade de todos os recursos, em seus locais, para execução da próxima tarefa (p/módulo 3) (peças, ferramentas, insumos, programas) . ocorrências / avisos para operador . operação: - automática/manual/"set-up" <li style="padding-left: 20px;">- inicialização/parada
. GERENCIA DE PRODUÇÃO	2	<ul style="list-style-type: none"> . Relatórios: - produção (status, previsões) <li style="padding-left: 20px;">- SPC <li style="padding-left: 20px;">- manutenção preventiva <li style="padding-left: 20px;">- ocorrências/emergências <li style="padding-left: 20px;">- informações de arquivo . Avisos: previsões (novas programações, paradas, manutenção) <li style="padding-left: 20px;">dados de "trg-outs", testes . Interface com operador e sistema
. DISTRIBUIÇÃO DE DADOS (inicialização/fechamento)	3	<ul style="list-style-type: none"> . programas NC/PLC . parâmetros (ferramentas, peças, dispositivos) . planos de processo . ordens de produção . desenhos . organização/gerenciamento do acesso à BD . BNC ("up/down-load", intra/extra FMC)
. GERENCIA DE RECURSOS	4	<ul style="list-style-type: none"> . ferramentas: <ul style="list-style-type: none"> - vida residual, manutenção - quebra (alarme -> módulo 1) - disponibilidade, localização - status, "off-sets" . dispositivos, acessórios (garras, placas, etc.): <ul style="list-style-type: none"> - disponibilidade - status . Reportar aos módulos 1, 2 e 3
. PEÇA	5	<ul style="list-style-type: none"> . Status produção: - tempos <li style="padding-left: 20px;">- desempenho <li style="padding-left: 20px;">- ocorrências (p/módulo 2) . SPC: - dados de QC (p/módulo 2) <li style="padding-left: 20px;">- dados de processo:realimentação (p/módulo 1) <li style="padding-left: 20px;">- destinação das peças (p/módulo 6)
. MANIPULAÇÃO	6	<ul style="list-style-type: none"> . peças (ou peças + dispositivos): <ul style="list-style-type: none"> - entre unidades da FMC - entre FMC e sistema - identificação (p/módulo 1) . controle dos estoques intermediários: <ul style="list-style-type: none"> - entrada da FMC - entrada das unidades - saída da FMC (p/entrega ao sistema)
. SEGURANÇA	7	<ul style="list-style-type: none"> . contra falhas: <ul style="list-style-type: none"> - detecção de condição potencial de erro - preservação do sistema - decisão: abortar/continuar operação automática . seletividade de acesso a dados . recuperação do sistema em caso de falha <ul style="list-style-type: none"> - preservação da BD - retomada ao ponto anterior à falha . diagnóstico e testes . reportar ao módulo 1
. GERENCIA DE COMUNICAÇÃO	8	<ul style="list-style-type: none"> . Intra FMC . Extra FMC (com o sistema) (ver cap. 6)

Figura 5.6- Software: módulos para integração das funções de controle.

dos processos e o método de manutenção da consistência dos seus estados [221].

Os conceitos básicos de DB e a terminologia específica aqui adotados podem ser encontrados em [242, 243].

Quatro considerações são fundamentais no desenvolvimento de DB's para FMS inteligentes [221]:

- quantidade de informação: a necessidade de manipulação aumenta exponencialmente com os correspondentes aumentos de inteligência e de integração do sistema;
- quantidade de operações com dados: o número de acessos ao sistema de informação pelos módulos, o número de usuários e a complexidade das transações aumentam este item;
- tipo de informação: unidades inteligentes exigem representações de conhecimento complexas. O compartilhamento entre unidades não inteligentes e inteligentes deve ser possível;
- confiabilidade, disponibilidade e consistência: a integração aumenta a dependência entre as unidades do sistema. O ambiente de manufatura, por outro lado, é propenso a falhas frequentes. Requer-se, portanto, um sistema tolerante às falhas e com segurança dos dados.

5.2.1 DB para Manufatura: Características e Requisitos

A figura 5.7 ilustra as três representações básicas de estruturas de DB disponíveis comercialmente, cujos detalhes construtivos e características podem ser vistos em [233, 242]. As mais usuais nas DB comerciais ainda são as hierárquicas e em rede. A hierárquica, aliás, pode ser considerada um caso particular de estrutura em rede. Ambas impõem um conhecimento prévio das relações entre os arquivos de dados e são inflexíveis. Possuem a vantagem do rápido acesso e simplicidade das estruturas para consulta. A estrutura

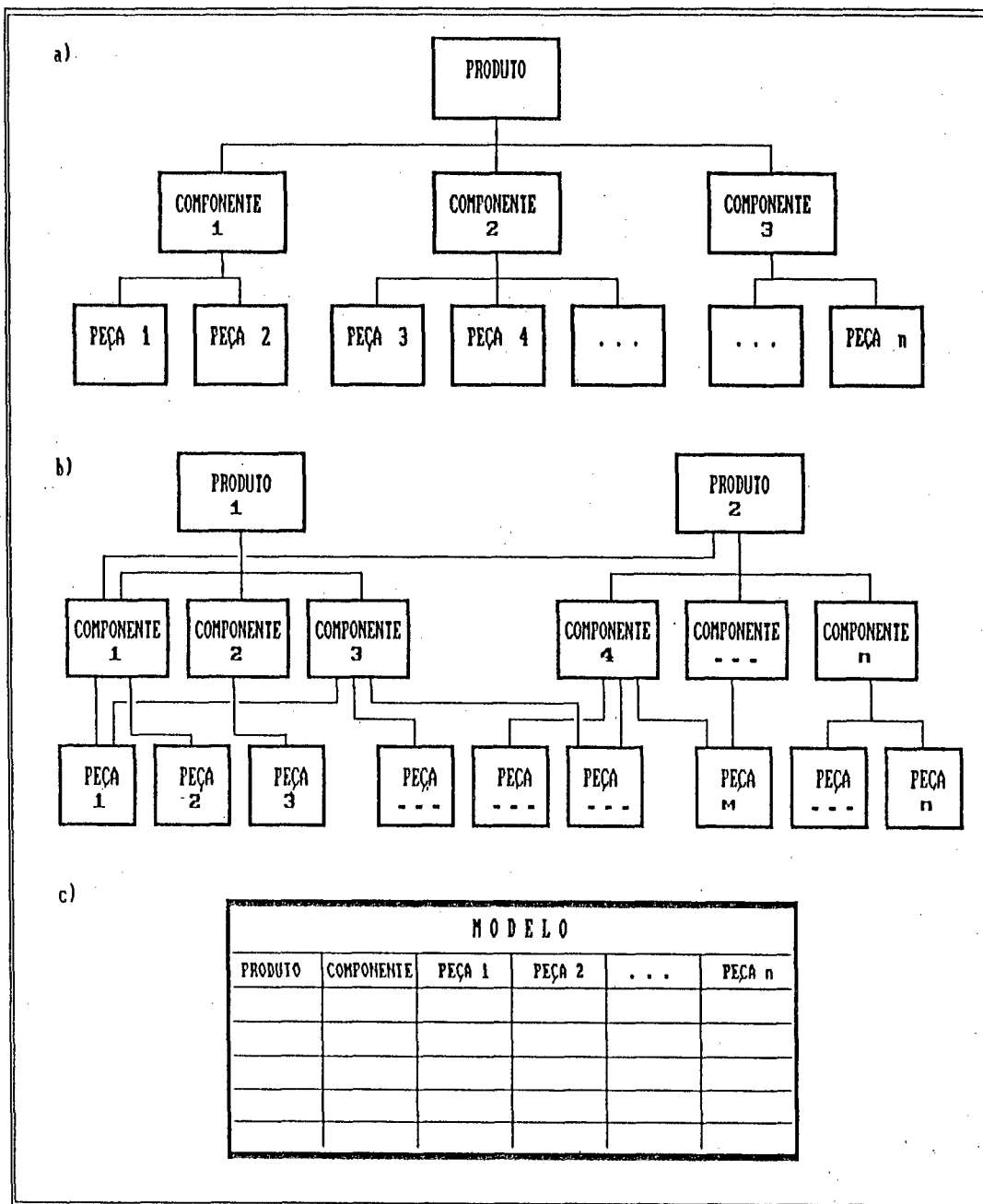


Figura 5.7- Três modelos básicos de arquitetura de Base de Dados: a) hierárquico, b) rede, c) relacional [244].

relacional (figura 5.7c) organiza os dados sob a forma de tabelas. As tuplas (linhas) são associados os campos (colunas) que delimitam a abrangência das informações de cada arquivo. O acesso é bastante flexível e os arquivos expansíveis pela simples inclusão de novas linhas e colunas. Nenhum conhecimento prévio da estrutura de arquivos é necessária. A grande restrição fica por conta do esforço computacional exigido em cada consulta. Só o recente advento de

computadores mais baratos com alta capacidade de processamento tornou acessível essa tecnologia.

Todos os autores concordam que as DB relacionais são as mais indicadas para o ambiente de engenharia e, em particular, de manufatura [73, 233, 234, 244, 245, 246]. De ora em diante, este texto entenderá DB como DB relacional.

O ambiente de fabricação coloca algumas necessidades^f que não são encontráveis nas DB comercialmente disponíveis [113, 247]:

- representar a estrutura do objeto: composição, decomposição, visão da hierarquia de composição (de certa forma contraditória com o modelo relacional);
- representar relacionamentos diversos entre objetos com estruturas complexas (hierárquicas, matriciais, listas);
- manipular representações prioritariamente dinâmicas, envolvendo constantes consultas ("queries") e atualizações. As consultas são em geral complexas e envolvem análise dos dados;
- gerenciar os arquivos, que são muitos e de muitos tipos variados;
- capacidade de manipular campos de tamanho longo e representações gráficas;
- suportar simultaneamente transações curtas, com acesso concorrente (execução) e transações longas em ambiente cooperativo (planejamento);
- suportar sistemas de representação do conhecimento, a exemplo dos sistemas especialistas, que são os que melhor se adequam ao ambiente de manufatura inteligente [73, 74, 221].

5.2.2 Características Estruturais das DB para FMS

As principais características estruturais a considerar são [199, 244, 247, 248]:

- estrutura distribuída: a bem da modularidade, segurança e eficiência e em função da natureza heterogênea das diversas unidades. Uma comparação entre arquiteturas centralizada e distribuída pode ser vista em [113, 221];
- transparência: o usuário deve se preocupar apenas com o que quer recuperar e não com aspectos relativos a como e onde recuperar;
- estrutura evolutiva: capacidade de implementação gradual, expansível em tamanho e distribuição com independência em relação às plataformas de hardware;
- suporte para diferentes visões: garantir, sem desnecessária redundância, visões distintas dos objetos de acordo com as necessidades de cada usuário. O uso da GT como ferramenta para esse fim é ressaltado em [88];
- mecanismos para controle de versões: exigido pela característica evolutiva do sistema, a fim de assegurar a recuperação da história do objeto ao longo de toda a sua vida (a exemplo de peças, produtos e processos). As versões devem poder ser validadas por estabelecimento de configurações (restrições às versões);
- orientação a objetos: um "objeto" é formado pela organização de diferentes coleções de dados associados a regras que governam suas relações, de modo a assegurar significados às informações. Os objetos são manipulados como uma entidade. Fornecem habilidade à DB para arquivar, manipular e consultar versões e visões diferentes de forma transparente.

5.2.3 Características Organizacionais

Dois aspectos precisam ser ressaltados:

- Interface homogênea;
- Segurança dos arquivos.

O primeiro leva em consideração que quem opera os sistemas e, em última instância, acessa as DB, são técnicos qualificados para as exigências dos processos (já bastante variadas) e não das estruturas de DB. Eles necessitam de interfaces "amigáveis" que auxiliem no cumprimento das tarefas. A consequente transparência das aplicações deve ser conseguida em um ambiente heterogêneo e distribuído, sob a responsabilidade do sistema de gerenciamento da base de dados - DBMS "(Data Base Management System)".

O DBMS deve atender a todos os requisitos e características já expostos e ainda contar com as seguintes facilidades [249]:

- manipulação e recuperação de dados: prover linguagens de manipulação de dados - DML ("Data Manipulation Language") para o usuário final e para o administrador de dados;
- manutenção dos dados: engloba as facilidades para administração dos dados, harmonização dos formatos de estruturas heterogêneas e reestruturação ou definição dos arquivos. Envolve as ferramentas de software colocadas à disposição do administrador de dados para otimização dos diversos módulos do sistema. O administrador de dados extrapola as funções de administrador de DB e segue os conceitos expostos em [88];
- diretório de dados, ou dicionário de dados: provê, através de uma linguagem própria, a DDL ("Data Dictionary Language"), os recursos necessários à transparência e independência física e lógica dos dados das DB distribuídas. Deve garantir um desempenho similar aos sistemas centralizados e fornecer as ferramentas necessárias à manutenção dos arquivos;
- compatibilidade e flexibilidade: significa manter bom desempenho em ambiente heterogêneo e com alto volume de transações, compartilhando recursos com sistemas e plataformas de origens diferentes. Deve ainda suportar os softwares aplicativos que fazem uso das DB.

Interessa, em particular, a interface com o usuário final em suas aplicações rotineiras. O modelo relacional oferece uma linguagem, SQL ("Structured Query Language") que supre as necessidades das DDL e DML de forma simples e objetiva. Ao usuário final interessará apenas alguns recursos da DDL (orientados para a criação, expansão ou modificação de alguns campos ou arquivos). O maior interesse é na DML: esta se baseia em operações fundamentais de mapeamento, representadas sintaticamente como blocos "SELECIONE-DE-ONDE" dentro de uma lógica booleana.

A SQL nada mais é do que uma sublinguagem construída como uma capa ("shell") sobre as linguagens de programação procedurais conhecidas. Sua principal característica (e vantagem) é o uso de poucos comandos em linguagem conversacional para atender a todas as necessidades de manipulação da DB e, importante, atendendo aos requisitos até aqui enumerados para um DBMS. Esta linguagem foi padronizada em 1986 pela ANSI, tornando-se recentemente também um padrão ISO (IS-9075). Maiores detalhes sobre suas características e fundamentação teórica poderão ser encontrados em [242].

A SQL foi projetada como um modelo genérico. A versão padronizada sofre algumas limitações para o uso em ambiente de manufatura (algumas versões disponíveis no mercado já superam em parte as limitações da norma). Essas limitações são discutidas em detalhes em [250, 251, 252]. Merecem destaque, porque deverão ser contornadas em uma implementação para FMS, as seguintes:

- a portabilidade é limitada, por estar embutida em uma linguagem hospedeira;
- é difícil manipular um registro por vez;
- não facilita a construção dinâmica de declarações de dados, dificultando as operações em tempo real;
- só aceita dados dos tipos numéricos e "strings" de comprimento fixo;
- não define os valores assumidos em condição de erro;

- não explicita a forma de representação física dos dados, nem os protocolos de comunicação e de restrição de acesso.

O próprio criador do modelo relacional comenta ainda uma limitação herdada pela SQL do conceito que gerou o modelo [252]: a de não aceitar lógica tripla (do tipo "verdadeiro, falso, talvez"). A lógica tripla seria uma ferramenta valiosa no tratamento de situações propensas a inconsistências (campos perdidos ou interrompidos, por exemplo) ou ao conflito (em situações como vida das ferramentas vencendo quando da execução de um próximo lote). Ela simplificaria em muitos passos o tratamento de situações complexas ou impertinentes pela lógica dupla (previsões para exceções, por exemplo).

O segundo aspecto das características organizacionais, a segurança dos dados, reflete dois enfoques distintos:

- integridade dos dados;
- seletividade de acesso.

A seletividade de acesso é facilmente solucionada pela distribuição de senhas que desbloqueiam partes pré-estabelecidas dos arquivos para leitura ou para leitura/escrita. O modelo relacional se presta bem a esta abordagem. É preciso cuidado apenas com os conflitos possíveis gerados por acessos automáticos a dados bloqueados.

Já a garantia de integridade dos dados é um problema mais sério em um ambiente de manufatura. Aqui também dois grandes problemas têm que ser tratados pelo DBMS:

- a garantia de consistência da DB em um ambiente com alto volume de transações concorrentes;
- a recuperação de estado consistente após falha geral do sistema.

A figura 5.8 apresenta em fluxograma básico de procedimento para consecução de uma transação que leva em consideração os aspectos de

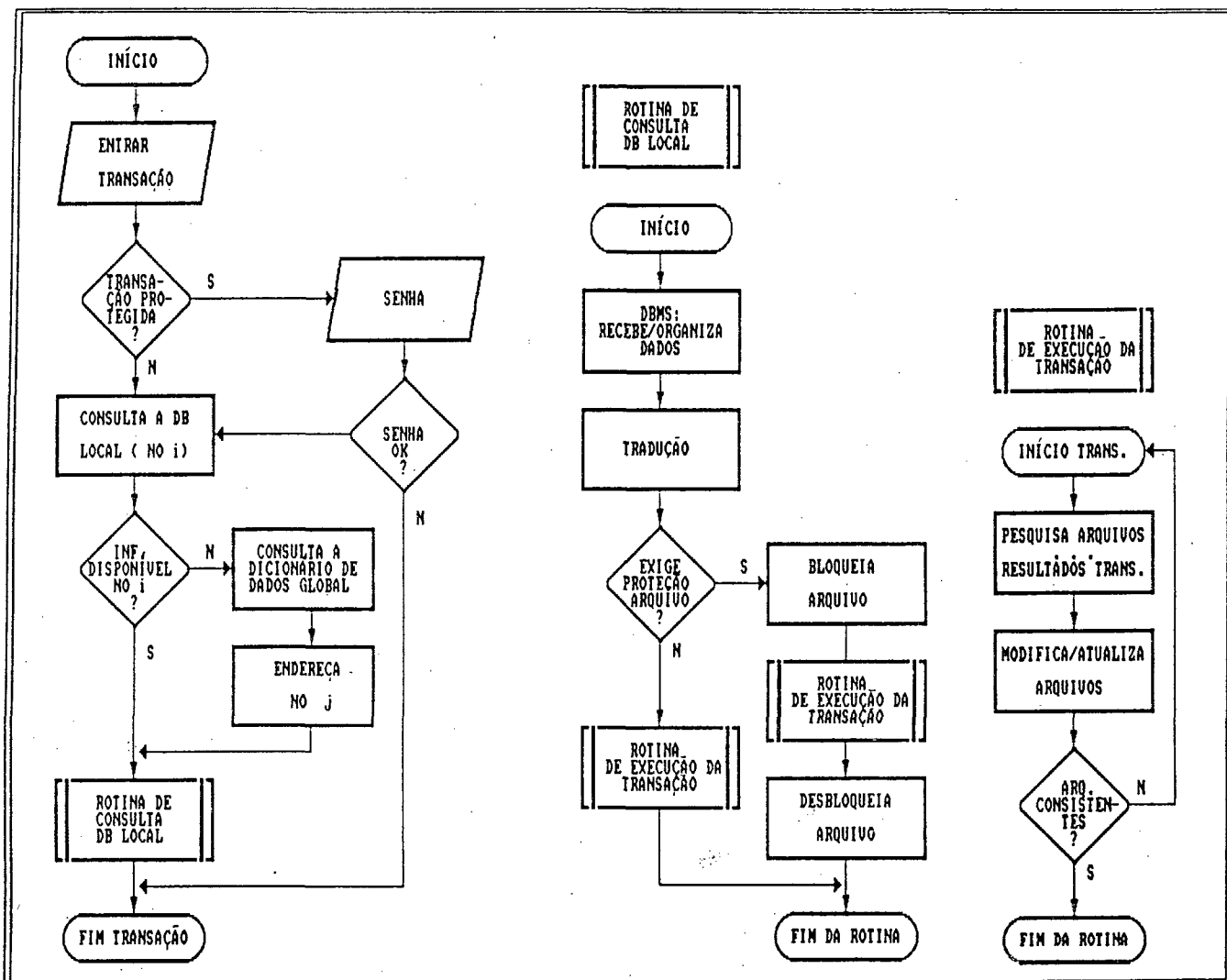


Figura 5.8- Fluxograma básico do mecanismo de consulta às Bases de Dados distribuidas .

ambiente distribuído, com proteção de acesso e bloqueio de transações como mecanismo de garantia de integridade dos dados durante uma transação. É típico dos casos de transações curtas e freqüentes (fase de execução) onde é mais seguro e plausível o bloqueio dos arquivos manipulados durante a transação. Observe-se que as transações curtas simplificam os mecanismos de controle de concorrência [243].

Para o caso de transações longas, típico das fases de planejamento e projeto, é mais adequado o manuseio de sessões. É o caso, por exemplo, das revisões ou edições de programas NC, arquivos de ferramentas, planos de processo, CAD e assim por diante.

O procedimento sugerido segue os seguintes passos após o acesso aos arquivos públicos a serem manipulados:

- 1º - copiar os arquivos para uma DB individual de trabalho (arquivo particular) com respectivo controle de versão;
- 2º - atualizar os arquivos à conveniência de usuário;
- 3º - checar a consistência dos dados atualizados;
- 4º - obter aprovação para atualizar o arquivo público, se necessário;
- 5º - atualizar o arquivo e sua versão (a versão anterior pode ser mantida caso interesse ao sistema).

O segundo problema, recuperação de estado em caso de falha, é mais difícil de ser tratado em função da complexidade das interações, do caráter dinâmico do sistema e das limitações dos controladores de unidades. Um robô, por exemplo, dificilmente incorpora mecanismos que permitam retomar as ações a partir do ponto em que as deixou no caso de queda de energia.

A figura 5.9 apresenta uma taxonomia das principais falhas que repercutem nas DB e os mecanismos de recuperação possíveis de se adotar [243].

F A L H A S	
1. PRIMÁRIAS (na memória volátil)	. Programas Restauradores . Atas . Arquivos Diferenciais
2. SECUNDÁRIAS (na memória de massa ativa)	. Duplicação de Atas . Descargas (em memória de massa passiva) . Arquivos Diferenciais . Imagens Transientes
3. TERCIÁRIAS (na memória de massa passiva)	. Duplicação de memória de massa passiva
4. PSEUDO-FALHAS (controle de integridade acionado devido a interferência do usuário)	. Vide falhas primárias e secundárias
5. FALHAS DE COMUNICAÇÃO (Rede ou protocolo)	. A cargo dos mecanismos de garantia de integridade da Rede de Comunicação

Figura 5.9- Estrutura dos mecanismos de garantia de integridade de bases de dados .

Os problemas mais sérios ocorrem quando as falhas acontecem durante uma transação: há o risco de se levar a DB a uma situação inconsistente, com as conseqüentes repercussões. A única forma da DBMS se proteger contra essas falhas é manter alguma forma de redundância no sistema. Nessa premissa se baseiam os mecanismos de recuperação enumerados na figura 5.9, que são convenientemente explicados e fundamentados em [243, 253]. É sempre aconselhável uma duplicidade de mecanismos de recuperação uma vez que cada um previne apenas determinados tipos de ocorrência.

Considerando a hostilidade do meio onde funcionarão as DB do FMS, os mecanismos baseados em arquivos diferenciais associados aos de imagem transientes formam um conjunto eficaz de proteção na maioria dos casos onde é possível implementá-lo. A associação desses dois mecanismos assegura não só uma rápida recuperação da DB no caso de falhas primárias e secundárias, como também mantém o necessário

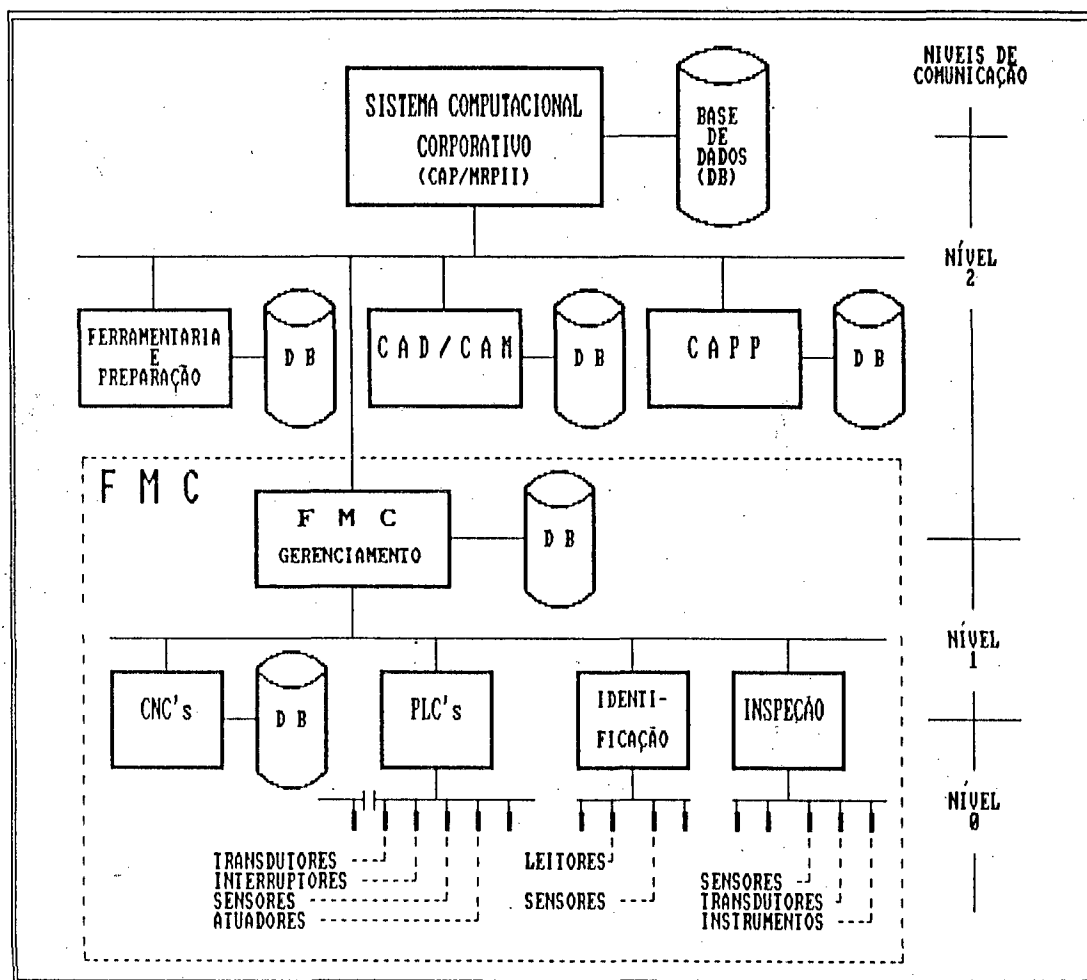


Figura 5.10- Estrutura distribuída da base de dados associada à FMC e sua rede de comunicação.

"back-up" em memória de massa das partes dos arquivos que estão sendo transacionadas.

5.2.4 Estrutura da Distribuição dos Arquivos

Apesar das características específicas de cada FMS, um modelo básico de FMC pode ser configurado quanto à arquitetura distribuída, localizando fisicamente as DB. A figura 5.10 ilustra uma representação dessa estrutura, onde se pode ver os níveis de comunicação que, no caso, estão associados ao tipo de transação normalmente verificado (mais longos e inteligentes à medida que ocorrem nos níveis superiores).

1. SIST. CORPORATIVO (MRPII, DIVERSOS)	2. FERRAMENTARIA/ PREPARAÇÃO	3. CAD / CAM (CAE)
<ul style="list-style-type: none"> . Vendas . Pedidos <ul style="list-style-type: none"> - Clientes - Fornecedores . Faturamento . Planejamento Produção/Capacidade <ul style="list-style-type: none"> - Ordens de Produção/Noteamentos . Listas de Materiais/Componentes . Disponibilidade/Estoques (1) <ul style="list-style-type: none"> - Matéria-prima e componentes - Produtos - Insumos, Recursos, Energia - Mão-de-Obra . Compras . Contabilidade (Custos de produção) <ul style="list-style-type: none"> - Produção/Produtividade - Manutenção - Estoques - Tempos-padrão - Mão de obra . Programas <ul style="list-style-type: none"> - Dicionários, administração - "Back-up's" . Manutenção e "set-up" <ul style="list-style-type: none"> - Escalas e previsões 	<ul style="list-style-type: none"> . Disponibilidades/Estoques (1) <ul style="list-style-type: none"> - Ferramentas - Dispositivos - Acessórios, insertos . Ferramentas <ul style="list-style-type: none"> - "Off-sets" - Montagem - Vida : residual previsões - aplicações . Dispositivos <ul style="list-style-type: none"> - aplicação - Montagem (dados de, componentes instruções) . Acessórios (paletes, garras, placas, etc) <ul style="list-style-type: none"> - aplicação - Montagem (instruções) 	<ul style="list-style-type: none"> . Projetos <ul style="list-style-type: none"> - Parâmetros - Macros . Peças: Características <ul style="list-style-type: none"> - Geométricas (desenhos) - Tecnológicas: <ul style="list-style-type: none"> . Acabamento Superficial . Tolerâncias . Dimensões (cotas) <ul style="list-style-type: none"> - Peça a Processar - Peça Processada . Observações/ Comentários . Materiais <ul style="list-style-type: none"> - Relações - Propriedades - Dados de Usinabilidade . Programas <ul style="list-style-type: none"> - MC - Aplicativos de projetos de análise (CAE)
4. CAPP	5. CONTROLE NA FMC M g U	6. CNC's
<ul style="list-style-type: none"> . Processo <ul style="list-style-type: none"> - Planos - Sequenciamentos - Capacidades . Tecnologia de Grupo <ul style="list-style-type: none"> - Codificação e classificação - Famílias . Disponibilidades (1) <ul style="list-style-type: none"> - Maquinas-ferramenta - Equipamentos <ul style="list-style-type: none"> - Movimentação - Manipulação - Sistemas <ul style="list-style-type: none"> - Inspeção/Medicação - Identificação . Matrizes de referência <ul style="list-style-type: none"> - Famílias x Dispositivos - Famílias x Ferramentas - Dispositivos x MfU's <p style="text-align: right; margin-right: 20px;"><i>módulo de fabricação</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> . Status (2) <ul style="list-style-type: none"> - Peças Produzidas - Peças em Produção - Equipamentos - Ferramentas - Operação/Manutenção . Tempos <ul style="list-style-type: none"> - Usinagem - "Set-up" - Secundários - Espera - Manutenção - Paradas pelo Operador . Parâmetros / Programas <ul style="list-style-type: none"> - Referências - Correções/Ajustes - "Off-sets" - Gerenciamento da FMC . SPC (3) CEP <ul style="list-style-type: none"> - QC peças - Classificação das peças - Rejeitos/Retrabalhos 	<ul style="list-style-type: none"> . Programas <ul style="list-style-type: none"> - MC - Gerenciamento de ferramentas - Subrotinas - PLC . Parâmetros <ul style="list-style-type: none"> - Mf's <i>requerem parâmetros</i> - ferramentas - Dispositivos - Peças - PLC's <i>controlador lógico</i> . (SPC) (3) CEP
<p>(1) - Cadastro : tipo (produto acabado, em processo etc), classificação, localização, quantidade (2) - Situação corrente, manutenção/anormalidades, % utilização, % vida, localização etc... (3) - Caso a ImU conte com CtlU própria (as CMU, p.ex.), esta pode assumir as funções de SPC.</p>		

Figura 5.11- Sugestão de estrutura básica, com distribuição dos arquivos, das bases de dados associadas à FMC

A figura 5.11 associa a cada DB os respectivos arquivos, visando a otimização dos fluxos de dados e atomização das transações. é possível ainda uma subdivisão física dessas DB, principalmente nos níveis superiores (o SPC possuir gerenciamento próprio na FMC, por exemplo) ou, nos níveis inferiores, à medida que se tornem mais inteligentes.

Outros arquivos poderão ainda ser adicionados para atender a aplicações específicas. De qualquer modo, o esquema apresentado serve como sugestão de um referencial básico para implantação de uma estrutura distribuída de DB.

5.3 O AMBIENTE DE SOFTWARE

As estruturas de controle e de DB estão vinculadas por um contexto que as envolve, que vai desde os sistemas operacionais às ferramentas de apoio necessárias para harmonização das diversas interfaces, passando pelas linguagens de programação de alto nível e de NC.

Este tópico busca sugerir algumas linhas-mestras a seguir que facilitem o desenvolvimento de um ambiente favorável à integração dos diversos recursos de hardware e de software que serão utilizados no FMS.

5.3.1 Serviços de Informação

Serão destacadas a seguir duas importantes ferramentas complementares para estruturação da logística da informação:

- IRDS- "Information Resource Dictionary System Specification" (ANSI BSR X3.138);
- ASN1 - "basic encoding rules for Abstract Syntax Notation 1" (ISO 8824-8825).

O IRDS é um útil complemento ao SQL. Enquanto o SQL se preocupa com as linguagens que facilitem a definição e manipulação dos dados na DB (DDL e DML), o IRDS provê uma interface baseada em menus e linguagens de comando para definir e localizar dados e para determinar o impacto de mudanças em dados, programas ou sistemas rastreados pelo seu dicionário [111]. É usado para documentar,

controlar, proteger e facilitar o uso dos recursos de informação disponíveis no sistema. É compatível com o SQL e também pode ser implementado em ambiente de micro-computadores. Como o SQL, é construído como uma sublinguagem a partir de linguagens procedurais de alto nível.

O IRDS especifica um núcleo básico, acrescido de uma coleção de módulos opcionais que visam melhorar o desempenho dos sistemas de segurança, fornecer interfaces com os programas aplicativos e agilizar o suporte de documentação para o DBMS.

O IRDS se concentra na definição e descrição dos dados, tipos de registros, arquivos, programas, módulos e documentos associados para grandes aplicações integradas de software. Pode ser considerado complementar e opcional ao SQL. A grande vantagem do seu uso integrado com o SQL é que, além da complementação oferecida e dos recursos adicionais colocados à disposição do administrador de dados, o IRDS supre algumas das deficiências citadas do SQL, como o acesso direto a um registro específico e explicitação da forma de representação física dos dados e de restrição de acesso, importantes no ambiente de FMS [111].

A ASN1 é um padrão projetado pela ISO para transferência da sintaxe e codificação dos dados em um ambiente OSI ("Open Systems Interconnection") de comunicação, fornecendo recursos para a camada de aplicação.

O ASN1 objetiva disciplinar, através de um conjunto de regras, a transferência de dados na rede de comunicação. É uma forma estruturada de notação com sintaxe que parte da seqüência de caracteres ASCII (ISO 646) e inclui conjuntos complementares como os caracteres gráficos (ISO 2375 e 6429). Esses caracteres são reunidos em tipos de dados que, por sua vez, podem pertencer a duas categorias básicas (que são acompanhadas dos principais exemplos) [111, 254]:

- simples: BOOLEAN, INTEGER, BITSTRING, OCTETSTRING, NULL, ANY, EXTERNAL;
- estruturadas: SEQUENCE, SEQUENCE OF, SET, SETOF, CHOICE, SELECTION.

Esses tipos são ainda agrupados em classes, de acordo com o contexto da aplicação. Associada à notação, existe uma série de regras de codificação que permite transformar as seqüências de campos especificadas na sintaxe abstrata em seqüências de octetos (sintaxe de transferência).

Como se pode notar, trata-se de uma ferramenta importante na transferência e no suporte às transações em DB.

5.3.2 Sistema Operacional (OS)

O OS ("Operating System") é a parte certamente mais vital em qualquer ambiente de software, principalmente quando se trata de aplicações industriais e de controle de processos (entendidos aqui como sendo tanto contínuos como discretos). Estas aplicações se destacam pelas características de processamento distribuído em tempo real, crescimento modular, flexibilidade e tolerância a falhas. É o OS que determina, em última instância, quão rápido um computador pode responder a eventos ocorrendo em tempo real [255, 256].

As aplicações de controle de processos eram cativas, até recentemente, dos computadores de médio e grande portes. Nesse ambiente passou gradualmente a dominar o OS UNIX, em suas diversas versões.

O advento dos PC's (de "Personal Computers", padrão aberto de micro-computadores criado pela IBM), tendo o DOS como OS, colocou em evidência as vantagens das arquiteturas abertas, levando à

CARACTERÍSTICA	SISTEMA OPERACIONAL		
	UNIX (OSF)	OS/2	DOS
MULTITAREFA E TEMPO REAL	<i>SIM, É APERFEI- ÇOADO</i>	LIMITE EM 30 Hz	APLICAÇÃO PODE EXECUTÁ-LOS ("FOREGROUND/BACKGROUND")
MULTIUSUÁRIO	<i>SIM</i>	NÃO	NÃO
MULTIPROGRAMAÇÃO	<i>SIM</i>	SIM	NÃO
MULTIPROCESSAMENTO	<i>SIM</i>	EM ESTUDO	
ACESSO À MEMÓRIA	<i>MELHOR: 32 Mbyte PAGINADAS</i>	16 Mbyte, SEG- MENTADO	PIOR: LIMITE DE 640 Kbyte
OPERAÇÃO EM REDE	<i>MELHOR</i>	BOA	PROBLEMAS COM MEMÓRIA
PADRÃO DE INTERFACE COM USUÁRIO	GRÁFICO, EM 1989	<i>GRÁFICO, EM 1988</i>	NÃO
VELOCIDADES DE CPU	<i>15-30 MIPS</i>	0,5 - 4 MIPS	0,5 - 4 MIPS
TELAS GRÁFICAS CO- LORIDAS	<i>1280 x 1024, RÁPIDO</i>	1024 x 768	640 x 480
MATURIDADE	<i>BOA</i>	POBRE	<i>BOA</i>
SEGURANÇA	<i>MUITA</i>	ALGUMA	NENHUMA
PREÇO	<i>MAIOR</i>	MÉDIO	<i>MENOR</i>

Figura 5.12- Comparação entre os sistemas operacionais adotados em manufatura [259]

disseminação dos PC's mesmo no ambiente industrial, apesar das restrições que sofre [257, 258]. À medida que os PC's foram se tornando mais baratos e poderosos, começaram a ocorrer duas tendências:

- desenvolver OS para micro-computadores com características de desempenho aceitáveis para estas aplicações;
- tentar otimizar os recursos disponíveis no DOS para atender, a custos baixos, pelo menos parte das necessidades das aplicações.

A figura 5.12 sintetiza os principais aspectos a considerar na comparação entre os três OS mais utilizados nas aplicações de controle de processo. Em *itálico* são destacados os de melhor desempenho em cada característica analisada [259].

Os principais aspectos a comentar são:

- o UNIX original não é indicado para aplicações em tempo real e sua capacidade de interação com DB e redes de comunicação é

- limitada. A versão considerada para análise é a da OSF ("Open Software Foundation"), que tem melhor o desempenho nesses aspectos (ver também, a propósito, [1, 255, 261]). Para exemplos de UNIX com as habilidades citadas, ver [195, 260];
- o DOS não suporta um ambiente multitarefa. O OS/2 suporta mas, como não aceita interrupções externas, fica limitado à capacidade de seu relógio interno;
 - tanto o DOS como o OS/2 são monousuários;
 - a multiprogramação no DOS só é possível à custa de artifícios e com poucas interrupções. Só o UNIX garante realmente o multiprocessamento de forma totalmente automática e transparente ao usuário;
 - o UNIX é o que oferece os melhores recursos de acesso e compartilhamento da memória, através de mecanismos de páginas virtuais e bloqueios seletivos de processos (visando estabelecimento de prioridades). O OS/2 só consegue desabilitar toda a memória virtual e esta é segmentada em endereços de 64 kbyte de memória (limitação do processador 80286). O DOS, por sua vez, só dispõe de 640 kbyte de memória endereçável e segmentável e não suporta proteção de memória;
 - interoperabilidade: os PC's estão viabilizando a formação de redes de comunicação baratas. A grande limitação continua sendo a quantidade de memória endereçável, ainda mais sacrificada pelo acréscimo dos gerenciadores de rede. O UNIX analisado, além de bem capacitado para operação com redes, conta com o sistema X-Window no padrão UNIX. Este funciona em ambiente heterogêneo de rede, permitindo "rodar softwares" de diferentes origens, independente das plataformas de hardware acessadas que podem ser, inclusive, PC's.

O UNIX tem se colocado no centro de uma polêmica no que se refere à sua padronização como sistema aberto e o conflito de interesses

entre as partes envolvidas tem atrasado a obtenção de consenso. Permanecem, assim, proliferando os "clones" UNIX incompatíveis entre si. Para detalhes, ver [1, 261, 262].

Já existem versões do UNIX para ambiente PC (80386), que incorporam todas as facilidades da versão 3.1 da AT&T [176, 263, 264]. Esta opção é interessante na medida que permite trazer para o ambiente de PC's recursos até então só disponíveis em equipamentos mais poderosos.

Em relação à possibilidade de se otimizar os recursos disponíveis no DOS se conta hoje com diversas alternativas que vão desde os sistemas operacionais reprojctados e de alguma forma compatíveis que aproveitam os aplicativos disponíveis no DOS [69, 256, 263], até a incorporação de "shells" no DOS para habilitá-lo a simular, de alguma forma, características de tempo real, pela execução simultânea de programas em "background" [255, 258]. Restam ainda os OS não compatíveis nem com o DOS nem com o UNIX que se propõem a ser multitarefa em tempo real [255, 263].

O ideal mesmo, como se pode perceber, seria se contar com uma versão padronizada do UNIX já incorporando as características citadas e aproveitando as suas qualidades de modularidade e portabilidade para tê-lo à disposição nas diversas plataformas de hardware encontráveis no FMS.

5.4 PROGRAMAS NC

Curioso é notar que as máquinas-ferramenta com CNC foram a base sobre a qual se montou o conceito atual de FMS/FMC e são os próprios CNC's, hoje, um dos maiores entraves à integração e automatização nos sistemas dos quais participa. Apesar de ser uma tecnologia antiga, o CNC não acompanhou a evolução e as necessidades das tecnologias às quais deveria se integrar [265].

A abordagem do problema de integração dos CNC's no FMS/FMC será dividida em duas partes, mais especificamente quanto às fases de planejamento e execução.

5.4.1 Fase de Planejamento

Os métodos de geração dos programas NC a partir das informações obtidas do CAD, CAPP e nas DB's está além dos objetivos deste trabalho e já foram, no que aqui interessa, comentados no capítulo 3. Entretanto, os seus reflexos são importantes e tem que ser considerados [265, 266]:

- os programas devem estar disponíveis nas DB's em uma forma manipulável e parametrizável para fins de manutenção, atualização e utilização como base de programas para novas peças da mesma família. Isso significa dispor dos programas em linguagem de alto nível;
- pelas mesmas razões, a estruturação dos programas deve privilegiar, na medida do possível, a modularidade e o uso de subrotinas;
- o armazenamento de programas e subrotinas não deve ser nos CNC's, para evitar redundâncias e inconsistências.

Independente da forma de geração, os programas NC têm que ser convertidos para uma linguagem entendível pelo CNC, hoje difundida no chamado "código G", disponível nos padrões EIA RS-274 e ISO 6983-88 (que, apesar de similares, são implementações distintas).

O "código G" pretendia ser um padrão flexível. De tão flexível, acabou levando a uma grande diversidade de implementações incompatíveis entre si. É também incompleto, o que leva os fabricantes a complementar o código de acordo com suas necessidades, através das chamadas funções miscelânea e de pós-processador, específicos para cada conjunto CNC + MT. Essas características, associadas às especificidades do projeto de cada

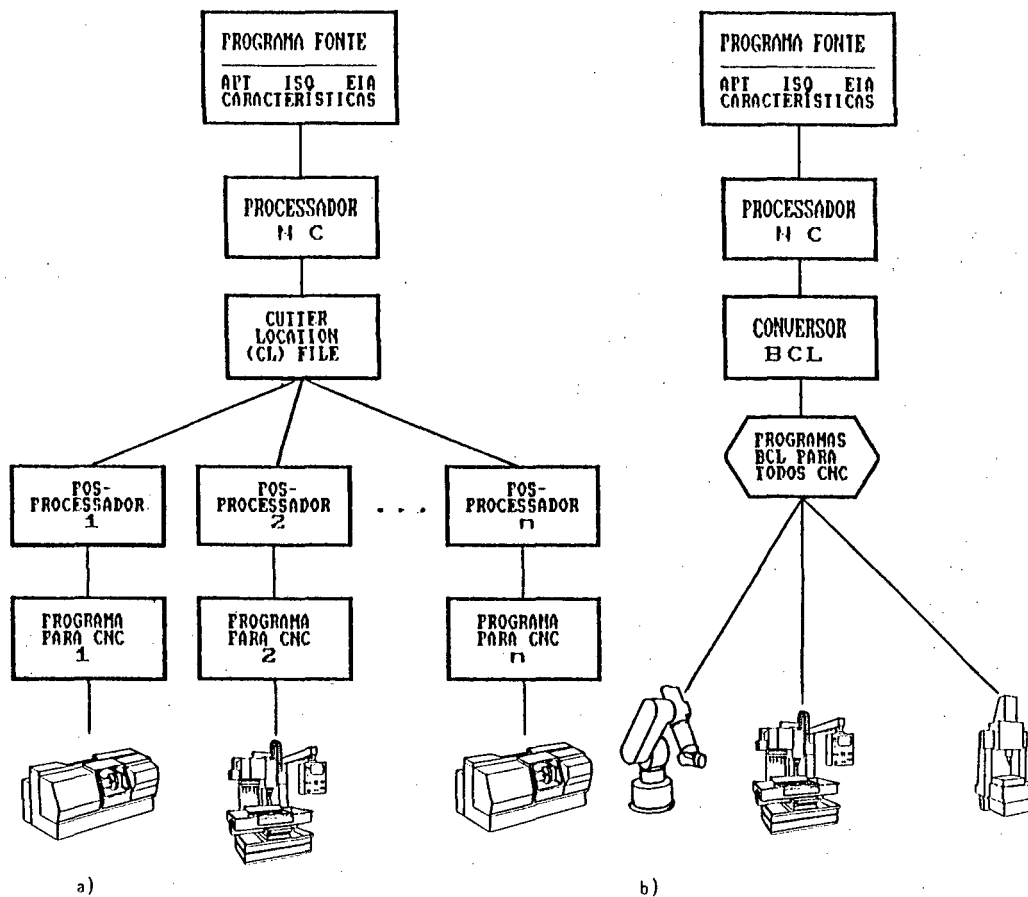


Figura 5.13- Programação NC, da elaboração à execução: a) abordagem convencional e b) padrão BCL.

MT, impõem a necessidade de um tradutor específico e único para cada conjunto: os chamados pós-processadores [149, 266, 267].

O "código G" acrescenta ainda uma carga adicional no CNC ao demandar um tempo de processamento relativamente pesado na sua decodificação em linguagem executável. Deveria ser possível introduzir no CNC também uma linguagem de mais baixo nível, já contendo a informação executável diretamente [265].

A figura 5.13a ilustra a abordagem convencional de programação e execução de programas NC. A figura 5.13b antecipa o modelo do método que aqui se sugere para equacionar os problemas acima enumerados. Trata-se do padrão EIA RS-494 - "32 Bit Binary Cutter Location Exchange Input Format for Numerically Controlled Machines", conhecido pelo acrônimo de BCL. Um pouco da sua

história, princípios básicos e restrições das versões atuais podem ser vistos em [268, 269, 270].

A idéia básica do BCL é substituir os pós-processadores por um único conversor BCL, mais rígido e completo em suas especificações. Este transforma uma linguagem de alto nível (APT ou o próprio código G, por exemplo), diretamente em um arquivo binário, legível sem tradução pelos CNC's.

A portabilidade conseguida pelo BCL deve-se principalmente ao princípio de seu sistema de coordenadas. O arquivo binário é baseado nas coordenadas da peça ao invés das da máquina (na realidade, uma localização padronizada no volume de trabalho). Ao CNC é transferida a responsabilidade de conversão, de acordo com as especificidades do conjunto CNC + MT. Ou seja, o pós-processamento passa a ser interno a cada máquina. É preciso, portanto, que o conjunto CNC + MT seja compatível com o padrão BCL [270].

As principais vantagens dessa concepção estão associadas à portabilidade e são [111, 149, 271]:

- eliminação do pós-processador, uma peça de software cara, específica, altamente especializada e dependente de constante manutenção;
- compatibilidade lógica entre MT's da mesma classe, o que efetivamente garante que estas MT's podem usar indistintamente as mesmas peças, e com os mesmos programas NC;
- eliminação da necessidade de operadores e programadores terem que se familiarizar com vários códigos diferentes;
- flexibilidade: "try-outs" ou testes de novas peças podem ser feitos em qualquer MT disponível, mesmo que a usinagem, posteriormente, venha a ser feita em outra máquina (mesmo que em áreas ou fábricas diferentes, em sub-fornecedores etc.);

- evolução: novas máquinas, com novas tecnologias podem ser agregadas à produção com aproveitamento imediato dos programas existentes. A entrada em operação também pode ser imediata.

O BCL é aplicável a MT de até 5 eixos, para quase todas as versões. A EIA estuda atualmente a extensão do padrão BCL também para CNC's de CMM's e de Robôs industriais [E66, E70].

É possível, naturalmente, operar simultaneamente MT dos tipos "pós-processadas" e BCL. O próprio conceito da norma prevê esta hipótese, ao permitir a conversão também do código G para BCL. A idéia é que se possa migrar gradualmente para o padrão BCL [E69].

5.4.2 Fase de Execução

Os CNC's têm que ser reprojctados para o ambiente de FMC's. Eles teriam que incorporar recursos hoje não disponíveis, tais como:

- dispor de uma DB com as informações necessárias ao atendimento das solicitações das demais unidades, acessível a nível de campos de memória;
- capacidade de gerenciamento, em alto nível, dos PLC's (pela MgU ou pelo operador) para medição de variáveis e para testes;
- possibilidade de programar a operação sincronizada entre vários equipamentos, programas e ferramentas (principalmente com a MgU, IpU e THU) e sem depender das limitações das funções auxiliares (funções "M");
- interfaces inteligentes e amigáveis com a MgU e o operador;
- contar com características de controle adaptativo em ambiente multitarefa que habilitem suportar as necessidades da IpU, principalmente as de segurança (item, aliás, já tratado nos CNC's de robôs e ainda não aproveitados nos de máquinas-ferramenta);

- possibilidade de usar o CNC como terminal remoto para entrada de dados da produção, troca de mensagens, funções de SPC, de controle e outras.

Esta última talvez seja das mais importantes, pois converte o CNC em uma ferramenta muito útil nas primeiras fases de implantação da FMC. Um CNC inteligente de fato pode tornar efetiva uma FMC sem necessidade imediata de uma MgU remota.

Outros aspectos, associados às funções de DNC, serão vistos no capítulo 6.

6 ASPECTOS DE COMUNICAÇÃO

Percebe-se até aqui que os diversos princípios estabelecidos pelo conceito de FMC's inteligentes (modularidade, integração, controle adaptativo, ambiente distribuído e heterogêneo) impõem requisitos bem definidos ao sistema de comunicação.

A figura 5.10 já apresentava uma estrutura básica das redes de comunicação, dividindo-a em 3 níveis, de acordo com as diferentes características de comunicação. Os níveis 0 e 1 são voltados à comunicação intra FMC, enquanto o nível 2 sintetiza o relacionamento da FMC com o ambiente externo, em particular o de engenharia. O sistema computacional corporativo, na figura, representa todas as demais funções que se relacionam com a FMC, fazendo também o papel de ponte entre o ambiente de engenharia e os demais da empresa.

Para uma melhor familiarização com a terminologia específica adotada neste capítulo, ver [272, 273, 254].

6.1 NECESSIDADES DE COMUNICAÇÃO DAS FMC'S INTELIGENTES

Observa-se, a partir dos elementos definidos no capítulo 5, as seguintes características principais que estabeleceram as condições de contorno para definição do sistema de comunicação:

- "encapsulamento", sempre que possível, das ações de controle internamente a cada unidade inteligente e conseqüente priorização do fluxo de dados sobre o de controle;
- capacidade crescente de inteligência à medida que se evolui na hierarquia de comunicação;
- tendência para se ter capacidades de inteligência heterogêneas no nível 0;
- número de unidades por FMC menor do que 10;

- número de estações por unidade menor do que 30.

Outros aspectos a considerar do ponto de vista mais conceitual, são:

- Modularidade: a inserção ou retirada de estações não deve impor à operação, como consequência, alterações outras além do reendereçamento lógico do sistema;
- Os problemas de endereçamento físico e lógico das estações devem ser transparentes ao usuário final (operador e administrador da LAN);
- Devem ser previstos mecanismos de detecção/aviso de falhas de acesso às estações, e de imunidade do sistema quanto aos seus efeitos;
- Deve ser garantida a interoperabilidade das estações, além da simples interconectividade (sobre o conceito interoperabilidade ver [274, 275]);
- Os requisitos de comunicação são distintos nas diferentes fases do processo (fig. 5.3) e são acrescidas das situações excepcionais (operação manual, manutenção);
- A integridade dos dados que circulam pelo sistema é de fundamental importância.
- O acesso aos dados tem que ser seletivo às pessoas autorizadas.

São fundamentais também os aspectos relativos a desempenho. A figura 6.1 apresenta um quadro que enumera os principais tipos de mensagens trocadas via LAN's no âmbito da FMC inteligente, nos respectivos níveis de comunicação em que ocorrem. Pode-se observar do quadro que as ocorrências de prioridades (1), ou seja as que realmente exigem intervenção em tempo real, são poucas e, com uma exceção, localizam-se no nível 0. Todas se relacionam a requisitos ligados à segurança. A única ocorrência do nível 1 representa a condição típica de uma interferência direta da MgU (ou do operador, via MgU), normalmente através de uma chamada geral ou difusão

MENSAGEM - TIPO	PRIORIDADE DE COMUNICAÇÃO		
	NÍVEL 0	NÍVEL 1	NÍVEL 2
1. STATUS			
- equipamentos	2	2	3
- peças	-	2	3
- estrados / acessórios	-	2	3
- ferramentas	2	2	3
- produção	-	3	3
- SPC / QC	2	2	3
2. CONTROLE			
- intertravamentos	1	2	-
- ocorrências / emergência	1	2	-
- inicialização/preparação	2	2	3
- SPC	-	2	3
- segurança	1	1	2
3. ALTERAÇÕES NO PROCESSO			
- seqüenciamento	-	3	3
- lotes de produção	-	3	3
- parâmetros / referências	2	2	2
4. INICIALIZAÇÃO (CARGA/DESC.)			
- programas NC/PLC	-	3	3
- parâmetros	3	3	3
- ordens produção / planos de processo / desenhos	-	-	3
5. RELATÓRIOS			
- produção / operação	-	3	3
- status do sistema	3	3	3
- manutenção	3	3	3
6. INSTRUÇÕES DO/PARA OPERADOR	-	-	2
Código de Prioridades:	1: 0,02 a 0,1 s		
	2: 1 a 10 s		
	3: > 10 s		

Figura 6.1- Mapeamento das prioridades de comunicação nas FMC's, em função do tempo médio de acesso.

("broadcast") para parada imediata das unidades.

O que se observa é que as comunicações críticas, associadas aos controles de cada equipamento, compõem um outro nível de comunicação, interno, que não se relaciona com a LAN. É o caso, por exemplo, dos controles de movimentos dos braços de robôs, eixos das MT's e CMMs, e assim por diante. Aliás, um erro das primeiras especificações funcionais e propostas de rede foi supor que estes controles também seriam feitos via LAN's do sistema produtivo, o que explica em parte as exigências tão rígidas de resposta em tempo real.

Há de se considerar ainda os aspectos, já comentados, relativos à segurança do sistema:

- a segurança humana vem em primeiro lugar;

- a necessidade de redundância física e lógica dos elementos críticos;
- a não dependência dos dispositivos de segurança de elementos de software ou firmware.

6.2. ALTERNATIVAS DE LAN'S: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Sem dúvida a discussão sobre LAN's continua em plena efervescência nos diversos grupos de interesse disseminados nos órgãos de padronização e na indústria, o que é em sinal de que a maturidade ainda não chegou ao setor. Entretanto, algumas conclusões de interesse para este estudo já emergiram desse debate:

- as LAN's para chão-de-fábrica apresentam características distintas das LAN's de escritórios ou públicas;
- as arquiteturas abertas são o caminho para garantia de interoperabilidade;
- o modelo básico de referência ISO/OSI serve como arcabouço na determinação dos requisitos das LAN's.

Não é objetivo deste trabalho discorrer sobre os conceitos, estruturas, propostas ou arquiteturas de comunicação. Sugere-se, a propósito, consultar as seguintes referências bibliográficas, que subsidiaram a discussão que se segue:

- modelo básico de referência ISO/OSI, teoria e aplicação: [272, 276, 277, 278, 281, 279, 282, 280];
- planejamento e conceituação de LAN's industriais: [283, 287, 7, 288, 285, 286, 284, 289];
- padrões MAP/TOP, mini-MAP e Ethernet para LAN's industriais: [290, 291, 254, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 273];
- propostas de padrões "field-bus": [299, 300, 301, 302, 236, 235, 304, 305, 306, 307];

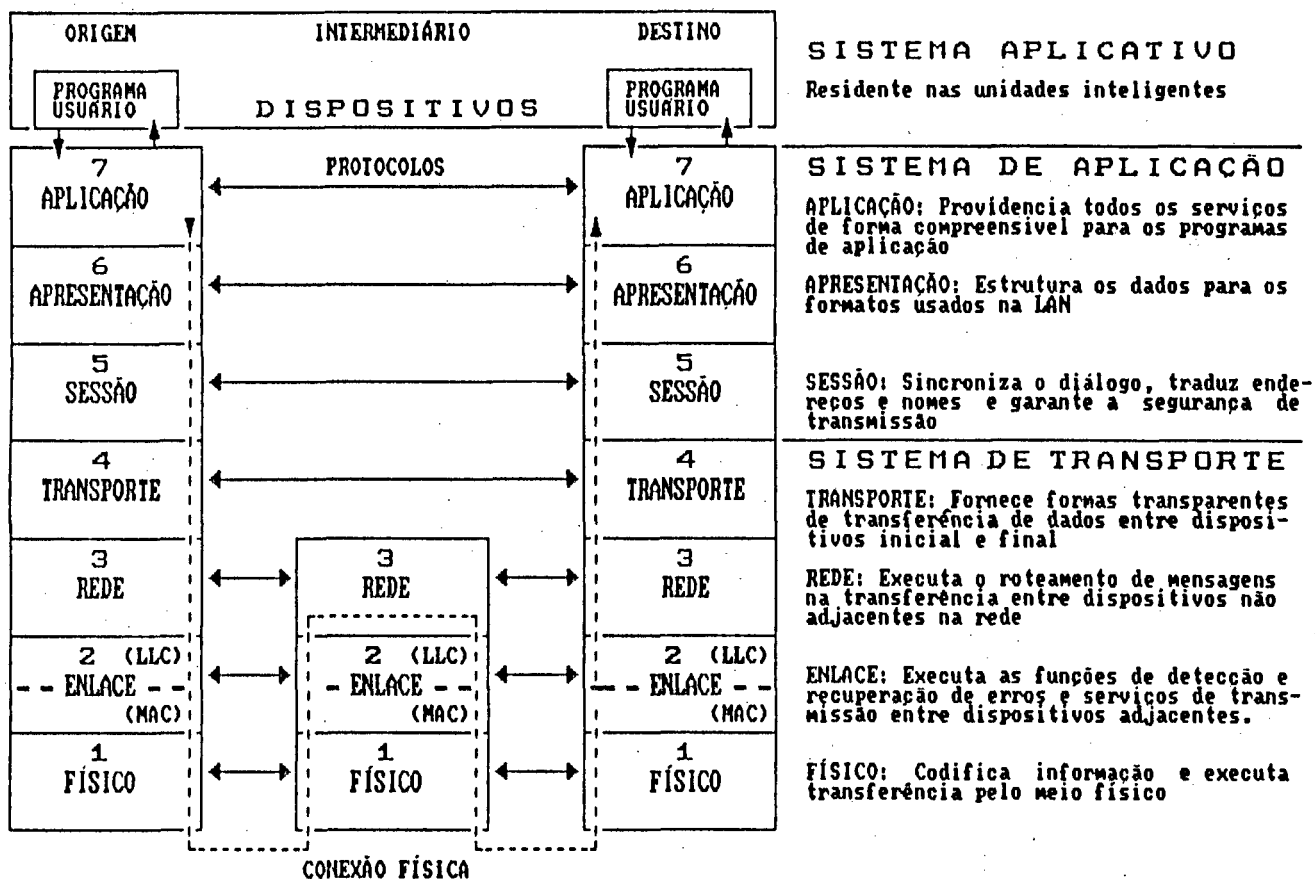


Figura 6.2- Arquitetura em camadas do modelo ISO/OSI [254]

- aspectos específicos das camadas inferiores do modelo ISO/OSI (protocolos de transporte, camadas 1 a 4): [273, 254, 276, 31, 307, 308];
- aspectos da camada de aplicação, MMS ("Manufacturing Message Specification") e API ("Application Program Interfaces"): [254, 309, 311, 310, 312, 46, 313];
- aspectos relativos a DNC: [314, 315, 316, 317, 314, 318, 319].

A arquitetura em 7 camadas sobre a qual se fundamenta o modelo básico de referência ISO/OSI pode ser vista na figura 6.2. A figura ilustra também a conexão entre duas estações (elementos de unidades conectados à rede) via um roteador (ponte simplificada para interligação de redes com protocolos equivalentes nas camadas superiores). Não se pretende aqui entrar no mérito e no desempenho

CAMADA	ESPECIFICAÇÃO		
	TOP	MAP	Mini-MAP
7 APLICAÇÃO	CASE/ACSE DIS 8649 FIAM DIS 8571 VI	CASE/ACSE DIS 8649 FIAM DIS 8571 MMS (RS-511) DP 9506	MMS (RS-511) DP 9506
6 APRESENTAÇÃO	DIS 8822		
5 SESSÃO	IS 8326 / 8327		
4 TRANSPORTE	IS 8072 / 8073 CLASSE 4		
3 REDE	IS 8473 (8348/8648) SEM CONEXAO		
2 ENLACE	LLC: IS 8802.2 TIPO 1 MAC: IS 8802.3	LLC: IS 8802.2 TIPO 1 E 3 MAC: IS 8802.4	LLC: IS 8802.2 TIPO 3 MAC: IS 8802.4
1 FISICO	BANDA BASE 10 BASE 5	BANDAS: PORTADORA, 5 Mbit/s LARGA, 10 Mbit/s	BANDA PORTADORA, 5 Mbit/s

Figura 6.3- Especificação MAP/TOP e Mini-MAP, de acordo com as normas ISO .

dos serviços e respectivas primitivas oferecidas pelas normas em cada camada.

Os requisitos impostos e as diferentes necessidades de comunicação em cada nível, por um lado, e as alternativas padronizadas (ou em vias de padronização), por outro, levam a um conjunto restrito de alternativas de LAN's possíveis de serem analisadas:

- na camada 2 destaca-se as alternativas MAP/TOP e mini-MAP (MAP, de "Manufacturing Automation Protocol"), cujas especificações resumidas encontram-se na figura 6.3. A rede TOP ("Technical and Office Protocol") é uma evolução padronizada nas 7 camadas a partir do conhecido modelo básico de redes Ethernet;
- para a camada 1 a literatura tem proposto os padrões mini-MAP e Proway C (ISA 72.01-1985) que, na realidade, não são muito diferentes entre si [254]. A figura 6.4 apresenta suas características principais;

ESPECIFICAÇÕES	PADRÕES DE REDES "FIELD-BUS"				
	MIL 1553	F I P	PROWAY C	BIT - BUS	PROFIBUS
CAPACIDADE (MBit/s)	1	3	1	0,375	< 0,5
ENDEREÇO LOGICO	1024	65 535	65 535	65 535	127
EFICIÊNCIA	21 %	16 %	6,8 %	7,4 %	10,4 % * 6 % **
DISTÂNCIA HAMMING	2	3	3	1	2 ou 4
TEMPO DE ACESSO (ms)	Max. 65	Max. 35	10	7	Max. 7 * Max. 9 **
"BROADCAST"	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM
SERVIÇOS L L C	RDR SDR	RDR SDA, SDN	RDR SDA, SDN	RDR SDA	SDR, RDR SDA, SDN
M A C	HIBRIDO	CENTRAL	HÍBRIDO	CENTRAL	HÍBRIDO
CODIFICAÇÃO DO SINAL	MANCHESTER	MANCHESTER	MANCHESTER	NRZ	NRZ
MULTIMESTRE	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM
CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO	NÃO	FUTURO	EXTERNO	SIM	FUTURO
(*) DETECCÃO DE ERRO POR PARIDADE			(**) DETECCÃO DE ERRO POR CRC		

Figura 6.4- Especificação das propostas para "field-bus" atualmente em discussão [254]

- para a camada 0 existe uma disputa entre diversas propostas de padrões que buscam atender aos requisitos especificados pelas três entidades normalizadoras que se preocuparam com o problema de interligação de estações inteligentes para o controle de processos contínuos e de manufatura, via rede de barramento de campo ("field-bus"). A figura 6.5 apresenta os principais requisitos propostos como mínimos a serem atendidos por uma rede candidata à padronização neste nível.

6.3 ANÁLISE DAS PROPOSTAS DE LAN'S

A discussão que se segue tem que partir de uma definição objetiva da abrangência que se pretende para as LAN's em questão. É preciso

	IEEE 1118	ISA SP50	IEC TC 65
TOPOLOGIA	ÁRVORE DE BARRAMENTOS	BARRAMENTO SIMPLES (ÁRVORE OPC.)	ÁRVORE DE BARRAMENTOS
MEIO FÍSICO	PAR TRANÇADO, COAXIAL, FIBRA ÓPTICA	PAR TRANÇADO FIBRA ÓPTICA	PAR TRANÇADO, COAXIAL, FIBRA ÓPTICA
NÚMERO DE DISPOSITIVOS	< 255 (32/SEGMENTO)	32	< 60
DISPOSITIVOS CONECTADOS	PERMITE INCLUSÃO/REMOÇÃO "ON LINE"	IDEM	IDEM
CONFIABILIDADE	DETECÇÃO DE ERROS	IDEM	IDEM
REDUNDÂNCIA DE BARRAMENTO	SUPORTADA	IDEM	IDEM
ISOLAMENTO	> 250 V	> 250V+GALVÂNICO	> 250V+GALVÂNICO
ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA VIA LINHA DE DADOS	OPCIONAL	POSSÍVEL	OPCIONAL
COMPRIMENTO DO BARRAMENTO (m)	2 000 a 5 000	< 1 000	< 1 500
TIPOS DE MENSAGEM (kbit/s)	MÁXIMO POSSÍVEL		0,15 a 10 até 250m > 5 (< 40 m)
TAXA DE VARREDURA TEMPO DE ACESSO	10 a 50 ns	> 100 VEZES/s	5 a 20 ns
MÉTODO DE ACESSO AO MEIO	MESTRE ÚNICO MULTI-MESTRE OPC.	MESTRE ÚNICO	MESTRE ÚNICO TRANSFERÍVEL + "TOKEN"
"BROADCAST/MULTICAST"	SIM / OPC.	SIM/NÃO ESPECIF.	SIM/NÃO ESPECIF.
CONFIGURAÇÃO DO BARRAMENTO	NÃO ESPECIFICADO	CONFIGURÁVEL	CONFIGURÁVEL
COMUNICAÇÃO ENTRE PARES	SIM	SIM	OPCIONAL

Figura 6.5- Propostas para os requisitos funcionais para "field-bus" visando a padronização [254]

ter definido de antemão que serviços e que perfil de indústria se pretende atender, dadas as consequências de custo e de sofisticação que advêm de cada solução adotada.

Esse pequeno detalhe torna-se importante quando se observa que as especificações das normas se preocupam em demasia em serem completas, abrangendo diversos setores industriais ou todos os serviços possíveis de um dado setor, por mais sofisticados que sejam. Por outro lado, algumas características importantes não são preenchidas pelas especificações das LAN's, principalmente quando se considera o contexto das FMC's inteligentes, e serão comentadas no item 6.4.

Convém observar que as propostas de requisitos funcionais e as implementações candidatas ao padrão "field-bus" procuram abranger simultaneamente o controle de processos e a integração na manufatura. Apesar das semelhanças, existem também diferenças importantes que vão repercutir diferentemente no desempenho da rede, como se verá ao longo das avaliações que se seguem.

Este trabalho parte do pressuposto que o objetivo das especificações deve ser o de oferecer todos os serviços básicos necessários às indústrias de manufatura brasileira de pequeno e médio porte, e quase todos para as indústrias de grande porte. Atendo-se mais especificamente aos níveis que interessam a este trabalho (0, 1 e 2), serão abordados os dois enfoques:

- o que pode ser simplificado das especificações;
- o que deve ser aperfeiçoado.

6.4 ADEQUAÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES ÀS NECESSIDADES DAS FMC'S

Considere-se primeiro os parâmetros de custo: apesar das informações conflitantes (a visão do vendedor sempre difere da do comprador), segue uma estimativa, para efeito de referência básica, dos custos atuais de alguns tipos representativos de LAN's [320, 321, 301]:

- MAP: 4000 US\$/conexão (nó), em 1988;
- mini-MAP: US\$ 1200 US\$/conexão, em 1989;
- padrões proprietários (ex. Ethernet): entre 500 e 800 US\$/conexão, em 1989;
- "field-bus" (ex. MIL-STD 1553): 500 US\$/controlador (para até 30 conexões), em 1989.

Os parâmetros técnicos levarão em consideração as implicações de custo. Serão comentados tanto os requisitos das especificações das normas como as implementações propostas.

6.4.1 Topologia

Já há um consenso de que a topologia em barramento é que melhor se adequa às necessidades dos FMS's/CMS's.

Pode-se notar uma certa sobreposição das diversas propostas de redes com os níveis de comunicação a que se propõem a atender. Considerando a disparidade de inteligência das diversas conexões (contraposta aos objetivos de flexibilidade e modularidade) conclui-se que a melhor solução passa por uma topologia em árvore de barramentos (um barramento principal com vários secundários), principalmente para os níveis 1 e 0.

Unidades inteligentes que agregam quantidade suficiente de conexões (como determinadas IPU, por exemplo) poderão, caso justifique, conectar-se diretamente no nível 2 e se servir de uma rede do nível 1/0 para comunicação com suas estações.

(Convém destacar que o conceito de inteligência, como usado neste texto, é entendido de forma diferente pelas entidades especificadoras de requisitos funcionais. Inteligência, para estas, restringe-se à simples capacidade das estações executarem funções simples de sequência de contato ou equação de controle, o que está bem aquém do conceito de inteligência aqui utilizado.

O objetivo, como se percebe, é resumir os três níveis de comunicação a apenas 2, uma característica interessante e possível na estrutura modular de FMC's (que difere, no caso, dos processos contínuos, que tendem a englobar grande quantidade de estações pouco inteligentes em cada CtU). A união dos níveis 1 e 0 é possível pela semelhança entre eles nas aplicações em FMC's.

6.4.2 Meio Físico

Um dos principais objetivos do lay-out celular é otimizar o espaço físico. As FMC's se caracterizam pela incorporação de máquinas inteligentes, em menor número e, em consequência, com menores distâncias entre as diversas estações conectáveis à rede (outra diferença em relação aos processos). Portanto, não se justifica considerar meios de transmissão sofisticados como fibra ótica ou mesmo cabos coaxiais para as redes de nível 1/0 (uma comparação de características e desempenhos dos diversos meios físicos para aplicação industrial pode ser vista em [7]).

As implementações de rede existentes conseguem bons resultados com o simples cabo blindado de par trançado, inclusive no que se refere à imunidade a ruídos e rejeição de modo comum (ver, por exemplo, [301, 300]). Todas as conexões, de qualquer modo, devem contar com isolamento óptico para garantir o sistema contra descargas elétricas indesejáveis na rede.

Para o nível 2 pode ser conveniente o uso de cabo coaxial, em função das distâncias e tráfego maiores. O uso de cabos coaxiais semi-rígidos pode também ser interessante quando já se antevê a perspectiva de migração para LAN's mais sofisticadas (MAP banda larga ou TOP).

No nível 1/0 cada segmento de barramento não necessita ter mais do que 200m. No nível 2 é desejável que cada segmento suporte pelo menos até 1200m. Ambos os níveis devem permitir a colocação de pelo menos 2 repetidores para atender a condições excepcionais.

É preciso ainda considerar os aspectos relativos ao modo de transmissão das mensagens: esta tende a ser, nos dois níveis, assíncrona, visando simplificar a cabeção (evitar os dois cabos adicionais necessários para transmissão do sincronismo do relógio do sistema). Dois tipos de codificação de banda-base são usados

atualmente nas implementações do nível 1/0: a NRZ (da EIA RS-485) e a Manchester (da ISO 8802.3) [254, 273]. A segunda é a alternativa mais difundida para os diversos níveis de LAN's. Seria interessante, assim, se esta pudesse ser implementada também no nível 1/0.

6.4.3 Estações Conectadas

O número de estações conectadas por barramento no nível 1/0 é, em geral, pequeno (mais uma condição diferente da de processos). As maiores quantidades concentram-se na THU e na IPU e dificilmente atingem 20 conexões em cada. A previsão para endereçamento de 32 estações (5 bit) é, portanto, suficiente.

No nível 2 também é possível repetir-se este endereçamento de 32x32 (até 32 barramentos secundários com 32 conexões cada), o que atende perfeitamente às necessidades do FMS. Uma maior capacidade de endereçamento (8 bits, ou 256 conexões) pode se tornar necessária caso se pense em atender também outras áreas da produção não diretamente ligadas ao FMS. Deve ser possível, desse modo, promover o endereçamento completo do nível 2 para o 1/0 em não mais que 26 bit (os padrões MAP/TOP, por exemplo, exigem 48 bits para endereçamento, o que é uma sobrecarga razoável no tamanho das mensagens).

A LAN do nível 2 deverá oferecer condições para conexão com outras LAN's via pontes/roteadores garantindo, desta forma, o crescimento modular do sistema de comunicação, e integrando desde o nível 1/0 até os hierarquicamente mais altos da empresa.

Outro aspecto importante a observar em relação aos problemas de endereçamento refere-se à localização da entidade de destino: é prevista, como se viu no capítulo 5, a manutenção de um dicionário de dados, administrado pelo DBMS, cabendo ao gerenciamento da LAN

localizá-los de forma transparente ao usuário. Não há necessidade dos gerenciadores da LAN's manterem um dicionário paralelo e redundante. Alguns detalhes sobre este conceito poderão ser vistos em [306].

Pode-se observar que estas especificações simplificam as previstas pela maioria das propostas de LAN's. A única proposta que sofre restrições, nesse caso, é a de PROFIBUS, por não permitir o endereçamento em árvore de barramentos de dois níveis.

Dois outros aspectos complementares a serem observados são:

- colocação/retirada de estações com a rede em operação;
- alimentação de energia para as estações via rede.

Os dois aspectos são previstos em todas as especificações funcionais. O primeiro é claramente justificável e mais: o gerenciador da rede deve contar com mecanismos para detecção e reendereçamento automáticos quando da retirada ou inclusão de qualquer estação, acusando a nova situação em relatórios específicos. Esta é uma característica que nem todo gerenciador implementa.

Já a alimentação de energia via rede é voltada mais para processos. Em manufatura não se justifica usar a rede para tal, em função das pequenas distâncias e da disponibilidade de energia no local. Além disso, as estações já são normalmente projetadas para ligação direta à rede elétrica. A eliminação dessa alimentação de energia simplifica bastante os problemas de isolação galvânica da LAN, além de diminuir o seu custo.

6.4.4 Confiabilidade

Confiabilidade significa receber-se sempre as mensagens corretamente no destino. Como nenhum sistema está isento de falhas,

é importante que outro controlador de unidade ou estação inteligente esteja preparado para assumir de imediato o gerenciamento da rede no caso de falha do gerenciador.

Todas as propostas de requisitos funcionais e a maioria das implementações suportam esta redundância.

Outro aspecto relativo à redundância se refere às paradas de emergência: pelos princípios de segurança estabelecidos (capítulo 3) a parada de emergência deve ser feita independentemente da LAN, através de ligação direta entre os "push-buttons" (botões de emergência), colocados em locais estratégicos. Observar que esta providência elimina o único evento crítico que ocorreria no nível 1 de comunicação (fig. 6.1).

Todas as implementações também prevêm algum tipo de tratamento de erros de comunicação (sobre conceitos de detecção de erros, ver, por exemplo, [273, 276, 7]). O meio de transmissão e os métodos de codificação devem garantir, mesmo em ambientes hostis, um baixo BER ("Bit Error Rate" - taxa de erros de bits), para evitar retransmissões [254]. Espera-se um BER menor do que 10^{-10} [276]. Isto significa um erro a cada 14h de operação a uma taxa de transmissão de 200 kbit/s, o que é muito bom, mas inatingível pela maioria das implementações. Um BER de 10^{-8} como especificado pela maioria [307], significa, nesse caso, um erro a cada 0,5 s, o que pode ser inaceitável.

Estes erros são administrados pelos mecanismos de detecção, que têm que prever a hipótese de que os agentes hostis tendam a corromper mais de um bit simultaneamente. Em redes com BER's de 10^{-8} faz-se necessário mecanismos que ofereçam uma distância de hamming - HD ("Hamming Distance") maior do que 4 (garantia de que serão detectados 99% das ocorrências de até 4 bits corrompidos simultaneamente em um bloco [273, 276]). Já uma LAN com BER menor do que 10^{-10} pode se satisfazer com uma HD maior do que 2, dada a

maior segurança intrínseca do sistema. Convém observar que a HD está associada à inclusão de bits de controle em cada bloco e estes serão em número diretamente proporcional à HD, o que onera o tamanho das mensagens.

Por último, é preciso que o software gerenciador da LAN garanta um desempenho seguro, livre de falhas e eficaz, de forma que o acesso à informação seja fácil e em tempo hábil. As funções a serem preenchidas pelo gerenciador da LAN são [288]:

- Configuração: gerencia os problemas de endereçamento lógico das conexões e as regras de prioridades. É responsável também pelo reestabelecimento das comunicações a um estado consistente após falha do sistema. Deve também detectar e isolar estações defeituosas, reconfigurando o sistema para a nova situação;
- Administração: fornece relatórios sobre a distribuição das comunicações, acusando as estações mais usadas, os tipos de consulta etc. Objetiva fornecer parâmetros para auditoria administrativa da rede;
- Monitoramento e Controle: preocupa-se com o desempenho da rede. Informa, por exemplo, os servidores que estão se tornando congestionados, as características técnicas do tráfego, e assim por diante. Deve ainda controlar a sincronização de estações, fornecendo as bases de tempo para tal e priorizar as funções e estações mais críticos;
- Segurança: garante o acesso seletivo à rede através da distribuição de senhas. Bloqueia arquivos para escrita ou escrita/leitura a partir do gerenciador a fim de garantir o sigilo e evitar manipulação não autorizada das informações. Não é importante, no caso das LAN's dos níveis 1/0 e 2, o gerenciamento de dados criptografados. Estes tornam-se importantes nas redes onde o acesso humano é generalizado, o que não é o caso.

As normas são ainda incompletas no que se refere aos aspectos do gerenciamento de LAN's. Protocolos adicionais e funções específicas em cada camada devem ser definidos para tanto. O modelo ISO/OSI (ISO 7498) começou, em 1988, a endereçar parcialmente esses problemas através dos adendos 1 e 2. Não existe, entretanto, nenhuma implementação realizada [274, 288]. Alguns aspectos de interesse específico sobre testes de desempenho e gerenciamento de LAN's poderão ser vistos em [322, 7, 74].

Sob a ótica da garantia de interoperabilidade, são importantes as normas de conformidade e de testes de desempenho de LAN's, a fim de se evitar implementações que dizem atender às normas mas não são compatíveis (as normas, aliás, abrem "brechas" para que isso aconteça [274, 323]). A ISO DP 9646 já tenta resolver, pelo menos parcialmente, o problema.

Complementares, mas não menos importantes, são os aspectos relativos às falhas do sistema propriamente dito: dentro do conceito de MTBF ("Mean Time Between Failure" - tempo médio entre falhas), espera-se que uma rede possa operar longos períodos sem falhas. Um MTBF de 6000 h asseguraria uma operação de 1 ano, em dois turnos, sem falhas. Muitas implementações já asseguram MTBF superiores a este valor.

6.4.5 Tipos de Mensagem e Métodos de Acesso

Aqui são mais nítidas as diferenças entre os níveis de comunicação. Considerando a condição de um só tipo de LAN para os níveis 1 e 0, é preciso atentar para as situações diferentes das fases de produção, para uma análise adequada. A figura 6.6 ilustra o que ocorre em cada situação. Observa-se como no nível 1/0 existe um certo acordo entre o tamanho típico de mensagem e o tempo disponível para transmissão: os tempos críticos de acesso ocorrem quando as mensagens são curtas (em sua grande maioria, menor do que

FASES NÍVEL DE COMUNICAÇÃO	INICIALIZAÇÃO		PRODUÇÃO		DESPACHO	
	0 / 1	2	0 / 1	2	0 / 1	2
MENSAGEM						
. Tipo	Programas	Ordem Prod. Desenhos Programas Parâmetros Dados	Alarmes/ avisos Status Dados	Relató- rios Dados Status	Dados Parâme- tros	Relató- rios Dados
. Tamanho (byte)	até 10 k	até 10 k	< 128	até 10 k	< 128	até 10 k
. Freqüência (mens./s)	< 10	< 20	> 100	< 10	< 100	< 10
TEMPO DE ACESSO (s)						
. Mínimo - pior condi- ção (1)	---	---	0,02-0,10	0,02-0,10	---	---
. Máximo - melhor con- dição	10	10	10	10	10	10
(1) - Mensagens curtas de alarmes/avisos						

Figura 6.6- Características das mensagens nas diversas fases da produção.

32 byte). Por outro lado, quando as mensagens são longas (e fora das características normais de comunicação da LAN de nível 1/0), os tempos disponíveis para transmissão não são críticos. O nível 2, que opera normalmente com mensagens maiores, não sofre tanto com restrições de tempo.

É preciso observar ainda que a comunicação em FMC quase não se utiliza de serviços periódicos (característicos de controle de processos). A ênfase maior é nos serviços aperiódicos, de acordo com as diferentes necessidades das diversas fases da produção. Esta condição sugere priorizar as funções e primitivas de comunicação que atendam a esse tipo de serviços. Portanto, em FMC's, deve-se dar preferência às implementações de LAN's que tenham melhor desempenho nos serviços aperiódicos (ver observações a respeito em [307]).

6.4.6 Características da Comunicação

Existem diferenças entre os níveis 2 e 1/0 no que se refere à camada de enlace do modelo ISO/OSI.

No que tange à subcamada da MAC ("Medium Access Control" - Controle de Acesso ao Meio), as características até agora vistas para a LAN do nível 1/0 sugerem o método de acesso por "polling" (varredura). Este método tem a seu favor a simplicidade, associada ao tempo determinístico de acesso. A pequena quantidade de estações de cada segmento de rede favorece esta solução, em detrimento das soluções mais sofisticadas, do tipo passagem de ficha ("Token"), caras e complicadas (inclusive devido ao seu sistema de gerenciamento). A possibilidade de se adotar esta concepção em FMC existe, principalmente na versão mini-MAP. Basta que esta se mostre viável economicamente.

No nível 2 os métodos de contenção (do tipo CSMA/CD - "Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection", ISO 8802.3) podem ser usados pois já se mostram confiáveis e eficazes em ambientes industriais [298, 273]. São, além disso, soluções consagradas pelo mercado e com baixo custo de implementação. Para o nível 2 de rede, merecia ser estudado uma configuração simplificada da rede TOP (uma espécie de "mini-TOP", que implementasse as camadas 1, 2 e 7).

A subcamada LLC ("Logical Link Control") implementa o padrão ISO 8802.2 tipo 3 para o nível 1/0, acrescida de novos tipos próprios de operações cíclicas, que são características do "polling" (ver, a propósito, [254]). O nível 2 implementa o mesmo padrão, tipo 1 (que é um subconjunto do tipo 3), suficiente para o método CSMA/CD.

As implementações dos dois níveis de LAN devem contar com os serviços de difusão ("broadcasting") para que certas mensagens possam ser recebidas por todas as estações. O "multicasting", ou

chamada seletiva de várias estações, já não é tão importante para esses dois níveis de LAN's.

6.4.7 Aspectos Relativos ao DNC ("Direct Numerical Control")

A carga e descarga de programas e parâmetros de e para CNC's e PLC's, junto com o monitoramento remoto deles constituem a espinha dorsal da operação das FMC's. Apesar de DNC ser um termo muito citado, não se pode dizer que CNC's e PLC's executem efetivamente esta função: os problemas de comunicação são sérios devido às limitações citadas no capítulo 5, mas vão mais além:

- os CNC's não são projetados para operação remota e automática. A simples transferência de um programa exige interferência do operador no local;
- os CNC's e a maioria dos PLC's não são projetados para interfacearem diretamente com as LAN's. As interfaces de comunicação são, em geral, baseadas no padrão RS-232C, que endereça apenas o nível físico da comunicação, e de uma forma tão aberta, que cada implementação torna-se única e incomunicável com as demais;
- as interfaces, mesmo com interferência do operador, são de muito baixo nível, exigindo entendimento de "como" fazer cada comunicação, o que é incompatível com interfaces inteligentes;
- é impossível, na maioria dos CNC's, acessar e modificar automaticamente programas e parâmetros (de ferramentas, por exemplo);
- não é possível transferir arquivos gráficos para os CNC's.

Estas limitações terão que ser superadas para que haja integração plena no conceito de FMC inteligente, executando efetivamente as funções de DNC. As principais funções seriam [316, 265]:

- "set-up": ligar e referenciar a MT em relação aos seus eixos, colocando-a em condições de operação;

- edição de programas: ler e modificar o conteúdo de programas e parâmetros armazenados na memória;
- transferência de dados e programas de e para a memória dos CNC/PLC's
- eliminação de dados e programas na memória;
- MDI ("Manual Data Input"): execução remota e manual, bloco a bloco, de um programa;
- produção assistida diretamente pela MgU, inclusive execução de programas selecionados e operação em modo interativo orientado pelo CNC;
- funções de pesquisa (requisição-resposta) e sinais de sincronização;
- fornecimento de informações de status solicitadas ou programadas (dados da produção, de ferramentas ou de máquina, por exemplo);

OS CNC's disponíveis no mercado nacional não têm condições de atender a esses requisitos. Surgiram recentemente mercado internacional os primeiros a implementarem parte dessas funções [302, 303].

A aceitação de arquivos gráficos, carregados via rede, seria útil no caso do CNC funcionar como MgU nas etapas iniciais da implantação de FMC. Para este caso, deveriam ser previstos arquivos adicionais para armazenamento dos desenhos e dos planos de processo, que viriam diretamente do CAPP.

6.4.8 Camadas Superiores do Modelo ISO/OSI

Existe hoje uma tendência muito forte para a adoção do protocolo MMS (ISO 9506) para suportar a transmissão de mensagens em ambiente de manufatura e de controle de processos (camada 7 do modelo OSI). A maioria das implementações de LAN's já são previstas para tanto.

O que se nota, entretanto, é que o MMS é um protocolo genérico, aplicável a uma vasta gama de sistemas no chão-de-fábrica. Nele não são descritos aspectos das aplicações específicas, como é o caso da comunicação com os CNC's e PLC's [254]. É necessário, assim, a elaboração de "envelopes" como forma de traduzir o MMS para cada conjunto de estações, de acordo com suas características, o que constitui, na prática o equivalente a uma 8^ª camada no modelo OSI.

Esta 8^ª camada inclui o que o projeto MAP designou de API ("Application Program Interfaces"). Estas têm a função de tornar os serviços de rede transparentes ao usuário (pois não o são, como era de se esperar, na camada 7), garantindo a portabilidade dos programas nos diferentes ambientes da manufatura (interoperabilidade). Para maiores detalhes das especificações das API's, ver [254].

Um detalhe importante é que as API's não prevêm esquemas específicos para alocação dos necessários espaços de memória nas estações que se comunicam. Esta função é suprida, na concepção definida neste trabalho, pelos mecanismos de memória compartilhada explicados no capítulo 5. O interfaceamento das LAN's com a memória compartilhada pode ser visto com mais detalhes em [237].

As API's não estão incluídas no modelo OSI, mas serviram de base para as discussões que se iniciaram em 1988 no âmbito dos grupos de trabalho conjuntos da IEC/ISO visando a portabilidade das aplicações (ver, sobre o assunto [275, 309]).

Enquanto esses padrões complementares não surgem, espera-se garantir a portabilidade dos programas através dos recursos oferecidos pelo conjunto da memória compartilhada, OS e DBMS comentados no capítulo 5, associando-os ao padrão emergente do STEP quando este estiver disponível. Esta, aliás, já é uma tendência verificada nas discussões dos grupos de trabalho da ISO/IEC.

ESPECIFICAÇÕES	NÍVEL 1 / 0	NÍVEL 2
CATEGORIA BÁSICA	Barramento de campo	Barramento de fábrica
MEIO FÍSICO	Par trançado	Cabo coaxial
TOPOLOGIA	Árvore de barramentos	Árvore de barramentos
Nº DE DISPOSITIVOS/BARRAMENTO	3 0	Até 256
DISTÂNCIA ENTRE EXTREMOS	Até 200 m / barramento	500 m/barramento, 3 000 m com repetidores
ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA PARA DISPOSITIVOS VIA REDE	Desnecessário	Idem
"BROADCAST" (DIFUSÃO)	Desejável	Importante
TEMPO DE ACESSO AO MEIO	20 ns (50 ns máx.)	50 ns (100 ns máx.)
TAMANHO DA MENSAGEM, POR BLOCO	32 byte	1,5 kbyte
INCLUSÃO/REMOÇÃO DE DISPOSITIVO COM REDE OPERANDO	Importante	Idem
REDUNDANCIA DO MEIO FÍSICO	Necessária	Desejável
CAPACIDADE	> 200 kbit/s até 200 m	> 500 kbit/s até 500 m
DISTÂNCIA DE HAMMING	> 2	Idem
MTBF	> 5 000 h	Idem
ARQUITETURA ISO / OSI	Camadas 1,2 e 7 implement.	Camadas 1 a 7 implementadas
- Camada 1	Banda básica com codificação Manchester	Idem
- Camada 2: L L C M A C	8802.2 classe 3 + primitivas para funções de "polling" Por chamada ("polling")	8802.2 classe 1 8802.3 (CSMA/CD)
- Camadas 3 a 6	Inexistente	Padrão TOP/11AP (opcional)
- Camada 7	MMS + gerenciamento de rede	Idem

Figura 6.7- Estrutura básica sugerida para as redes de comunicação para FMC's.

6.5 SUGESTÃO DE MODELOS DE LAN'S PARA IMPLEMENTAÇÃO

A figura 6.7 reúne o que seria um resumo das sugestões comentadas para as especificações dos dois níveis de comunicação visando atender às necessidades das FMC's.

As capacidades de transmissão basearam-se nas necessidades colocadas pelos demais requisitos de forma a garantir um tráfego adequado com a necessária margem de segurança. Pode-se observar que

estas especificações são, de certa forma, conservadoras em relação às propostas de implementação existentes.

Algumas das características inseridas na figura 6.7 propõem-se a servir de comparação com as especificações vistas nas figuras 6.3, 6.4 e 6.5.

Observe-se ainda a quantidade de semelhanças entre as características das duas LAN's da figura 6.7. Estas semelhanças foram intencionais, e objetivavam favorecer a simplificação e intercambiabilidade além de procurar atender aos requisitos inicialmente propostos de modularidade e flexibilidade.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho procurou discutir, de forma abrangente e integrada, os diversos aspectos de interação e padronização relacionados às FMC's.

Como se pôde notar, um assunto tão vasto e ainda carente de estudos e de padrões sedimentados não poderia aqui ser tratado de forma definitiva e exaustiva. Acresça-se a estas limitações as dificuldades naturais de um estudo desta natureza, dado o seu caráter interdisciplinar. As principais contribuições deste trabalho provavelmente foram a de suscitar o debate e de fornecer subsídios para outros trabalhos futuros.

Procurou-se abordar os diversos tópicos do trabalho preservando-se um certo critério de equanimidade. Permitiu-se um detalhamento um pouco maior naqueles tópicos diretamente relacionados aos problemas mecânicos.

Entremeando os diversos tópicos abordados, algumas contribuições merecem ser destacadas deste trabalho:

a) a abordagem sistêmica e integrada das FMC's, com enfoque centrado no seu desempenho global: preocupou-se em tornar acessível à FMC as diversas tecnologias e recursos dos quais necessita, abstraindo-se das visões parciais que fatalmente ocorreriam se as questões fossem tratadas dentro da ótica de alguma área específica da engenharia. Dentro desse contexto devem ser ressaltados os estudos relativos:

- à tecnologia de grupo como ferramenta de suporte à constituição e otimização das FMC's;
- à inspeção como instrumento básico de controle dos processos e dos recursos da fabricação;

- à estruturação de uma base de dados integrada a nível de todo o setor produtivo e da FMC;
- à adequação das redes locais de comunicação, técnica e economicamente, às necessidades de chão de fábrica e da FMC's, em particular;
- à otimização, através da racionalização e simplificação, de todo um elenco de tecnologias já existentes, visando a sua utilização em FMC's. São exemplos as sugestões relacionadas às unidades de transporte e manipulação e aos CNC's e seus meios de comunicação.
- b) uma sugestão de terminologia associada aos diversos conceitos relacionados à automação da manufatura. Esta contribuição surgiu a partir das necessidades impostas pelas características do trabalho e da constatação das inconsistências e carências da terminologia até então empregada na literatura.
- c) um enfoque prioritário na padronização: apesar das iniciativas ainda incipientes de padronização em relação aos principais aspectos associados às FMC's, procurou-se aproveitar ao máximo os esforços atualmente desenvolvidos. Destacam-se os conceitos aproveitados do projeto STEP e do padrão BCL. Procurou-se também trazer à discussão, e sugerir encaminhamentos de soluções possíveis, àqueles aspectos onde novos padrões possam ser úteis no desenvolvimento das FMC's. São exemplos as sugestões relacionadas às classes de máquinas, paletes e estrados, ferramentas, redes de comunicação, e assim por diante.
- d) a concepção de um modelo de FMC inteligente, que pode evoluir, de forma modular e com flexibilidade suficientes, para

adequar-se às diversas circunstâncias de cada projeto de implantação. Destaque para o papel do operador que, nesta concepção, assume o papel de emulador de funções automatizadas enquanto estas não estão disponíveis e, principalmente, é o responsável último pela gestão da produção da FMC.

Existe, naturalmente, uma certa distância entre a idealização e a prática. Várias dificuldades se interpõem na consecução dos objetivos de integração. O desenvolvimento do trabalho colocou em evidência várias destas dificuldades, dentre as quais se destacam:

- as limitações dos hardware e software comercialmente disponíveis. O caso dos CNC's é um exemplo bem representativo.
- a falta de padronização, a superposição, e a imposição de diferentes padrões proprietários, que acabam retardando ou mesmo inviabilizando o aproveitamento de recursos importantes para a FMC. São exemplares os problemas relativos aos sistemas operacionais, paletes, interfaces CAD/CAPP/CAM e assim por diante.
- a necessidade de troca eficaz de informações entre áreas cujas tecnologias ainda não se encontram devidamente amadurecidas e que se vêem forçadas a fazer uso de padrões de comunicação ainda não consolidados. O problema se manifesta em todos os níveis da hierarquia corporativa e são mais sensíveis no nível de chão de fábrica.
- o perfil inadequado da mão de obra disponível para assumir a responsabilidade pelo gerenciamento de uma estrutura produtiva automatizada que transfere para o operador responsabilidades tradicionalmente assumidas por técnicos de nível hierárquico superior.

Dentre os diversos tópicos tratados ao longo deste trabalho, alguns se mostraram interessantes para rápida implementação, por se

tratarem de soluções relativamente simples, como no caso daquelas relacionadas à tecnologia de grupo ou às unidades de transporte e manipulação.

Outros tópicos demandarão um trabalho suplementar de planejamento para que sua implementação seja eficaz, principalmente quando tratam de migração de sistemas convencionais para automáticos e, depois, desses para inteligentes. São bons exemplos, em função da importância, a implantação das redes locais de comunicação ou de suas funções de DNC, ou ainda a estruturação das unidades de inspeção e de identificação.

Por último, restam aqueles tópicos que ainda imporão estudos mais aprofundados para que suas tecnologias tornem-se disponíveis. Dentre as sugestões levantadas, algumas se destacaram pela sua importância e oportunidade para estudos futuros:

- desenvolvimento de uma estrutura de bases de dados distribuída, integrada e compatível com as necessidades do ambiente de engenharia, em geral, e das FMC's, em particular;
- estudo de uma implementação de rede local de baixo custo que atenda aos requisitos impostos pelo ambiente de chão de fábrica e pelas FMC's;
- criação de interfaces de comunicação mais inteligentes para os CNC's, visando eliminar (ou, pelo menos, minimizar) os estrangulamentos que hoje representam na integração da FMC's;
- desenvolvimento de técnicas de identificação, e inspeção sem contato que atendam às necessidades de flexibilidade e agilidade demandadas pelas FMC's, incluindo o aproveitamento das tecnologias atualmente em desenvolvimento de imagens digitalizadas para estas finalidades;
- aperfeiçoamento das técnicas de monitoramento de desgaste de ferramentas de forma a torná-las acessíveis ao uso em FMC's;

- projeto de dispositivos flexíveis, manuais e automáticos, adequados às aplicações de FMC's para peças prismáticas e de revolução;
- integração dos esforços desenvolvidos nas áreas de Tecnologia de Grupo, CAD, CAPP e CAM dentro dos conceitos subjacentes do Modelo de Dados de Produto (STEP).

Uma coletânea de outros desenvolvimentos e pesquisas, mais específicos, poderiam ainda ser listados a partir da leitura deste trabalho. Serão, entretanto, deixados à oportunidade dos objetivos de outros estudos futuros para que venham a ser avaliados quanto a sua conveniência.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Voelker, J. UNIX wars may unsettle users. IEEE Spectrum, p. 37-9, january 1989.
- [2] - Estatísticas da indústria, 1988-89. Dirigente Industrial, p. 7-10, maio 1989.
- [3] Browne, M. Understanding CIM and making it work. Production Engineer, p. 20-2, dec.1985.
- [4] Poths, W. From problem definition to implementation. in: Computer-Integrated Manufacturing: communication/standardization/ interfaces, Bernold, T.; Guttropf, W. (Ed.), p. 165-90, North-Holland, 1988.
- [5] Groover, M.P. Automation, production systems and Computer-Integrated Manufacturing. Prentice-Hall, 1987.
- [6] Lepikson, H.A. Planejamento de sistemas automatizados - uma visão de CIM. Publicação interna, pós-graduação Engenharia Mecânica, UFSC, 38p., maio 1987.
- [7] Mohr, H.B. Avaliação de desempenho de rede PDV em ambiente industrial. Tese (doutorado em engenharia mecânica), 118 p., UFSC, abril 1989.
- [8] Schroder, G. Communication and standardization in the context of a global CIM concept. in: Computer-Integrated Manufacturing: communication/standardization/ interfaces, Bernold, T.; Guttropf, W. (Ed.), p. 1-26, North-Holland, 1988.
- [9] Marcombo (Ed.) Sistemas CAD/CAM/CAE- diseño e fabricacion por computador. Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, 925 p., 1985.
- [10] Swyt, D.A. CIM, data and standardization within NBS AMRF. in: Proceeding of International Conference on Standards and Communications, Zurich, Switzerland, 13p., november 1986.
- [11] Groover, M.P. Zimmers, E.W. CAD/CAM- Computer-aided design and manufacturing. Prentice-Hall, 489 p., 1984.

- [12] Bernold, T. Guttropf, W. (Ed.) CIM- Communication/ standardization/ interfaces. North-Holland, 213 p. 1988.
- [13] Ferdows, K. Lindberg, P. FMS as indicator of strategic role of manufacturing. International Journal of Production Research, v. 25, n. 11, p. 1563-71.
- [14] Eversheim, W. Schmitz-Mertens, H.J. Integration of Flexible Manufacturing Systems into Production planning and control of small to medium size companies. in: Annals of the CIRP, v. 371, p. 429-32, 1988.
- [15] Hartley, J. FMS at work. IFS (Publications) 285 p., 1984.
- [16] Warnecke, H.-J. Steinhilper, R. (Ed.) Flexible Manufacturing Systems. IFS (Publications), 319 p., 1985.
- [17] Doll, W.J. Vonderembse, M.A. Forging partnership to achieve competitive advantage: The CIM challenge. MIS Quaterly, p. 205-22, june 1987.
- [18] McLean, C.R. Brown, P.F. Automated Manufacturing Research Facility - AMRF. in: IFIP W.G. 5.7 Working Conference on New Technologies for Production Management Systems. Tokyo, 5 p., october 1986.
- [19] NMTBA Safety requirements for manufacturing systems /cells. Draft- American National Standard B11.20-19XX., Subcommittee B11.20 of NMTBA - The Association for Manufacturing Technology, january 1990.
- [20] ISO ISO Standards Handbook 7- Numerical Control of Machines. ISO- International Standards Organization, 1980.
- [21] ISO ISO Standards handbook 5- Machine tools. ISO- International Standards Organization, 1980.
- [22] ISO ISO Standards handbook 9- Data processing Software. ISO- International Standards Organization, 1982.
- [23] ISO ISO Standards handbook 8- Data processing hardware. ISO- International Standards Organization, 1982.

- [24] ISO
Statistics- vocabulary and symbols.
International Standard ISO 3534, 46p.,
1977
- [25] Bessant, J.;
Haywood, B. Flexibility in Manufacturing Systems.
OMEGA, v. 14, n. 6, p. 465-73, 1986.
- [26] Wolper, J.T. A new type of FMS: it's design, it's
efficiency, it's feasibility.
International Journal of Production
Research, v. 25, n.11, p. 1611-24,
1987.
- [27] Kuziak, A. Flexible Manufacturing Systems: a
structural approach. International
Journal of Production Research, v.23,
n. 6, p. 1057-73, 1985.
- [28] Wemmerlov, U.
Hyer, N.L. Research issues in cellular
manufacturing. International Journal of
Production Research, v.25, n. 3, p.413-
31, 1987.
- [29] Nys, D.A.
et al. Selection of the optimum equipment
configuration for Flexible
Manufacturing Systems. Soviet Engin.
Research, v. 3, n. 6, p. 59-62, 1985.
- [30] Kinney, H.D. Jr.
McGinnis, L.F. Manufacturing cells solve material
handling problems. Industrial
Engineering, p. 54-60, august 1987.
- [31] Arbel, A.
Seidmann, A. Performance evaluation of Flexible
Manufacturing Systems. IEEE
Transactions. on Systems, Man and
Cybernetics, p. 606, v. SMC14, n. 4,
july/august 1984.
- [32] Puente, E.A.
Aracil, R. FMS: Implementacion e integracion.
Escuela Tecnica Superior de Ingenieros
Industriales, DISAM, Universidad
Politecnica de Madrid, 23p., 1986.
- [33] Black, J.T. Cellular manufacturing systems reduce
set-up time, make small lot production
economical. Industrial Engineering, p.
36-48, november 1983.
- [34] Castro, J.T. Fabricação assistida por computador.
Eletricidade, n. 232, p. 87-99, 1987.
- [35] Saul, G. Flexible Manufacturing System is CIM
implemented at shop floor level.
Industrial Engineering, p. 35-9, june
1985.

- [36] O'Grady, P.
Menon, U. A concise review of Flexible Manufacturing Systems and FMS literature. Computers in Industry, n. 7, p. 155-67, 1986.
- [37] Gershwin, S.B.
Hildebrant, R.
Suri, R. A control perspective on recent trends in manufacturing systems. IEEE Control Systems Magazine, p. 3-15, april 1986.
- [38] Maimon, O.Z. Real-time operational control of Flexible Manufacturing Systems. Journal of Manufacturing Systems, v. 6, n. 2, p. 125-136, 1986.
- [39] Buzacott, J.A.
Yao, D.D. Flexible Manufacturing Systems: a review of analitical models. Management Science, v. 32, n. 7, p. 890-905, july 1986.
- [40] Laduzinsky, A.J. As serial communications buses proliferate, will standards develop? Control Engineering, p. 51-2, oct. 1985.
- [41] Parrish, D.J. Opening a dialog between FMS and CIM. Mechanical Engineering, p. 70-6, may 1988.
- [42] KEARNEY-TRECKER KT's world of advanced manufacturing technologies. CIM Technology, Kearney-Trecker report, 10 p., 1984.
- [43] Wright, P.K.
Bourne, D.A. Manufacturing Inteligence. Addison-Wesley, 1988.
- [44] Simhon, M. Princípios dos sistemas flexíveis. Máquinas e Metais, p. 42-9, jan/fev 1986.
- [45] Choobineh, F. A framework for the design of FMC. International Journal of Production Research, v. 26, n. 7, p. 1173-82, 1988.
- [46] Leite, J.R.E.
et al. Aspectos de implementação do protocolo aplicativo RS-511. in: Anais do 3o CONAI, São Paulo, p. 191-200, 19-23 setembro 1988.
- [47] Kuziak, A. (Ed.) Modeling and design of FMS. Elsevier, 431 p., 1986.
- [48] Kinney, H.D. Jr.
McGinnis, L.F. Design and control of manufacturing cells. Industrial Engineering, p. 28, october 1987.

- [49] Stanislawski, M.P. Integrated cellular manufacturing. SME Technical Paper, MS85-915, 20p, 1985.
- [50] Randhawa, S.U. Bedworth, D.P.E. Factors identified for use in comparing conventional & Flexible Manufacturing Systems. Industrial Engineering, p. 40-4, june 1985.
- [51] Carvalho, W.M. CIM- Introdução à manufatura celular. Experiência da Metal-Leve. in: Anais do 7ª SCNB- Seminário de Comando Numérico p. 01.01-36., 11-13 agosto 1987.
- [52] Montevechi, J.A. Tecnologia de grupo aplicada ao projeto de Células de Manufatura. Dissertação (mestrado em engenharia Mecânica), UFSC, 147 p. julho 1989.
- [53] Berry, D. Distributed intelligence in process control. Control Engineering, p. 62-4, may 1987.
- [54] Ralston, D.A.S. Ward, T.L. Adaptative control of machine tools: the past and projected role of numerical control computers. Computer Ind. Engineering, v. 14, n. 2, p. 85-94, 1988.
- [55] Ladwig, R. Perrow, M. The benefits of distributed intelligence. Mechanical engineering, p. 42-4, october 1987.
- [56] Chang, T.-C. Wysk, R.A. An introduction to automated process planning. Prentice-Hall, 239 p., 1985.
- [57] Fischer A. Master computers for modern Flexible Manufacturing Systems. Industrial & Production Engineering, n. 2, p. 82-6, 1984.
- [58] Pfeifer, T. Measurement and quality control in CIM. in: VII CUBEM, 6p, dezembro 1988.
- [59] - Integrated Q.A.: closing the CIM loop [American Machinist special report]. American Machinist, p.137-55, april 1985.
- [60] Krepchin, I.P. FMS: full of promisses, full of pitfalls. Modern Materials Handling, p. 85-90, august 1987.

- [61] Hirai, H.
et al. Development of automated Flexible Manufacturing Systems for medium variation and medium volume production. in: Annals of the CIRP, v. 37/1, p. 461-4, 1988.
- [62] Gould, L. Ensuring the flexibility of an FMS. CIM Review, p. 61-5, winter 1987.
- [63] Jones, R.H.
et al. Robot system hazard assessment using event trees. in: Modelling and Design of FMS, Kuziak, A. (Ed.), Elsevier p. 111-34, 1986.
- [64] Milde, J.
Kuhn, W. Flexible one-off production and low volume manufacturing. in: Computer-Integrated Manufacturing communication/standardization/ interfaces, Bernold, T.; Guttropf, W. (Ed.), p. 137-52, North-Holland, 1988.
- [65] Cavalcanti, D.B.
Lepikson, H.A. Coleta e transporte de dados e programas no chão de fábrica. in: Anais do 9o. SCNB-Seminário de Comando Numérico. São Paulo p. 15.01.-11, 8-10 agosto 1989.
- [66] Warnecke, H.-J. FMS- Research viewpoint. in: Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies, Kuziak, A. (Ed), North-Holland, p. 1-12, 1985.
- [67] Asfahl, C. R. Many subtle pitfalls of Automating Production lines can be predicted, sidestepped. Industrial Engineering, P. 34-42, may 1986.
- [68] O'Grady, P.J.
Bao, H.
Lee, K.H. Issues in intelligent cell control for Flexible Manufacturing Systems. Computers in Industry, v. 9, p. 25-36, 1987.
- [69] Bartos, F.J. Cell and area controls look for better software links. Control Engineering, p. 65-67, may 1989.
- [70] Holanda F.A.B. Novo dicionário Aurélio. Nova Fronteira, 2a. ed., 1986.
- [71] INGERSOLL
ENGINEERS Integrated manufacturing. Springer-verlag., 88 p., 1985.
- [72] DEMAG Demag Fordertechnik Report. Mannesmann Demag, n. 1/88, 131 p., 1988.

- [73] Kumara, S.;
Ham, I. Database considerations in manufacturing systems' integration. Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, v. 4, n. 3/4, p. 601-17, 1988.
- [74] McLean, C.R. An architecture for Intelligent manufacturing control. in: Proceedings of Summer 1985 ASME Conference, Boston, MA, 7p., august 1985.
- [75] Musgrave, B. Network management: keeping the connection. Datamation, p. 98-107, september 1, 1988.
- [76] - Standards for Advanced Manufacturing Technology - AMT. Electrotechnology, p. 15-21, january 1988.
- [77] Krepchin, I.P. Can standards ease automation confusion?. Modern Materials Handling, p. 97-100, january 1987.
- [78] Kishinami, T.
Kanai, S.
Saito, K. An integrated approach to CAD/CAPP/CAM based on cell-constructed- numeric-model (CCM). Robotics & Computer-Integrated manufacturing, v. 3, n. 2, p.215-20, 1987.
- [79] Tozzi, C.L. PAC- Projeto Auxiliado por Computador. Ed. Papyrus, 168 p., 1986.
- [80] Savi, V.M. Projeto Assistido por Computador para sistemas de controle: especificação e projeto de um pacote. Dissertação (mestrado em engenharia Eletrica), UFSC, 1987.
- [81] Hopp, T.H. CAD - directed inspection. in: Annals of 34th CIRP general assembly, Madison, WS, v. 33/1, 15p., august 1988.
- [82] Moncarz, H.T. Architecture and principles of the inspection workstation. NBS internal report. NBSIR 88-3802, 49p. june 1988.
- [83] Rüegg, A.
Reuker, H.J. The importance of the interfaces between CAD,CAM,CNC for the technology. in: Annals of the CIRP, v. 371, p. 455-60, 1988.
- [84] Hopp, T.H.
Lan, K.C. A hierarchical model-based control system for inspection. ASTM Special technical testing Publication 862, p. 169-87, 1985.
- [85] Rosenbaum, J.D. A Propitious Marriage: CAD and Manufacturing. IEEE Spectrum, p. 49-52, may 1983.

- [86] Henderson, M.R.
Musti, S. Automated group technology part coding from a three-dimensional CAD database. Transactions of ASME, v. 110, p. 278-87, august 1988.
- [87] Klute, M. Procedures in soft developm. for integration of complex applications in manufacturing in: Computer-Integrated Manufacturing: communication/standardization/ interfaces, Bernold, T.; Guttropf, W. (Ed.), p. 105-16, North-Holland, 1988.
- [88] Beeby, W.D. The Heart of Integration: a sound data-base. IEEE Spectrum, p. 44-8, may 1983.
- [89] Kochan, D. Flexible Manufacturing Systems and CAD/CAM evaluation and selection of systems. Computers in Industry, v. 8, p. 201-7, 1987.
- [90] Gayman, D. CAD/CAM opens up. Manufacturing Engineering, p. 53-60, february 1986.
- [91] Chan, B.T.F. ROMAPT: a new link between CAD and CAM. Computer-Aided Design, v. 14, n. 5, p. 261-6, september 1982.
- [92] Newton, M.J.
Hurst, K.S. CAD data communications- an update. Computer-Aided Engineering Journal, p. 5-8, february 1988.
- [93] Lambourne, E.B. Towards integration of computer-aided design, manufacture and production management. Computer-Aided Engineering Journal, p. 240-4, december 1988.
- [94] Spinosa, J.E.J. Um sistema gráfico interativo para matrizes de solados injetados. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica), UFSC, 150 p., dezembro 1989.
- [95] Owen, J.
Bloor, M.S. Neutral formats for product data exchange: current situation. Computer-Aided Design, v.19, n. 8, p.436-43, october 1987.
- [96] Truslove, K.C.E. The implications of tolerancing for computer-aided mechanical design. Computer-Aided Engineering Journal, p. 79-85, april 1988.
- [97] Joormann, O.
Teunis, G. The Application of CAD/CAM systems at Volkswagen. Computers & Graphics, v. 10, n. 4, p. 317-25, 1986.
- [98] Brody, H. CAD meets CAM. High technology, p. 12-8, may 1987.

- [99] Bell, R. Machine planning: its role in
Young, R.I.M. generation of manufacturing code from
solid model descriptions. International
Journal of Production Research, v. 27,
n. 5, p. 847-67, 1989.
- [100] Deitz, D. The power of parametrics. Mechanical
Engineering, p. 58-64, january 1989.
- [101] Kerr, S. Document interchange reigns at DoD.
Datamation, p. 81-4, november 15, 1988.
- [102] Magalhães, L.P. Computação Gráfica. Ed. Papyrus, 196
p., 1986.
- [103] Shuey, D. PHIGS: a graphic platform for CAD
application development. Computer-Aided
Design, v.19, n. 8, p.410-7, october
1987.
- [104] Sparks, M.R. Computer graphics language bindings:
Gallop, J.R. programmer interface standardization.
Computer-Aided Design, v.19, n. 8, p.
418-23, october 1987.
- [105] Noll, S. Approach to solving the compatibility
Poller, J. problem between GKS & PHIGS. Computer-
Rix, J. Aided Design, v.19, n. 8, p.456-64,
october 1987.
- [106] Scheer, S. Padronização de sistemas gráficos no
Gattass, M. projeto assistido por computador in:
COBEM, p. 469-72.
- [107] Mayer, R.J. IGES- one answer to problems of CAD
database exchange. Byte, p. 209-14,
june 1987.
- [108] Rehwald, P. VDAFS- interface to transfer surface
description data between CAD systems.
Computer & Graphics, v. 9, n. 1, p. 69-
70, 1985.
- [109] Bey, I. The CAD*I interface for solid model
Gengenbach, U. exchange. Computers & Graphics, v. 12,
n. 2, p. 181-90, 1988.
- [110] Brandli, N. Exchange of solid models: current state
Mittelstaedt, M. and future trends. Computer-Aided
Design, v.21, n.2, p. 87-96, march
1989.

- [1111] Hocken, R.J. (Ed.) Report on Standards and specifications for rapid acquisition of manufactured parts. National Bureau of Standards Report for U.S. NAVY, 137p., oct. 1985.
- [112] Waxman, I.R. The design automation standards environment. in: 24th ACM/IEEE Design Automation Conference, p. 559-61, 1987.
- [113] - Database management: gateway to CIM. [American Machinist Special Report]. American Machinist, p. 82-8, oct. 1987.
- [114] Wilkinson, D. Hallam, R. A study of product data transfer using IGES. Computer-Aided Engineering Journal, p. 131-6, june 1988.
- [115] Kuziak, A. (Ed.) FMS: Methods and Studies. North-Holland, 408 p., 1986.
- [116] Sartori, L.G. Manufacturing information systems. Addison-Wesley, 284 p., 1988.
- [117] Zdeblick, W.J. Process Design by Computer. IEEE Spectrum, p. 56-8, may 1983.
- [118] Chang, T.-C. Advances in CAPP. NBS Internal Report GCR-83-441, 135 p. july 1983.
- [119] Alting, L. Zhang, H. Computer Aided Process Planning: the state-of-art survey. International Journal of Production Research, v. 27, n. 4, p. 553-85, 1989.
- [120] Pande, S.S. Palsule, N.H. GCAPPS- a computer-assisted generative process planning system for turned components. Computer-Aided Engineering Journal, p. 163-8, august 1988.
- [121] Czer, I.; Toth, T. Computer-aided technological Process planning: methods, systems and application experiences. in: Modelling and Design of FMS, Kuziak, A. (ed.), Elsevier, p. 249-85, 1986.
- [122] Gallagher, C.C. Knight, W.A. Group technology production methods in manufacture. John Willey & Sons, 91p., 1986.
- Database considerations in manufacturing systems integration. Robotics & Computer-Integrated manufacturing, v. 4, n. 3/4, p. 571-83, 1988.
- [123] Tu, J. Applying group technology in the AMRF. NBS Internal Technical Paper, 19p., 1986.

- [124] Bloom, H.M. CIM architecture of NBS/ AMRF. NBS Internal Presentation Paper, 32p, march 1988.
- [125] Kuttner, B.
Majcher, D. Automating NC tool path generation. Manufacturing Engineering, p. 79-80, may 1988.
- [126] Tuffentsammer, K. The influence of NC flexibility on the concept group technology in: Annals of the CIRP, V. 32/1, p. 411-5, 1983.
- [127] Shishov, G.A.
Mikhael, S.Y.
Khrundin, V.I. Modular system for manufacturing process development. Materials and Manufacturing Technology, p. 30-7, Allerton Press, 1985.
- [128] Knight, D.O.
Wall, M.L. Using Group Techology for improving communication and coordination among teams of workers in Flexible Manufacturing Cells. Industrial engineering, p. 28-34, january 1989.
- [129] Dale, B.G.
Russell, P. Production control systems for small group production. Omega, v. 11, n. 2, p. 175-85, 1983.
- [130] ISO STEP- standard of Exchange of product model data. ISO TC 184/SC4 WG1 preliminary document, 936 p., oct.1988.
- [131] Glatz, D. Standardized CNC for wide range of grinding applications. Industrial & Production Engineering, v. 12, n. 3, p. 63-5, 1988.
- [132] Kochan, A. A few lessons for suppliers. The FMS Magazine, p. 185-8, october 1985.
- [133] Kramer, T.R.
Jun, J.-S. Software for an automated machining workstation. in: 1986 International Machine Tool Show Technical Conference, Chicago, I., 34p., september 1986.
- [134] Hammer, H. New solutions to flexible automation of metal-cutting operations. Industrial & Production Engineering, n. 2, p. 76-81, 1984.
- [135] Schraft, R. D.
Schuler, J. Robot Applications in FMS. in: Flexible Manufacturing Systems. Warnecke, H.J.; Steinhilper, R. (Ed.), p. 205-20, IFS Publ., 1985.

- [136] Barfield, W. et al. Human-computer supervisory performance in the operation and control of Flexible Manufacturing Systems. in: Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies, Kuziak, A. (Ed), North-Holland, p. 377-407, 1986.
- [137] Parker, P.D. Aspects of safety in an advanced handling system. in: Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, v.202, n. B4, p. 247-53, 1988.
- [138] Hwang, S.-L. et al. Integration of humans and computers in the operation and control of FMS. International Journal of Production Research, v. 22, n. 5, p. 841-56, 1984.
- [139] Warnecke, H.J. Schraft, R.D. Industrial robots- Application Experience. IFS Publications, 298 p., 1982.
- [140] Gabor, H. Surgem novos sistemas, cada vez mais seguros [fixação de ferramentas]. Máquinas e Metais, p. 30-6, maio 1988.
- [141] Moore, J. Chang, T.-C. Control of a quick turnaround cell- an integrated CAD and CAM System. Computers Ind. Engineering, v. 15, n. 1-4, p. 315-23, 1988.
- [142] - Design for modular automation. Modern Materials Handling, p. 48-50, june 1989.
- [143] Hannam, R. G. Alternatives in the design of Flexible Manufacturing Systems for prismatic parts. in: Proceedings Institution of Mechanical Engineers, v. 199, n. B2, p.111-9, 1985.
- [144] Kiran, A.S. Krason, R.J. Automating tooling in a FMS. Industrial Engineering, p. 52-7, april 1988.
- [145] - Proper planning makes most equipment modular. Modern Materials Handling, p. 51-4, june 1989.
- [146] Brookes, K. Get a better grip on workholding. Metalworking Production, p. 84-97, june 1987.
- [147] Meredith, J. Automation strategy must give careful attention to the firm's infrastructure. Industrial Engineering, p. 68-73, may 1986.

- [148] Powell, A. Use of AGV's grows with FMS. Production Engineer, p. 16-8, february 1986.
- [149] Herndon, L.R. RS-494: the new standard input format for NC machines. in: 21st Meeting and Technical Conference of Numerical Control Society, p. 236-40, Long Beach, CA, march 1984.
- [150] Veiga, C.L.N. et al. Ensaio de aceitação com peça modelo em um centro de usinagem. in: Anais X COBEM, Rio de Janeiro, RJ, p. 635-82, dezembro 1989.
- [151] Cederqvist, A. Cutting tool development for automation and FMS. in: Proceedings of 4th International Conference on Flexible Manufacturing Systems, Stockholm, p. 187-197, IFS (conferences), 1985.
- [152] Blomberg, S. A usinagem de metais em indústrias automatizadas. in: Anais do 7ª SCNB-Seminário de Comando Numérico p. 23.01-29., 11-13 agosto 1987.
- [153] Masserano, I. Unmanned turning cell. Industrial & Production Engineering, n. 2, p. 64-6, 1984.
- [154] Gutmacher, H. Maximum flexibility ensured by minimum set-up time. Industrial & Production Engineering, v. 13, n. 2, p. 13-6, 1989.
- [155] Cable, H. A FMS tooling and fixturing package that provides flexibility. Carbide and tool Journal, p. 13-21, sept./oct. 1986.
- [156] Thompson, B.S.
Gandhi, M.V.
Desai, D.J. Workpiece-fixture interactions in a compacted fluidized-bed fixture under various loading conditions. International Journal of Production Research, v. 27, n. 2, p. 229-46, 1989.
- [157] Slocum, A.H.
Peris, J. Development of a flexible automated fixturing system. Society of Manufacturing Engineers technical Paper, MR 86-126, 18 p. 1986.
- [158] Linton, H.C.
Davies, J.B.C.
Muir, T.G.J. Programable fixturing for Flexible Manufacturing Systems. Institute of Mechanical Engineers Technical Publication C 360/86, p. 31-8, 1986.

- [159] Ying-Chao, X. et al. A Modular Fixturing System for Flexible Manufacturing. in: Flexible Manufacturing Systems. Warnecke, H.J.; Steinhilper, R. (Ed.), p. 227-36, IFS (Publications), 1985.
- [160] Bradt, L.J. Allred, J.K. Materials-handling systems. IEEE Spectrum, p. 74-7, may 1983.
- [161] Vinod, B. Solberg, J.J. Performance models for unreliable Flexible Manufacturing Systems. Omega, v.12, n. 3, p. 299-308, 1984.
- [162] Vinod, B. Solberg, J.J. The optimal design of Flexible Manufacturing Systems. International Journal of Production Research, v. 23, n. 6, p. 1141-51, 1985.
- [163] MCP Properties and uses of low melting point alloys. Technical Catalog of MCP-Mining & Chemical Products Ltd, Embley, GB, 1987.
- [164] Grosseschallau, W. Materials Handling an logistics-Demands for efficiency and flexibility. in: Modelling and Design of FMS, Kuziak, A. (Ed.), Elsevier p. 67-98, 1986.
- [165] Yao, D.D. Buzacott, J.A. Modelling the performance of Flexible Manufacturing Systems. International Journal of Production Research, v. 23, n. 5, p. 945-59, 1985.
- [166] Cheng, T.C.E. Simulation of Flexible Manufacturing Systems. Simulation, p. 299-302, december 1985.
- [167] Szendrovits, A.Z.; Drezner, Z. Optimizing multi-stage production with constant lot size and varying numbers of batches. Omega, v.8, n.6, p. 623-9, 1980.
- [168] Ozden, M. Simulation study of multiple load-carrying automated-guided vehicle in Flexible Manufacturing Systems. Int. Journal of Production Research, v. 26, n. 8, p. 1353-66, 1988.
- [169] - Flexible conveying. Production Engineer, p. 18-9, april 1987.
- [170] Alter, I. Lenz, E. A free ranging AGV for an FMC. in: Annals of the CIRP, v. 37/1, p. 407-11, 1988.

- [171] Mason, F. Managing transfer-line tooling. American Machinist, p. 28-34, jan.1989.
- [172] Sacaguti, A.K. Lepikson, H.A. Análise de interfaces físicas das Células Flexíveis de Manufatura. Publicação interna CERTI/LABMETRO, UFSC, julho 1989.
- [173] Warnecke, H.J. et al FMS applications in Germany- objectives and constraints. in: Modelling and Design of FMS, Kuziak, A. (Ed.), Elsevier p. 409-31, 1986.
- [174] Warnecke, H.-J. Zipse, T. Erkennungssysteme in der Fertigung- eine Komponente eine CIM. WT-Z Ind. Fertigung., n. 75, p. 481-5, 1985.
- [175] Weck, M. Stave, H. Gripper design for an integrated manufacturing and assembly system. Proceedings of 9th International Conference in Developments in Assembly, Automation, p. 439-52, march 1988.
- [176] Schwartz, J. Pallet standard stalled. American Machinist & Automated Manufacturing, p. 78-9, april 1987.
- [177] Primrose, P.L. Leonard, R. Conditions under which Flexible Manufacturing Systems is financially viable. in: Flexible Manufacturing Systems: Methods and, Studies, Kuziak, A. (Ed), North-Holland, p.355-66, 1986.
- [178] Mizutami, T. Hazegawa, K. Survey on industrial automation and robotics. in: Anais do 3o CONAI, São Paulo, p. 129-48, 19-23 setembro 1988.
- [179] Badami, V.V. Robots: new sensors promise more flexibility. I&CS, p.27-31, july 1986.
- [180] Jablonowsky, J. Handchangers for robots. American Machinist, p. 87-89 may 1984.
- [181] Franck, G.L. Flexible inspection systems for automated manufacturing. in: Proceedings of 8th International Conference of Automated Inspection and Product Control, p. 213-24, june 1987.
- [182] Considine, D.M. Process instruments and control handbook. Mcgraw-Hill, 3rd Ed., 720 p., 1979.
- [183] Fetter, J. The use of bar code technology in production oriented applications. Production and Inventory Management, p. 1-20, 4th quarter, 1984.

- [184] - Measure the process, not the part. American Machinist & Automated Manufacturing, p. 64-5, january 1988.
- [185] Sotoyo, J.C. Automatização do CEP dimensional nos processos de fabricação mecânica. Dissertação (Mestrado em engenharia Mecânica), UFSC, 102 p., agosto 1987.
- [186] DATAMYTE DataMyte Handbook: a practical guide to computerized da acquisition for statistical quality control. DataMyte Corporation, 1987.
- [187] Schultz, W.J. Process Control, capability and improvement. IBM Quality Institute Handbook, 462p., 1984.
- [188] - Statistical Quality Control. American Machinist special report, American Machinist, p. 97-108, january 1984.
- [189] Veiga, C.L.V. Medição por coordenadas com comando numérico- método diferencial. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica), UFSC, 11p., fevereiro 1986.
- [190] Birman, S. SPC for machining. American Machinist, p.49-55 april 1989.
- [191] Doebelin, E.O. Measurement Systems- Application and Design. McGraw-Hill, 772 p., 3rd ed. 1986.
- [192] Bollinger, J.G. Duffle, N.A. Sensors and actuators. IEEE Spectrum, p. 70-3, may 1983.
- [193] - A new look at inspection. [American Machinist special report]. American Machinist, p. 104-26, august 1986.
- [194] Gunther-Hansen, S. In-process dimensional inspection of truck cabs with measuring robot. in: Procendings of 4th International Conference on Flexible Manufacturing Systems, Stockholm, p. 179-186, IFS (conferences), 1985.
- [195] PCT SCADIX: multiuser, multitasking control software for PC's and process control. Technical Publication of PCT-Pioneering Control Technologies, Houston, TX, 8 p., 1989.

- [196] - Ideas to get systems running. [American Machinist special report.] American Machinist, p. 97-116, nov. 1984.
- [197] Rocco, F.O. O uso de sistemas de medição em processo na ferramentaria. Máquinas e Metais, p. 38-46, maio 1989.
- [198] Grieve, R.J.
Smith, G.W. Machine and component specification for Flexible Manufacturing Systems for metal cutting. in: Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies, Kuziak, A. (Ed), North-Holland, p. 59-70, 1986.
- [199] Ellenberger, H. Production integrated coordinate measuring machines. Industrial & Production Engineering, v. 13, n. 2, p. s15-6, 1989.
- [200] Campos, G.A. Adicionais de centro usinagem para composição de um pacote de segurança. in: Anais do 7^a SCNB- Seminário de Comando Numérico p. 18.01-23. 11-13 agosto 1987.
- [201] Pfeifer, T. Controle qualidade computadorizado na fabricação em pequenas séries- aspectos da sistemática de planejamento. I ENATEM, Florianópolis, SC, p. C6.1-6, 29 de setembro- 01 de outubro 1982.
- [202] Dessouky, M.I.
Kapoor, S.G.
DeVor, D.E. Methodology for integrated quality systems. Transactions of the ASME - Journal of Engineering for Industry, v. 109, p. 241-7, aug.1987.
- [203] Sylla, C. Quality assurance systems information requirements planning. Computers Ind. Engineering, v. 15, n. 1-4, p. 302-6, 1988.
- [204] Yasser, A.H.
Elshennawy, A.K. Quality control & inspection-knowledge-based quality control system. Computers Ind. Engineering, v. 15, n. 1.4, p. 331-7, 1988.
- [205] Park, Y.H.
Park, E.H.
Ntuen, C. Study for optional inspection policies in a FMC. Computers Ind. Engineering, v. 15, n. 1-4, p. 307-14, 1988.
- [206] Lundholm, T.
Yngen, M.
Lindstrom, B. Advanced process monitoring- major step towards adaptative control. Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, v. 4, n. 3/4, p. 413-21, 1988.

- [207] Mathias, R.A. Shop floor data monitoring and processing requirements for generative cutter path selection and machining rate optimization. in: 20th Annual Meeting and Technical Conference of Numerical Control Society, p. 77-88, april 10-13, 1983.
- [208] Uehara, K.
Kiyosawa, F.
Takeshita, H. Automatic tool wear monitoring in NC turning. in: Annals of the CIRP, v. 28/1, p. 39-42, 1979.
- [209] Constantinides, N.
Benett, S. An investigation of methods for the on-line estimation of tool wear. Int. Journal of Machine Tools Manufacturing, v. 27, n.2, p. 225-37, 1987.
- [210] Ledergerber, A.L. Automatização flexível na produção por comando numérico. Thyssen Hüeller Ltda. - Publicação Interna, 23 p., 1987.
- [211] PROMETEC Tool and process monitor system. Technical information D120, 1987.
- [212] Mohl, R. Workpiece and tool monitoring, function checking and fault diagnosis in metal-working production. Industrial & Production Engineering, v. 10, n. 1, p. 60-4, 1986.
- [213] Ferrari, A.V.F. Determinação automatizada das medidas de ajustagem das ferramentas em torno de comando numérico. Publicação técnica da Traubomatic Ind. Com., 1987.
- [214] Baxter, R. Bar coding pays off for CASE. Production Engineer, p. 15-7, december 1985.
- [215] Leão, M.L. Aplicação do código de barras na indústria. Máquinas e Metais, p. 12-22, agosto 1986.
- [216] Brown, E. RF data system plays role in increasing quality at VCR plant. Industrial Engineering, p. 46, october 1988.
- [217] Sano, T.
et al. Moving data storage system. in: IEEE IECON '87, CH2484-4/87, p. 934-41, 1987.
- [218] Lindgren, J. Different Techniques for automatic identification in FMS installations. in: Procendings of 4th International Conference on Flexible Manufacturing Systems, Stockholm, p. 175-8, IFS (conferences), 1985.

- [219] McDonald, R.A. Bar code systems enhance productivity of computer systems with real-time mode. Industrial engineering, p. 70-4, november 1985.
- [220] MORRIS, H.M. What goes there? Control Engineering, p. 60-3, october 1985.
- [221] Weber, D.M.
Moodie, C.L. Knowledge-based system for information management in CIM. Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, v. 4, n. 3/4, p. 601-17, 1988.
- [222] Kutcher, M.
Gorin, E. Moving data, not paper, enhances productivity. IEEE Spectrum, p. 84-92, may 1983.
- [223] Merchant, E.M. Production: A Dynamic Challenge. IEEE Spectrum, p. 36-9, may 1983.
- [224] Meister, A.E. Database considerations for Computer-Integrated Manufacturing. Report of the Center for Effective Management, Altana, CA, 9 p., 1987.
- [225] Young, R.E. Software control strategies for use in implementing Flexible Manufacturing Systems. Industrial engineering, p. 88-96, november 1981.
- [226] Dillmann, R. Modular computer controls for manufacturing equipment. Institut für Informatik, Universität Karlsruhe, West-Germany, 61p, 1987.
- [227] Kalkunte, S.C.
et al. Flexible Manufacturing Systems: a review of modeling approaches for design justification. in: Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies, Kuziak, A. (Ed), North-Holland, p. 3-25, 1986.
- [228] Villa, A.
Rossetto, S. Towards a hierarchical structure for production planning and controlling Flexible Manufacturing Systems. in: Modelling and Design of FMS, Kuziak, A. (Ed.), Elsevier p. 209-28, 1986.
- [229] Buzacott, J.A. "Optimal" operating rules for automated manufacturing systems. IEEE Transactions on Automatic Control, v. AC-27, n. 1, p. 80-6, february 1982.
- [230] Sharit, J. Supervisory control of a Flexible Manufacturing System. Human Factors, v. 27, n. 1, p. 47-59, 1985.

- [231] Simões, M.A.S. Ferramentas de projeto, programação e simulação de Células Flexíveis de manufatura. Dissertação de mestrado, UFRJ, dezembro 1986.
- [232] Furlani, C.M. et al. Distributed data system of the Automated Manufacturing Facility of the NBS. in: Annals of 33th IEEE Computer Society International Conference. San Francisco, CA, february 29- march 4, 14p., 1988.
- [233] Froyd, S.G. Relational database- cornerstone of FMS. in: 21st Annual Meeting and Tech. Conf. Numerical Control Society, p. 79-85, Long Beach, Ca, march 1984.
- [234] King, L. Standardizing DBMS technics opens new applications avenues. Hardcopy, p. 43-50, december 1987.
- [235] Kent, D.W. Field bus communications standard: a window of opportunity. New Eletronics, p.53-6, january 1988.
- [236] Wood, G.G. International standards emerging for fieldbus. Control Engineering, v. 2, p. 22-5, october 1988.
- [237] Rybczynski, S. Common memory for the Personal Computer. NIST - National Institute of Standards and Technology Internal Report IR88-3838, 141 p., august 1988.
- [238] Sharit, J. Salvendy, G. A real-time interactive computer model of a Flexible Manufacturing System. IIE Transactions, v. 19, n.2, p. 167-77, june 1987.
- [239] McLean, C.R. Vertical machining Workstation of the AMRF: software integration. in: ASME Symposium on intelligent and integrated manufacturing, Chicago, IL., 16 p., december 1986.
- [240] GRAG MSc Project Team Low-cost modular system of machine-to-computer communication for a Flexible Manufacturing Cell. Cranfield Institute of Technology, Bedford, England, 17p., 1986.
- [241] SIEMENS SICOMP- a software system for FMS. Siemens AG, 20 p, june 1986.
- [242] Date, C.J. An Introduction to database systems. Addison-Wesley, 574 p., 3rd ed. 1981.

- [243] Casanova, M.A.
Moura, A.V. Princípios de sistemas de gerência de bancos de dados distribuídos. Ed. Campus, 355, 1985.
- [244] Rouse, N.E. Managing engineering databases. Machine design, p. 108-12, september 10, 1987.
- [245] Fishwick, P.A.
Blackburn, C.L. Managing Engineering Databases: the relational approach. Computers in Mechanical Engineering, p. 8-16, january 1983.
- [246] Bronsell, D.R. The new era of DBMS integration. Datamation, p.57-8, august 15, 1988.
- [247] Price, R.T.
Golendziner, L.G. Banco de dados para aplicações não convencionais. IV EBAI, Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 165p., janeiro 1989.
- [248] Libes, D.
Barkmeyer, E. The Integrated Manufacturing Data Administration System (IMDAS)- an overview. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 1, n. 1, p. 44-9, 1988.
- [249] Hessinger, P.R. DBMS: adding value to vanilla. Datamation, p. 50-4, march 1, 1987.
- [250] Date, C.J. Where SQL falls short. Datamation, p. 82-6, may 1, 1987.
- [251] Stus, J.M. O marketing e os mitos sobre o desempenho do SQL. Informática Hoje, p. 6-8, 10 outubro 1988.
- [252] Codd, E.F. Fatal flaws in SQL. Datamation, p. 45-8, august 15 [1st part], and p. 71-4, september 1 [2nd part], 1988.
- [253] Chang, K. H.
Edhala, M. Error recovery: a condition-oriented replanning approach. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v. 19, n. 1, p. 130-4, jan./feb. 1989.
- [254] Mendes, M.J. Comunicação fabril e o projeto MAP/TOP. IV EBAI, Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 137 p., janeiro 1989.
- [255] McQuaid, J. Update on PC operating system for control. I&CS- Industrial and Process Control Magazine, p. 50, october 1985.
- [256] Rubin, S. Distributed processing using IBM PC's. Control Engineering, v. 2, p. 11-4, oct. 1988.

- [257] Teschler, L. How PCs are shaping cell control. Machine Design, p. 86-92, feb.25, 1988.
- [258] Wiatrowski, C.A. Using PC-DOS for real-time control. I & CS, p. 51-4, august 1986.
- [259] Putnam, F.A.
Davis, A.W. Comparing Unix and OS/2 operating systems for process control. Control Engineering, p.118-20, april 1989.
- [260] Babb, M. Modcomp's renaissance: new CPU, real-time UNIX. Control Engineering, p. 82-5, june 1989.
- [261] Monteiro, M.A. O sonho da portabilidade completa [UNIX]. Dados e Idéias, p. 14-20, outubro 1988.
- [262] - Open systems: new rallying cry. American Machinist, p. 64-6, jan. 1989.
- [263] Mendes, L.
Moreira, M.E.
Brás, E.S. As vias compartilhadas. PC-Mundo, p. 18-26, abril 1989.
- [264] EPSOFT QNX: sistema operacional multitarefa, multiusuário. Publicação técnica EPSOFT Sistemas, São Paulo, SP, 6 p., 1989.
- [265] Gregoire, J.-C. Putting intelligence in the CNC. in:IEEE IECON, p. 4-8, 1987.
- [266] Smith, M.H. The new role of CNC in Computer Integrated Manufacturing. in: 22nd Annual Technical Conference of Association for Integrated Manufacturing, St. Louis, p. 136-46, may 14-17 1985.
- [267] Edwards, S. What to expect of a general post processor. in: 23rd Annual Technical Conference of Association for Integrated Manufacturing, Minneapolis, p.183-90, may 4-7 1986.
- [268] Smith, G.T. BCL standardizes part program format. in: 23rd Annual Technical Conference of Association for Integrated Manufacturing, Minneapolis, p.101-3, may 4-7 1986.
- [269] Brandley, J. Integration of BCL into an existing DNC system. in: 23rd Annual Technical Conference of Association for Integrated Manufacturing, Minneapolis, p.94-100, may 4-7 1986.

- [270] Whitacre, P. O básico do BCL e a norma EIA RS-494. in: Anais 8^o SCNB, Seminário de Comando Numérico, São Paulo-SP, p. 30.1-23, agosto 1988.
- [271] Smith, M. Putting BCL to work- an implementation guide. in: 23rd Annual Technical Conference of Association for Integrated Manufacturing, Minneapolis, p. 74-93, may 4-7 1986.
- [272] ABNT OSI- Modelo básico de referência. Projeto de norma 21:201.02-001, 113 p., agosto 1987.
- [273] Santos, J. Redes locais. IV EBAl, Ed. Kapelusz, Buenos Aires, 124 p., janeiro 1989.
- [274] McConnell, J. Stepping off the OSI standards bandwagon. Data Communications, p. 133-45, june 1988.
- [275] Iggulden, D. After OSI: Open distributed processing. Telecommunications, p. 38-45, april 1989.
- [276] Giozza, W.F. et al. Redes locais de computadores- tecnologia e aplicações. McGraw-Hill, 399 p., 1986.
- [277] Wood, B. Standards for OSI- present status, future plans. Telecommunications, p. 32-6, march 1988.
- [278] Day, J.D. Zimmermann, H. The OSI reference model. in: Proceedings of the IEEE, v. 71, n. 12, p. 1334-40, december 1983.
- [279] Linington, P.F. Fundamentals of the layer service definitions and protocol specifications. in: Proceedings of the IEEE, v. 71, n. 12, p. 1341-5, december 1983.
- [280] Melendez, W.A. Petersen, E.L. The upper layers of the ISO/OSI reference model (part II). Computer, Standards & Interfaces, n. 5, p. 65-77, 1986.
- [281] Chapin, A.L. McClelland, F.M. (Ed.) The OSI protocol- survey and analysis of the 7 layers. in: Proceedings of the IEEE [12 invited papers] v. 71, n. 12, p. 1365-407, december 1983.
- [282] Musgrave, B. Stacking up LANs. Datamation, p. 56-64, february 15, 1988.

- [283] Mendes, M.J. Redes locais de comunicação em ambiente industrial. Máquinas e Metais, p. 32-52, agosto 1986.
- [284] Mohr, H.B.
Pfeifer, T.
Schneider, C.A. Rede de transmissão de dados em sistemas controle de processos. in: 2o Congresso Latino Americano de Control Automático p. 746-51, Buenos Aires, Agosto 1986.
- [285] Hughes, K. Networks in factory automation: Manufacturing Automation Protocol background and pilot implementations. in: 23rd Annual Technical Conference of Association for Integrated Manufacturing, Minneapolis, p.13-21, may 4-7 1986.
- [286] Mulvey, P.
Sheftic, R. Information flow on the factory floor: A network for automation. Computers in Mechanical Engineering, p. 15-9, july 1986.
- [287] Ang, C.L. Planning a communications system. Production engineer, p. 21-4, feb.1987.
- [288] Till, J. Standard protocols bridge LAN islands as networks go global. Eletronic Design, p. 80-90, may 26, 1988.
- [289] Bolton, T. Update on local area network standards. Industrial & process control magazine, p. 27-31, november 1983.
- [290] Kaminski Jr.,
M.A. Protocols for communicating in the factory. IEEE Spectrum, p. 56-62, april 1986.
- [291] Farowich, S.A. Communicating in the technical office. IEEE Spectrum, p. 63.7, april 1986.
- [292] Mendes, M.J. Redes locais industriais e os projetos de padronização. in: Seminário de Automação Industrial, UFSC/EEL, Florianópolis, p. 19-45, 23 julho 1987.
- [293] Jasany, L.C. MAP: a struggle in the making. Automation, p. 10-4, november 1987.
- [294] Adler, M.B. Manufacturing automation protocol. in: 23rd Annual Technical Conference of Association for Integrated Manufacturing, Minneapolis, p.23-7, may 4-7 1986.

- [295] Herbst, B. How to plan for- and implement- a MAP network in your plant. Control Engineering, p. 62-4, 2nd ed., october 1985.
- [296] Crowder, R. The MAP specification. Control engineering, p. 22-5, 2nd ed., october 1985.
- [297] Schutz, H.A. The Role of MAP in factory integration. in: IEEE transactions on Industrial Eletronics, v. 35, n. 1, p. 6-12, february 1988.
- [298] Nielsen, R. Ethernet performance in harsh industrial environments. Control Engineering, v. 2, p. 27-9, oct. 1988.
- [299] IEC Field-bus standard for use in industrial control systems-Functional Requirements Draft Proposal SC65C/WG6, 16p., july 1986.
- [300] INTEL VLSI solutions for distributed control application. INTEL internal publication NR. 231166-001, 58 p., 1984.
- [301] Ziegler, J. MIL-STD-1553 takes over serial data bus designs. Computer Design, p. 99-102, september 1, 1989.
- [302] Walze, H. Low-cost LAN supplements MAP for real time applications. in: Proceedings of IFAC Low Cost Automation, p. 171-6, Valencia, Spain, 1986.
- [303] - Comparativo entre CNC's e controladores digitais nacionais. Guia de Automação Industrial, Ed. Plano Industrial, p. 21-61, 1988.
- [304] Pinkowitz, D.C. A standard local network for industrial use. Control Engineering, p. 56-7, june 1989.
- [305] Bartos, F.J. Bitbus is here now, but user awareness varies greatly. Control Engineering, p. 84-7, april 1989.
- [306] Warrior, J. Structure and flexibility for fieldbus messaging. Control Engineering, v. 2, p. 18-20, october 1988.

- [307] Aguiar, M.W.C. Farines, J.-M. Field-Bus: análise comparativa de desempenho das principais propostas à padronização internacional. in: Anais do 9o. SCNB- Seminário de Comando Numérico, p. 22.01-21, 8-10 agosto 1989.
- [308] Stallings, W. When one LAN is not enough. Byte, p. 293-8, january 1989.
- [309] Newman, I. Interfaces for applications portability. Telecommunications, p.56-60, april 1989.
- [310] Laurence, N. The use of MMS for remote CNC control. IEEE Trans. on Industrial electronics, v. IE-34, n. 4, pag. 457-62, nov. 1987.
- [311] Sweeton, D.C. Using RS-511 to meet the requirements of real-time communications the in factory. Control Engineering, p. 111-2, november 1986.
- [312] Hagar Jr., M.L. The RS-511 manufacturing message service nears reality for layer seven. Control Engineering, p. 32-4 2nd ed., october 1986.
- [313] Madeira, E.R.M. Mendes M.J. Interfaces de programas de aplicação para o protocolo MMS (RS-511). in: Anais do 3o CONAI, São Paulo, p. 201-9, 19-23 setembro 1988.
- [314] Aguiar, M.W. Veiga, C.L. DNC como aplicação de uma LAN. in: Anais do 7ª SCNB- Seminário de Comando Numérico, p. 05.01-24, 11-13 agosto 1987.
- [315] SIEMENS DNC NCVS Siemens. Siemens Internal Publication, 12p., 1987.
- [316] Muller, P. SINUMERIK numerical controls with computer link. Siemens Power Engineering & Automation VII, n. 5, p. 330-2, 1985.
- [317] Douglass, S. The machine control unit-DNC interface: hardware and software considerations. in: 22nd Annual Technical Conference of Association for Integrated Manufacturing, St. Louis, p. 115-23, may 14-17 1985.
- [318] Firm, D.L. Broad scope DNC. Manufacturing Engineering, p. 49-51, august 1987.

- [319] Weller, H. DNC- information network for manufacturing. Industrial & Production Engineering, v. 12, n.3, p. 69-73, 1988.
- [320] Shapiro, S.F. The role of MAP in factory integration. IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 35, n. 1, p. 6-12, february 1988.
- [321] ITRON (Division of Infotron) LAN's costs comparatives. Byte, p. 162, january 1989.
- [322] Ghosh, B.K. Wusk, A. Models for communication system performance in Computer-Integrated Manufacturing. Computers & Industrial Engineering. v. 16, n. 1, p. 55-64, 1989.