

Capítulo 6

Equipamentos Para a Manufatura e Montagem Flexível

INTRODUÇÃO

Para muitos fabricantes de bens de consumo, a manufatura e a montagem flexível é o único meio no qual eles podem competir eficientemente no mercado com uma grande variedade de produtos. Isto ocorre porque os consumidores têm buscado cada vez mais variedades de produtos feitos sob medida para as suas necessidades em vez de produtos produzidos em massa. Tais produtos variados não podem ser mais produzidos através dos métodos tradicionais de produção em massa, e neste caso sistemas flexíveis de produção são necessários. Sistemas Flexíveis de Manufatura e Montagem (FMS e FAS respectivamente) normalmente consistem de várias máquinas individuais programáveis, onde, de acordo com a demanda para fabricar um dado produto, várias máquinas são interligadas a uma unidade de produção com o auxílio de programas de planejamento e de controle.

Equipamentos de manufatura e montagem, em conjunto com equipamentos de transporte e manuseio, formam os ingredientes para o suporte à produção integrada. Hoje, tais equipamentos caracterizam-se pelo princípio do comando numérico.

Componentes importantes de uma máquina de comando numérico incluem: o controle por computador, os acionamentos e os sistemas de medição. Parâmetros tais como ferramentas, posições, trajetórias, velocidade de corte, avanço, profundidade de corte, forças e momentos, podem ser ajustados automaticamente usando-se o controle por computador. O presente capítulo descreve os equipamentos para a manufatura e montagem flexível.

CONTROLE NUMÉRICO E CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE MÁQUINAS NC

A máquina de comando numérico é um elemento básico necessário para a produção flexível. O termo “comando numérico” (NC) corresponde a uma máquina que é controlada por números obtidos a partir da descrição da peça. Isto permite uma adaptação flexível a peças diferentes, particularmente na produção em pequenos e médios lotes. As instruções geométricas e tecnológicas para a manufatura de uma peça são codificadas em termos de números e armazenados na memória do computador.

A geração de dados para a usinagem automática de uma peça chama-se “programação NC”. A programação produz uma série de registros NC para uma peça. Cada registro contém dados dimensionais para gerar uma peça e informações para a operação da máquina.

As informações de manufatura são alimentadas ao sistema NC. Elas dividem-se em dados geométricos para a ferramenta ou peça (G, X, Y, ...) e dados tecnológicos para o controle da máquina (F, S, T, M).

A geometria é gerada usando-se três tipos de controle: ponto-a-ponto, linha reta e trajetória contínua (figura 6.1). As instruções para o posicionamento individual dos eixos são geradas por um interpolador e enviados através de um amplificador para um atuador.

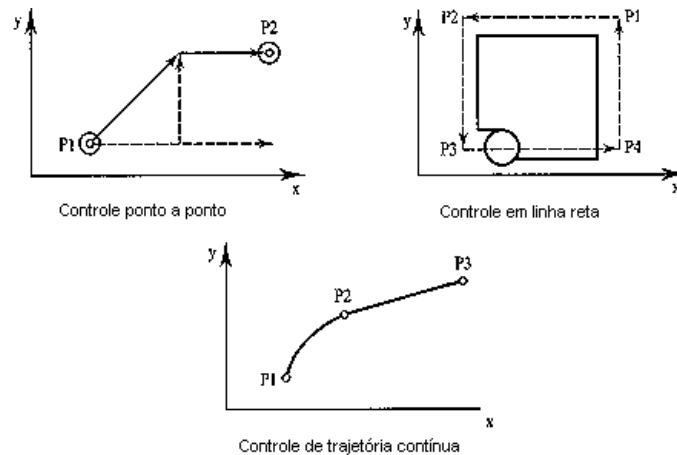


Figura 6.1. Três tipos de controle de posição para máquinas-ferramenta

No caso do controle contínuo da trajetória, exemplos de tipos de interpolação são os seguintes: linear, circular, parabólica, helicoidal e cúbica.

O controle tecnológico influencia vários parâmetros tecnológicos tais como o acionamento da árvore, execução dos avanços, atuação dos equipamentos de mudança de ferramenta, suprimento de fluido de corte, etc.

O nível de processamento NC foi implementado originalmente num circuito com cablagem fixa e relês. Depois, componentes aritméticos sob a forma de algoritmos de processamento foram introduzidos no comando numérico. Este tipo de implementação chama-se CNC.

O projeto de máquinas CNC deve seguir algumas exigências, que são pré-requisitos para o posicionamento e movimentação sobre trajetórias exatas. Essas exigências podem ser subdivididas em dois grupos:

- Exigências gerais (válidas não somente para máquinas CNC), tais como elevada rigidez estática e dinâmica de todos os elementos da máquina, e baixa distorção térmica.
- Exigências para minimizar os efeitos das forças, tais como forças de usinagem e soldagem, com os efeitos das características de transmissão dos elementos da máquina na malha de controle de posição.

Algumas exigências adicionais para os elementos mecânicos são:

- Baixos momentos de inércia nos elementos da máquina que serão acelerados e desacelerados;
- Elevada rigidez, de forma que as frequências mecânicas naturais sejam suficientemente maiores do que a frequência natural do acionamento;
- Elevado amortecimento das forças;

A figura 6.2 mostra um controlador de um eixo linear; os mesmos mecanismos básicos são usados para eixos rotacionais. A malha fechada de controle da velocidade resulta num melhor amortecimento.

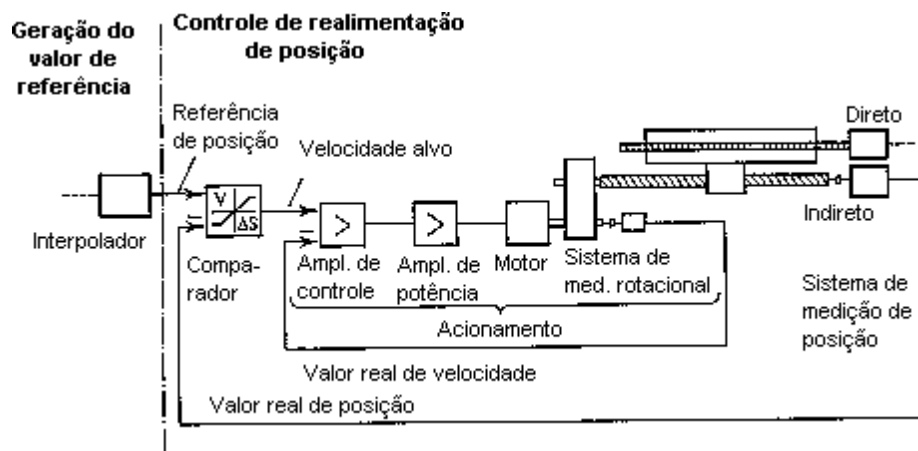


Figura 6.2. Malha de controle de posição de uma máquina-ferramenta

Um exemplo de sensor utilizado em máquinas de comando numérico para o controle de posição da mesa é ilustrado na figura 6.3.

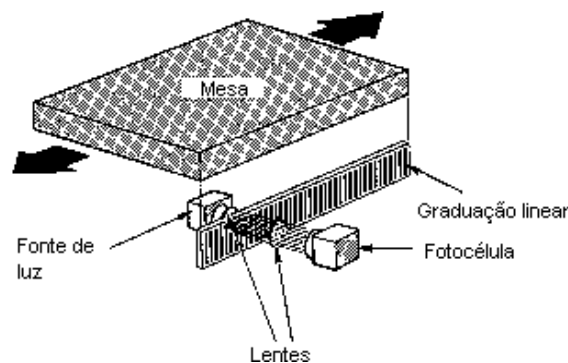


Figura 6.3. Exemplo de utilização de transdutores no controle de posição de máquinas CNC

Além do ajuste automático dos valores geométricos e tecnológicos, máquinas CNC podem conter outras funções automáticas tais como o manuseio e armazenamento de ferramentas e peças, uso de múltiplas ferramentas, medição na máquina, etc. Máquinas individuais também podem ser interligadas. Quando tais funções são levadas em consideração, é possível distinguir entre princípios diferentes de manufatura tais como centros de usinagem, células de usinagem, FMS e linhas de produção.

EQUIPAMENTOS PARA MANUFATURA FLEXÍVEL

Equipamentos para a manufatura flexível (tais como centros de usinagem, células de manufatura, sistemas interligados) são usados para a usinagem automática de peças diferentes. Eles permitem uma adaptação rápida a novas tarefas de usinagem. Razões para a manufatura flexível incluem pequenos tamanhos de lote com curtos tempos de produção, redução no estoque e datas de entrega, considerando-se as restrições de elevada disponibilidade e utilização dos equipamentos. Devido a estas exigências técnicas e econômicas, a manufatura flexível requer um planejamento detalhado e um suporte organizacional efetivo para a sua operação na fábrica.

Centros de Usinagem

Um centro de usinagem CNC é capaz de efetuar várias operações de usinagem e de executar mudanças de ferramentas de um magazine ou de outro dispositivo de armazenamento, de acordo com um programa. O método de manufatura é por lote, e mudanças no lote normalmente implicam numa mudança manual das ferramentas.

Basicamente, dois tipos de centros de usinagem são usados, um para peças rotacionais, e outro para peças prismáticas (figura 6.4). Ambos usam controladores CNC e CLPs. O manuseio de peças pode variar, uma vez que a fixação é frequentemente executada manualmente na máquina. Centros de torneamento são equipados com um ou mais castelos para o armazenamento de ferramentas. Castelos são menos comuns em centros de mandrilamento e fresamento, onde normalmente as ferramentas são trocadas de um magazine na árvore principal. A figura 6.5 ilustra o espaço de trabalho de um centro de torneamento CNC com mudança automática da ferramenta para um castelo múltiplo, e com a facilidade do posicionamento e movimento da árvore principal através de comando numérico. Os eixos controlados simultaneamente são mostrados. Ambos os castelos operam ao longo dos eixos lineares X e Z. Um castelo e a árvore principal são posicionados ao longo do eixo de rotação C, que também é controlado numericamente. O movimento ao longo do eixo Y resulta da combinação das duas rotações, i.e. a da árvore principal e a do castelo à esquerda. Portanto, é possível executar várias operações de mandrilamento e fresamento nesta máquina. A figura 6.6 ilustra o desempenho de operações de furação e fresamento usando-se ambos os eixos X e C. Estes centros possuem uma versatilidade elevada, e podem usinar completamente várias peças, e portanto reduzem o tempo de produção. Uma estação de furação também permite a furação em lados opostos de uma peça.

Em muitos casos, um centro de usinagem para peças prismáticas (figura 6.7), além do magazine de ferramentas, também possui a facilidade de mudança automática de pallet (figuras 6.4 e 6.8). Neste caso, peças são fixadas a um pallet, no qual elas podem ser transportadas ao longo do sistema de manufatura. O pallet é usado quase como uma mesa de máquina em cada centro de usinagem; deve-se mencionar que isto requer uma posição de referência. Durante a usinagem da peça a próxima peça é

fixada a um novo pallet e preparada para a usinagem, e desta forma os tempos mortos são reduzidos ou eliminados, pois a fixação e a usinagem são executadas em paralelo. Peças podem ser trocadas manualmente no armazenamento durante a produção.

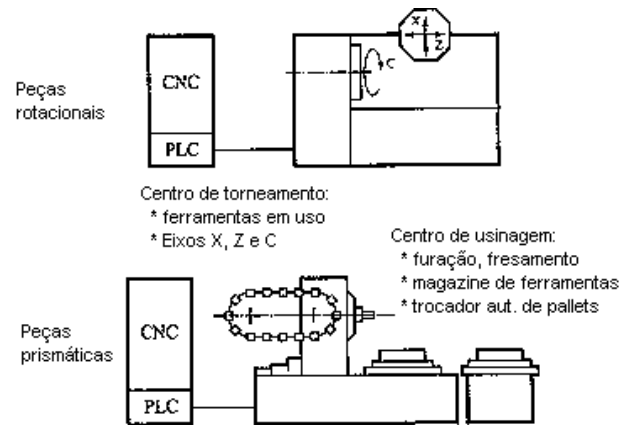


Figura 6.4. Centros de usinagem, os elementos básicos de uma célula flexível de manufatura

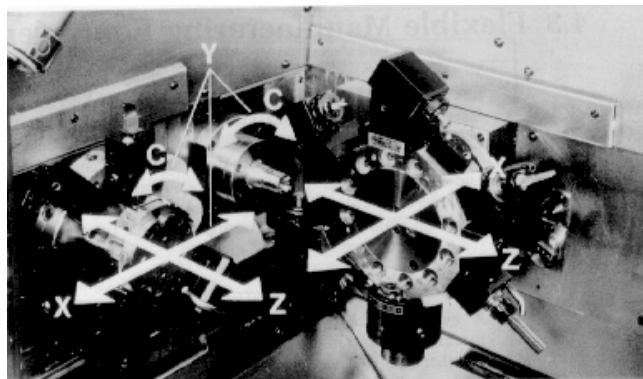


Figura 6.5. Eixos num centro de torneamento CNC

Centros de torneamento, mandrilamento e fresamento são sem dúvida as máquinas mais freqüentemente utilizadas em sistemas flexíveis. Entretanto, centros para outros processos de manufatura têm sido projetados, como para puncionamento, dobramento e corte de chapas. Deve-se mencionar também os centros para medição, nos quais pode-se efetuar uma mudança automática de peças, e também de apalpadores.

Células Flexíveis de Manufatura

Uma célula flexível de manufatura é uma unidade organizacional e pode corresponder a um sistema com uma ou mais máquinas, preferivelmente máquinas que usinam automaticamente famílias de peças. Além disso, funções periféricas tais como o manuseio de peças e ferramentas em conjunto com a execução de tarefas de medição e monitoramento do processo são muito automatizadas numa célula. Células flexíveis de manufatura (FMC) podem ser elementos de sistemas flexíveis de *Sistemas Integrados de Manufatura*

manufatura (FMS), e dão suporte à expansão incremental de tais equipamentos de uma maneira sensata.

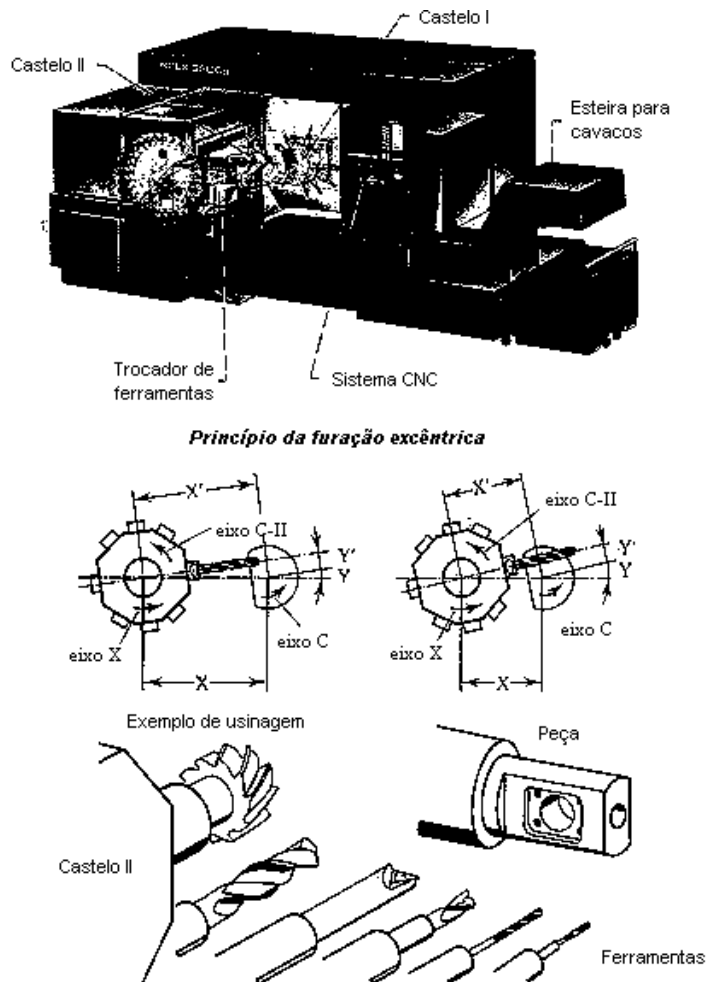


Figura 6.6. Centro de torneamento Index GSC 65 com eixo Y e trocador de ferramentas

FMCs facilitam a manufatura de pequenos lotes com poucos operadores. Com o manuseio e armazenamento automático de ferramentas e peças, é possível o seu uso em turnos extras, sem operadores. Mudanças nos lotes nem sempre necessitam de uma mudança de ferramentas, sendo que uma mudança simples do programa NC pode ser tudo o que é necessário.

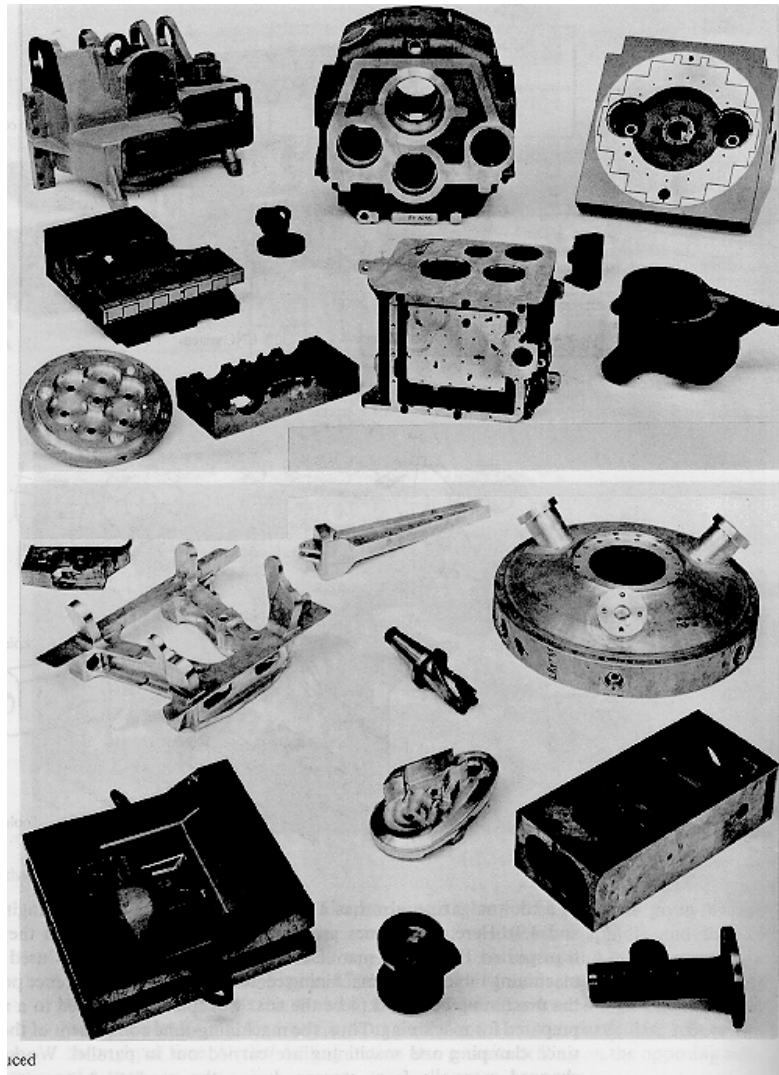


Figura 6.7. Peças complexas fabricadas num centro de usinagem

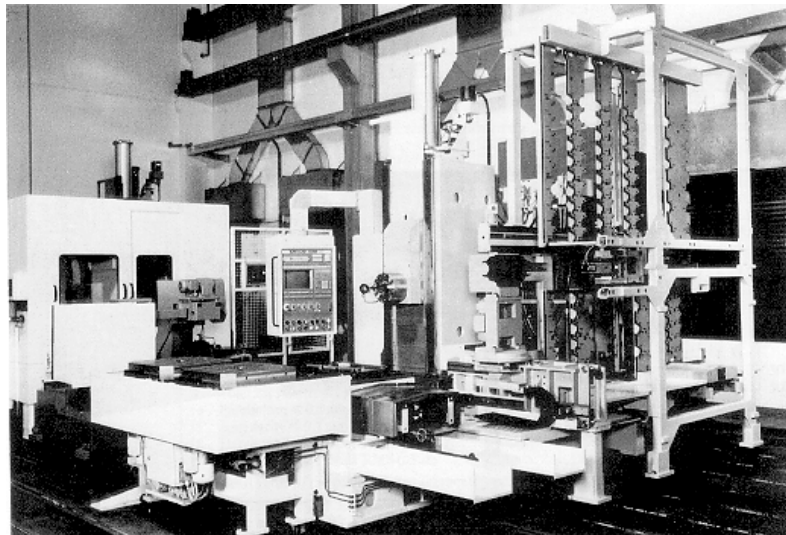


Figura 6.8. Centro de usinagem com um magazine para 103 ferramentas, trocador de pallets e esteira para cavacos

A figura 6.9 ilustra uma célula de manufatura consistindo de duas máquinas (um centro de usinagem e um torno) interligados através de um sistema para transporte de materiais. A figura também mostra um nível de controle orientado para a máquina contendo controles NC e do robô. Este nível é supervisionado pelo sistema de controle mestre da célula. O transporte de materiais e de ferramentas é executado através de veículos, e o manuseio através de robôs. A figura mostra as máquinas típicas de uma célula junto com suas interfaces para o manuseio de materiais. Estes componentes incluem:

- Equipamentos de manufatura com robôs para o manuseio e armazenamento de peças e ferramentas;
- Dispositivos de transporte para peças e ferramentas;
- Equipamentos para o armazenamento de peças e ferramentas.

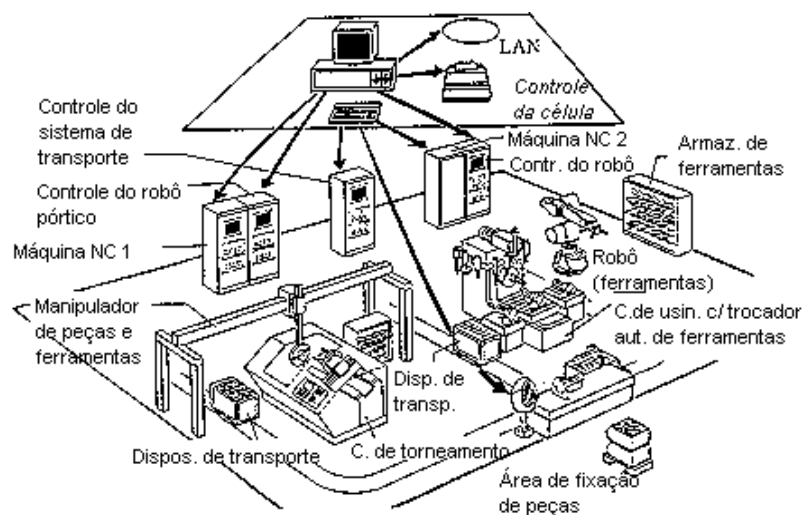


Figura 6.9. Estrutura de uma célula flexível de manufatura

Este sistema com duas máquinas contém máquinas complementares que executam tarefas diferentes, e portanto uma não pode substituir a outra. Por outro lado, máquinas substitutas possuem a mesma capacidade de usinagem. Normalmente, células consistem de máquinas substitutas similares. Isto reduz significativamente o risco de uma parada total em situações de gargalo, e além disso a utilização de cada máquina pode ser mantido uniformemente elevada.

A figura 6.10 mostra uma célula de torneamento e uma célula de mandrilamento-fresamento. A primeira consiste de uma máquina apenas, enquanto a segunda contém duas máquinas (dois centros de usinagem). O método de manuseio e interligação das máquinas para peças rotacionais é essencialmente diferente daquele para peças prismáticas. Estas últimas são manuseadas por pallets que representam uma interface mecânica específica. Peças rotacionais são transportadas diretamente por sistemas de manipuladores. Com relação ao torneamento, dispositivos de manuseio do tipo pórtico substituíram as soluções originais com robôs usados para manuseio das peças, ferramentas e até para

dispositivos de fixação. Uma mudança de ferramenta é efetuada através do armazenamento no castelo. As ferramentas necessárias para a manufatura de uma peça de uma tarefa atual devem estar disponíveis no castelo de forma a manter os tempos de mudança curtos. Para elementos que são manuseados de formas diferentes (peças, ferramentas, dispositivos de fixação), as garras devem ser trocadas automaticamente.

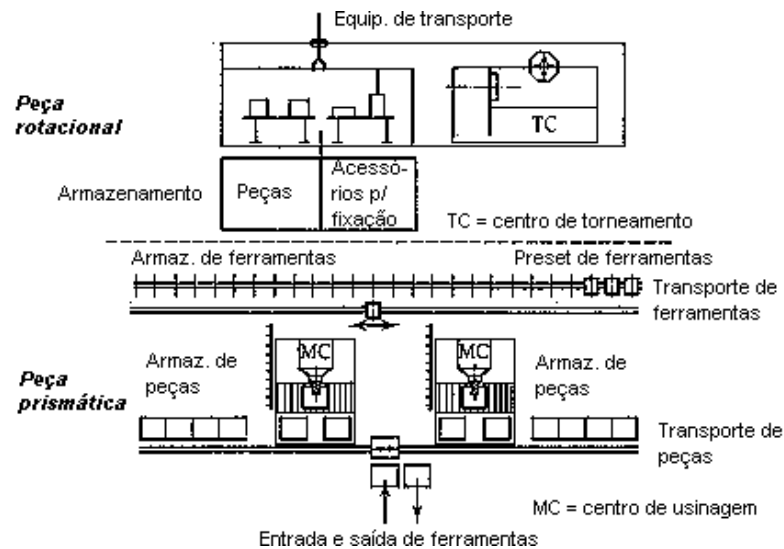


Figura 6.10. Células flexíveis de manufatura

A figura 6.11 mostra uma célula de torneamento com um sistema de manuseio do tipo pórtico, e várias garras que permitem uma mudança automática de peças brutas e acabadas, ferramentas e dispositivos de fixação.

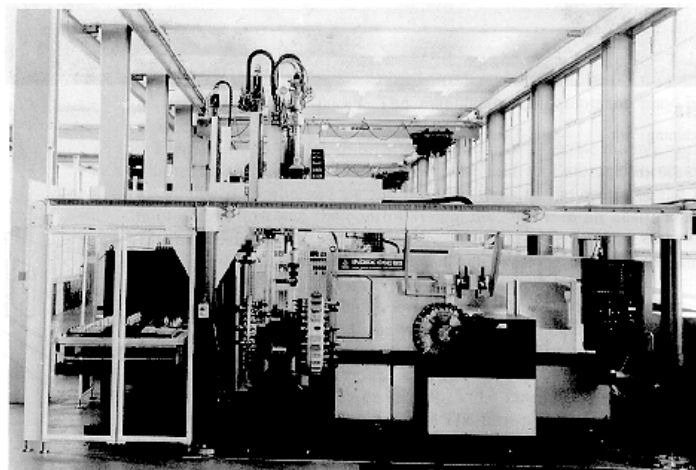


Figura 6.11. Célula flexível de torneamento Index GSC 65 com um manipulador de material do tipo pórtico

Células de mandrilamento e fresamento possuem freqüentemente um buffer de pallets e um grande magazine de ferramentas (figura 6.12). Isto ajuda a satisfazer as exigências de longos períodos *Sistemas Integrados de Manufatura*

de serviço sem interrupções, por exemplo durante turnos extras. A figura 6.12 mostra o armazenamento de oito pallets com várias peças fixadas sobre elas. A área de fixação para as peças é também claramente visível. A figura 6.13 mostra uma célula de usinagem para pequenas peças. Várias extensões modulares de armazenamento permitem a usinagem de um número diferente de peças, e normalmente nessas situações há a necessidade de uma grande diversidade de ferramentas. Um dispositivo de fixação pode ser posicionado horizontalmente ou verticalmente na área de trabalho. Além disso, é importante um controle e descarte eficiente dos cavacos.



Figura 6.12. Centro de usinagem MC50 com armazenamento de pallets

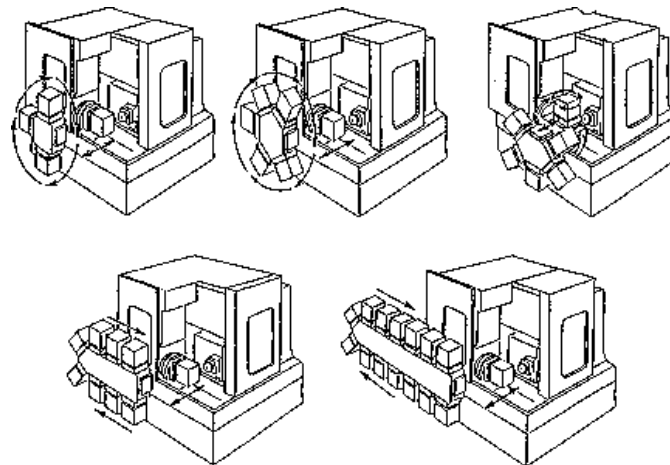


Figura 6.13. Uma célula flexível de manufatura com um armazenamento extensível para peças

Um outro exemplo de alimentação de peças para/de uma árvore de uma máquina CNC (no caso um torno) é dado na figura 6.14.

Sistemas Flexíveis de Manufatura

Sistemas flexíveis de manufatura (FMS) consistem de várias máquinas interligadas que usinam inúmeras peças simultaneamente em seqüência sem interrupções para troca de ferramentas. Eles

caracterizam-se pelo arranjo dos equipamentos de manufatura (incluindo células de manufatura) interligadas por um sistema comum de controle e transporte. Os equipamentos de manufatura podem ser acessados aleatoriamente.

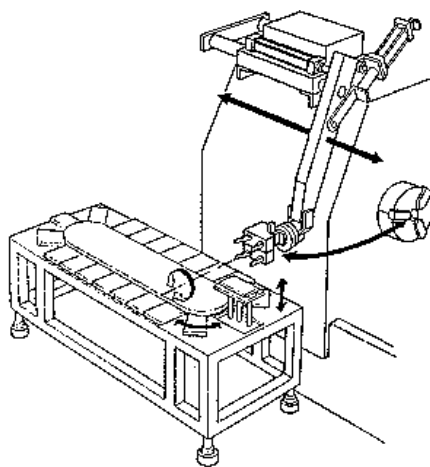


Figura 6.14. Um outro exemplo de alimentação de peças para/de uma árvore de um torno CNC, através de um manipulador adjunto à máquina

A figura 6.15 mostra funções de um FMS. As funções de fluxo de materiais correspondem ao armazenamento e manuseio de peças e ferramentas. A usinagem é simbolizada pelas máquinas no centro da figura. O fluxo de informações e o sistema de controle são mostrados numa forma abstrata à esquerda. Outros componentes possíveis dos sistemas de manufatura interligados não mostrados na figura incluem estações de lavagem, teste, máquinas de medição por coordenadas e equipamentos de descarte de cavaco.

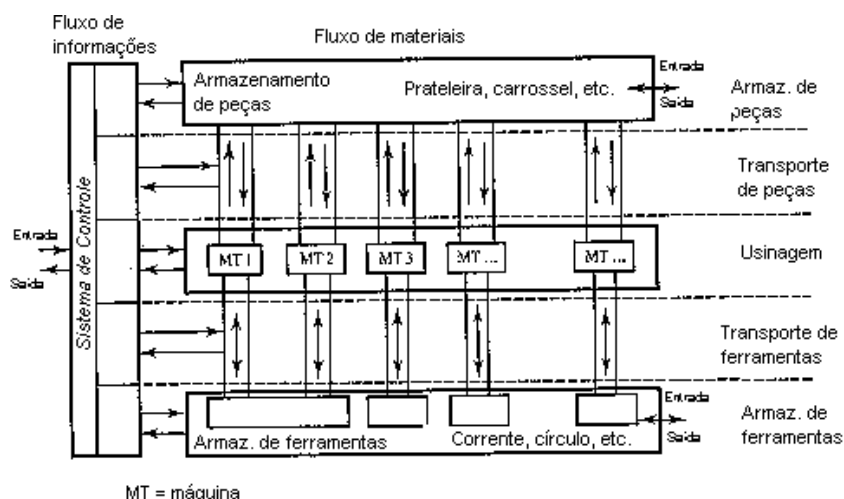


Figura 6.15. Funções de um FMS

Num FMS, a estrutura dos equipamentos de transporte e armazenamento é também influenciada pela natureza das peças (rotacionais ou prismáticas). Além disso, com esta abordagem, uma ou mais

peças prismáticas são normalmente fixadas a um pallet. Peças rotacionais são transportadas individualmente ou sobre pallets até as máquinas através do sistema de manuseio (sistema de pórtico ou com garra). Os equipamentos de transporte podem ser usados para transportar tanto peças como ferramentas. Isto depende das exigências de tempo, que são determinadas pelo número e duração das operações individuais de usinagem e da especificação se uma ou mais máquinas serão necessárias.

Quanto a sistemas de suprimento de peças, existem sistemas de transporte com ou sem trilhos, do tipo pórtico, elevados (acima da cabeça) incluindo manuseio indireto (com pallets) e direto. AGVs são muito confiáveis e são muito usados hoje em dia. Uma desvantagem destes é o acesso reduzido aos equipamentos de manufatura. Em FMSs, que ocupam vastas áreas e nos quais as exigências de tempo são críticas, é vantajoso o uso de AGVs. As rotas destes dispositivos podem ser programadas. Na figura 6.16 ilustra-se dispositivos deste tipo usados na manufatura de peças aeronáuticas com elevados tempos de usinagem. Neste exemplo as peças são fabricadas e colocadas em buffers intermediários. Tais buffers comportam-se como “decouplers”, que desacoplam o tempo de transporte dos processos de usinagem. Este exemplo também mostra um suprimento automático de ferramentas para as máquinas.

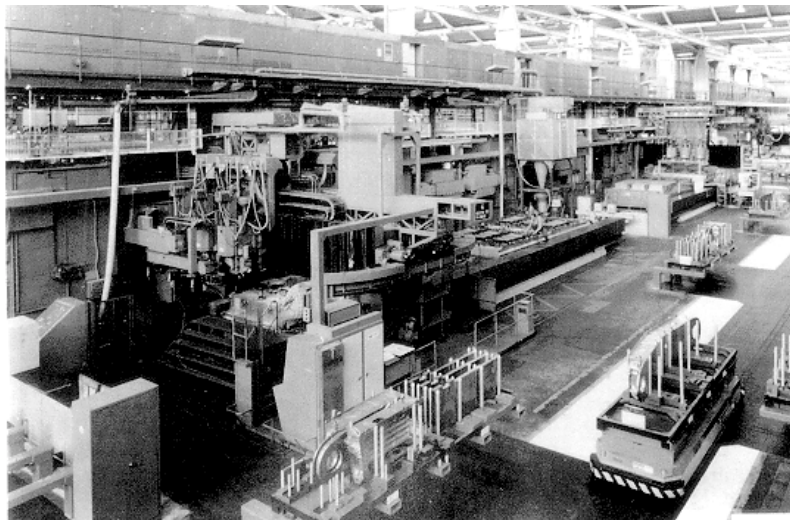








Figura 6.16. Um FMS para a produção de peças aeronáuticas

A figura 6.17 ilustra os princípios dos vários sistemas de suprimento de ferramentas e fornece critérios de seleção. As várias abordagens estruturais para as soluções são divididas em dois grupos: mudança de ferramenta na máquina, ou armazenamento de ferramenta na máquina. O critério de seleção é se as ferramentas podem ser trocadas manualmente ou automaticamente do magazine na máquina. Ao preparar as ferramentas, é importante perturbar o mínimo possível o tempo de produção. Existem duas formas de efetuar isto: ou as ferramentas necessárias durante o período de manufatura podem ser colocadas num buffer integrado à máquina, ou as ferramentas são trocadas em paralelo com a produção quando for o caso da mudança de tarefa, ou durante a manutenção. Na figura 6.18

ilustra-se um exemplo de presetador de ferramentas, utilizado para acelerar o cálculo dos comprimentos das ferramentas para o seu posicionamento na máquina, enquanto na figura 6.19 ilustra-se um meio de troca rápida de ferramentas.

Armazenamento de ferramentas na máquina	Critérios de Seleção										
	Procedimento de suprimento de ferramentas	Tempo de troca não influenciado pelas ferramentas	Número variável de ferramentas; interferem bits	Pequeno número de ferramentas	Exigência de pouca espaço de chão de fábrica	Acessibilidade	Custo de preparação do transportador de ferramentas	Adequado para máquinas individuais e FMS	Uso com diferentes estruturas de sistemas	Custos do operador	Custos adicionais
 Grande magazine de ferramentas  Armazenamento com duas correntes		○	●	○	●	●	●	○	●	○	●
		○	●	○	●	●	●	○	●	○	○
 Mudança individual da ferramenta através de robô  Troca de carrag. portáteis de ferramentas  Troca da bandeja de ferramentas num magazine fixo  Troca da bandeja de ferramentas num magazine giratória		●	●	●	●	○	●	○	●	●	
		●	○	●	○	●	○	○	●	●	○
		●	○	●	○	●	○	●	●	●	○
		●	●	●	●	●	○	●	●	●	●

● Bom ○ Média ○ Ruim

Figura 6.17. Critérios de seleção do tipo de suprimento de ferramentas

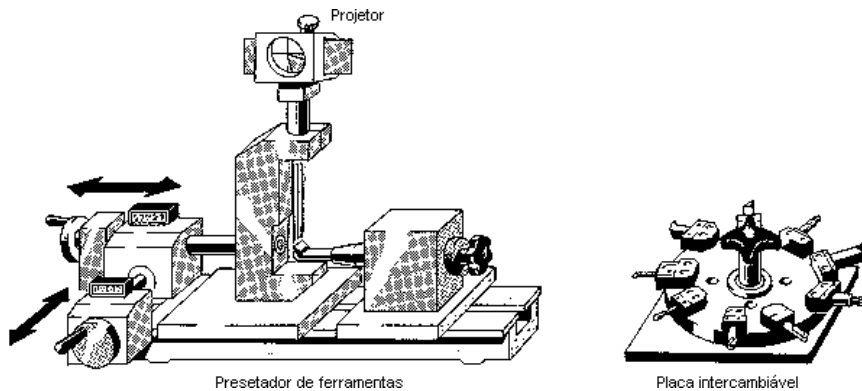


Figura 6.18. Um exemplo de presetador de ferramentas

Nas figuras 6.20 e 6.21 são ilustrados dois FMSs, sendo que o primeiro corresponde a um FMS com objetivos de pesquisa e desenvolvimento de cunho acadêmico, localizado na Universidade de Stuttgart, enquanto o segundo é uma maquete de um FMS com inúmeros centros de usinagem, um sistema de transporte interligado às máquinas, e um sistema de armazenamento de grandes proporções. Na figura 6.22 ilustra-se um outro exemplo de um FMS real.

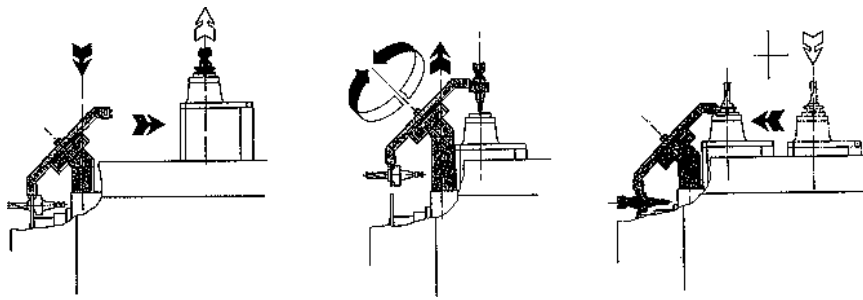


Figura 6.19. Um exemplo típico de troca rápida de ferramentas

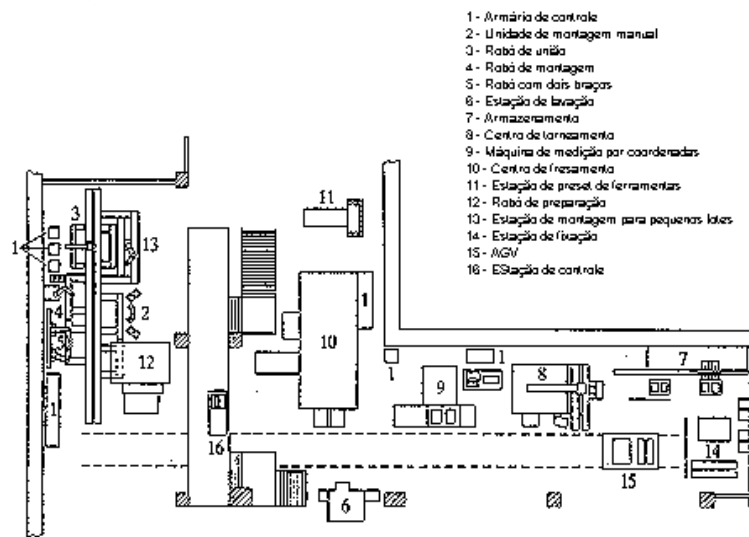


Figura 6.20. Layout de um FMS experimental na Universidade de Stuttgart

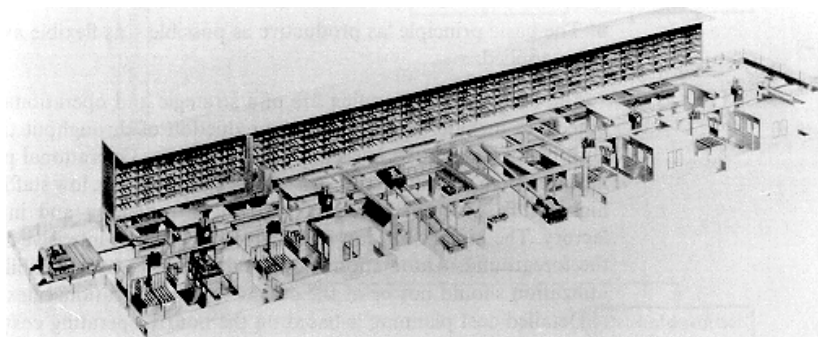


Figura 6.21. Um FMS com inúmeros centros de usinagem, sistema de transporte interligado e um grande sistema de armazenamento

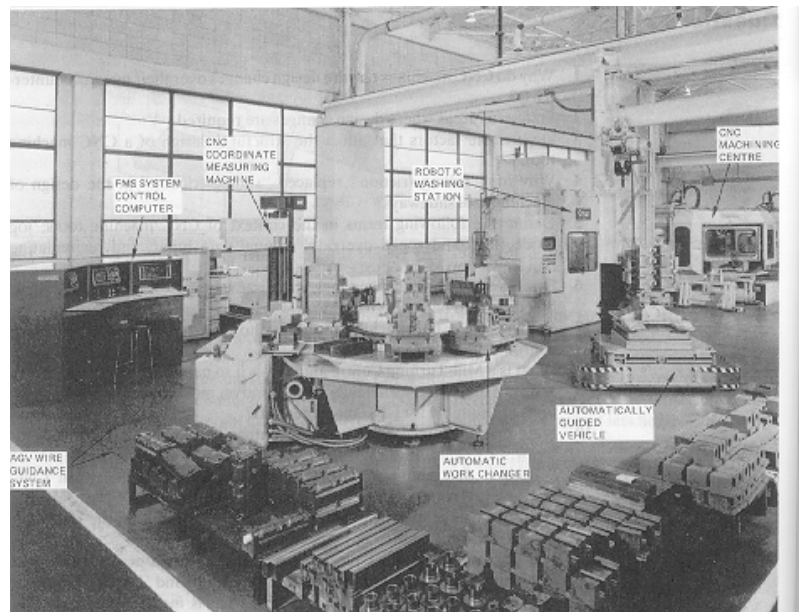


Figura 6.22. Um outro FMS real

PLANEJAMENTO E INTRODUÇÃO DE SISTEMAS DE MANUFATURA INTERLIGADOS

Equipamentos de manufatura complexos requerem um planejamento integral, cobrindo todas as funções da empresa, incluindo o planejamento e o projeto da manufatura. Além disso, questões referentes ao treinamento, avaliação do emprego, arranjos para o período de trabalho, etc., devem ser considerados. Tal planejamento deve ser suportado pelos fornecedores e usuários dos equipamentos. A figura 6.23 mostra uma seqüência típica de planejamento que descreve as tarefas do fabricante e do usuário do sistema de manufatura.

O estabelecimento de metas envolve a formulação de objetivos organizacionais, técnicos e econômicos, enquanto que estudos de factibilidade identificam esquemas alternativos para alcançar os objetivos. O planejamento do projeto então leva a uma proposta de um sistema específico para implementação. Em geral, o planejamento deve levar em conta os seguintes fatores:

- A manufatura flexível automatizada é bastante cara e é na prática adequada somente a um espectro limitado de peças.
- A tarefa é altamente crítica e importante, e requer grandes gastos; um sistema mal planejado pode levar a elevados custos de reestruturação quando colocados em operação.
- O princípio básico “o mais produtivo possível - tão flexível quanto necessário” deve ser aplicado.

Os objetivos do planejamento têm uma natureza estratégica e operacional. Objetivos estratégicos incluem, por exemplo, a redução dos tempos de produção e de estoque, enquanto que os objetivos operacionais incluem uma elevada taxa de utilização de máquinas, baixa quantidade de mão-de-obra, alta flexibilidade, alto retorno de investimento e uma introdução e integração gradual na fábrica.

- especificação das funções e da estrutura de controle.

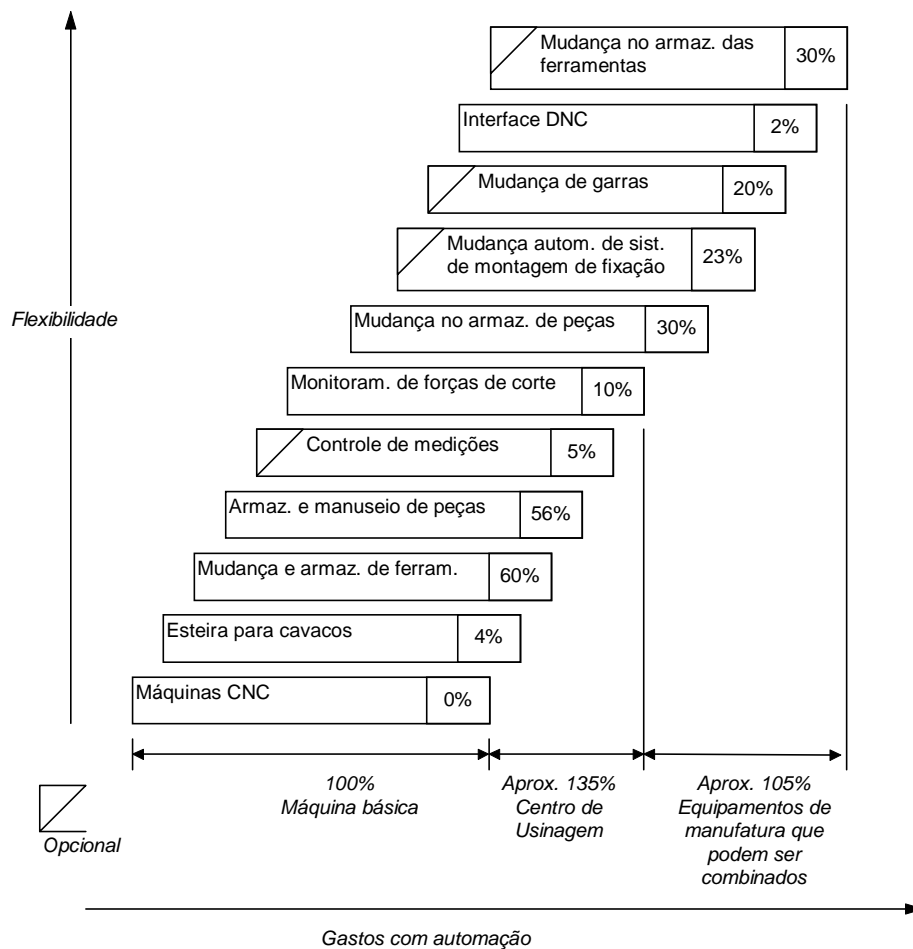


Figura 6.24. Os gastos para a automação flexível de operações de usinagem

Para uma faixa fixa de peças, as ferramentas, os equipamentos de manufatura, os componentes de fluxo de materiais e equipamentos auxiliares são selecionados através do planejamento aproximado e detalhado (figura 6.25). A figura distingue entre o planejamento de uma estação, de um equipamento de fluxo de materiais e componentes de equipamentos auxiliares. As especificações do planejamento detalhado levam ao layout final do sistema de manufatura. Deve-se mencionar que o planejamento é um procedimento iterativo, que envolve revisões freqüentes de passos anteriores de planejamento.

A figura 6.26 ilustra o planejamento sequencial de componentes de máquinas de um equipamento flexível de manufatura. As subtarefas de planejamento são ilustradas (em blocos), junto com os pontos iniciais para o planejamento (desenhos, planos de processo, quantidades e restrições tais como fixação). No lado direito da figura está uma lista de vários critérios e parâmetros que influenciam o planejamento e suas subtarefas; em cada situação, os objetivos de custo devem ser levados em consideração.

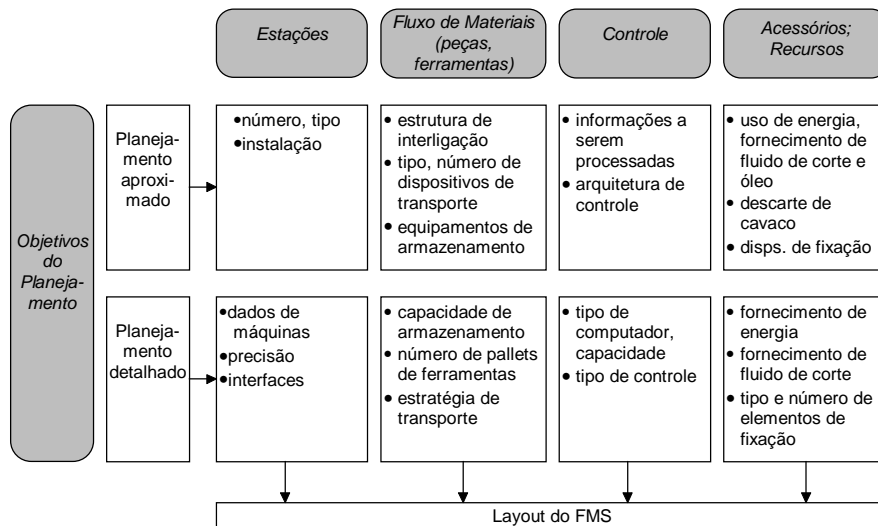


Figura 6.25. Planejamento de FMSs

O planejamento deve também investigar o comportamento dependente do tempo das funções dos sistemas de manufatura interligados. Métodos aplicados à solução desse problema incluem procedimentos analíticos e simulação (ver figura 6.27). Métodos analíticos matemáticos são normalmente aplicados somente a sistemas simples e planejamento aproximado. A simulação baseia-se em modelos dinâmicos de eventos discretos (ver exemplo na figura 6.28). Devido à interação gráfica e à possível redução no tempo de criação do modelo, e também à geração de estratégias de controle, a simulação tem crescido bastante em importância (desenvolvimentos em computadores também contribuíram para isso).

Qualificações dos operadores e a introdução de constante treinamento são fundamentais. Isto é crucial para o uso econômico e bem sucedido de sistemas complexos de manufatura com elevada flexibilidade. Além disso, a motivação das pessoas é de extrema importância. Medidas de treinamento são requeridas em várias áreas, dentre as quais se incluem:

- tecnologia NC básica;
- programação de máquinas NC;
- organização e operação de um sistema de manufatura;
- monitoramento e diagnóstico de manutenção.
- redes de computadores

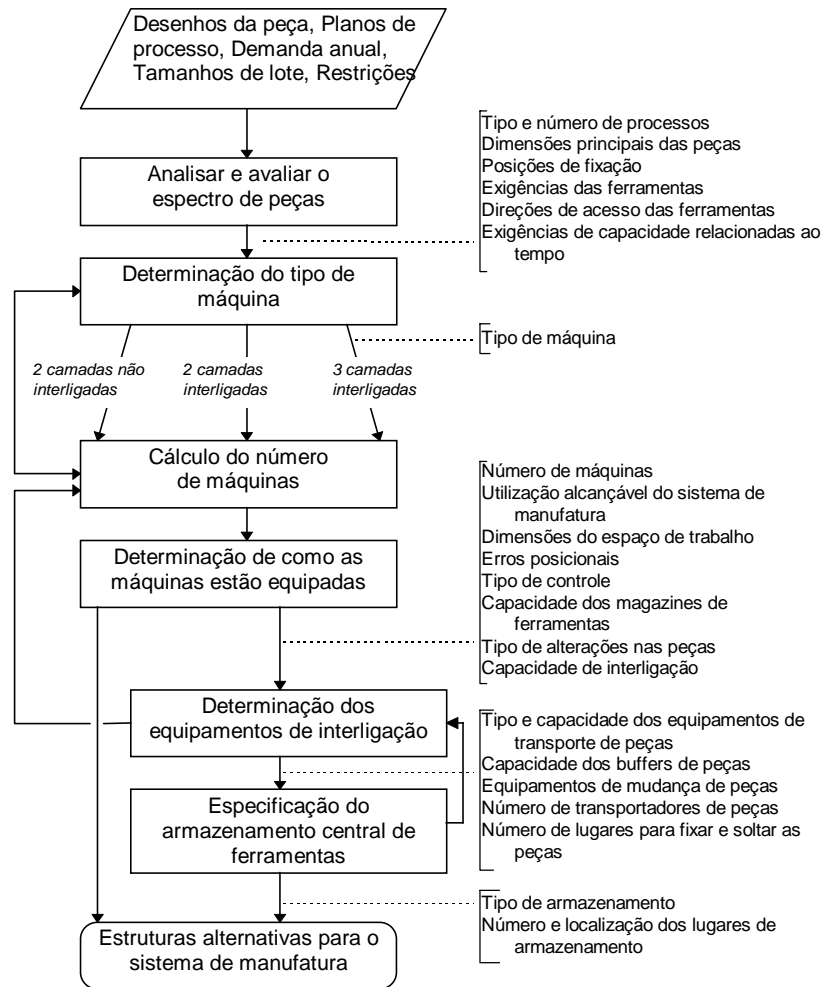


Figura 6.26. Planejamento técnico de um FMS

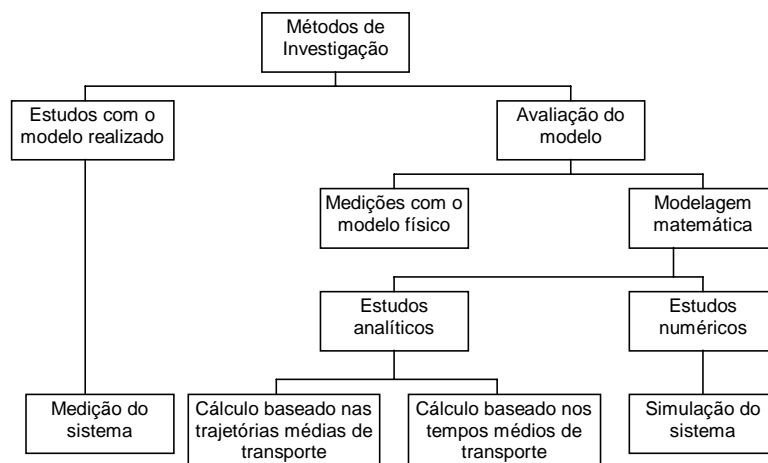


Figura 6.27. Métodos de estudo do comportamento de FMSs no tempo

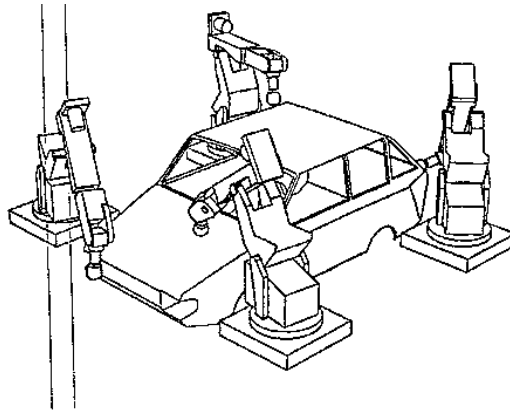


Figura 6.28. Exemplo de uso de técnica de simulação em atividades de empresas de manufatura

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MONTAGEM

Em sistemas flexíveis de montagem, diferentes tarefas de montagem devem ser executadas sobre pequenos lotes. Até hoje, a automação flexível tem sido introduzida para muitas tarefas de manufatura. Entretanto, isto não se aplica à montagem. Atualmente, um grande número de desenvolvimentos relacionam-se à montagem flexível, com o objetivo de utilizar o potencial existente de automação.

Sistemas de montagem devem ser essencialmente representados por analogia a sistemas de manufatura, uma vez que existe uma correspondência entre os equipamentos básicos de manufatura e montagem. Na figura 6.29, os conceitos de estações, células e sistemas de montagem de montagem são definidos com referência às estruturas de controle, aos componentes de suporte às máquinas, e ao suprimento das peças e ferramentas. Da mesma forma que anteriormente mencionado para um sistema de manufatura, um estudo pormenorizado deve ser feito para a especificação de um sistema de montagem.

Estação de Montagem (AST)			Célula de Montagem (AC)	Sistema de Montagem (AS)						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>MAST</th> <th>AAST</th> <th>FAST</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> Montador Arbitrariamente flexível </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Máquina de montagem automatizada Não programável </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Robô de montagem Programável </td> </tr> </tbody> </table>	MAST	AAST	FAST	<ul style="list-style-type: none"> Montador Arbitrariamente flexível 	<ul style="list-style-type: none"> Máquina de montagem automatizada Não programável 	<ul style="list-style-type: none"> Robô de montagem Programável 			<ul style="list-style-type: none"> Computador mestre, computador da célula (PC, PLC, workstation, etc.) O computador da célula coordena, controla e monitora todos os subsistemas Um ACT consiste de 1 a 5 FAST Pode também conter MAST e AAST integrados no fluxo de materiais e informação Suprimento automático e integrado de peças e ferramentas Um armazenador adicional de materiais e ferramentas é gerenciado pelo computador da célula 	<ul style="list-style-type: none"> Computador hospedeiro de montagem planeja e controla num nível muito alto O computador hospedeiro mestre de montagem controla os computadores e unidades individuais de montagem e coordena o processamento da tarefa AS consiste de combinações arbitrárias de AAST, MAST, FAST, ACT e AC
MAST	AAST	FAST								
<ul style="list-style-type: none"> Montador Arbitrariamente flexível 	<ul style="list-style-type: none"> Máquina de montagem automatizada Não programável 	<ul style="list-style-type: none"> Robô de montagem Programável 								
<p>ACT = Centro de montagem MAST = Estação manual de montagem AAST = Estação automática de montagem FAST = Estação flexível de montagem</p>										

Figura 6.29. Definição de sistemas de montagem

A figura 6.30 mostra uma célula de montagem que também contém estações manuais integradas. O número total de estações nesta célula é pequeno e o sistema de transporte não possui um buffer para pallets. Estações manuais, como usadas nesta célula, são ainda necessárias em sistemas de montagem porque algumas tarefas de união não podem ser satisfatoriamente automatizadas; a tecnologia requerida de sensores é freqüentemente incapaz de satisfazer tarefas práticas. Esta célula contém um carregador de ferramentas. Além disso, a mudança de ferramentas é mostrada em estações individuais.

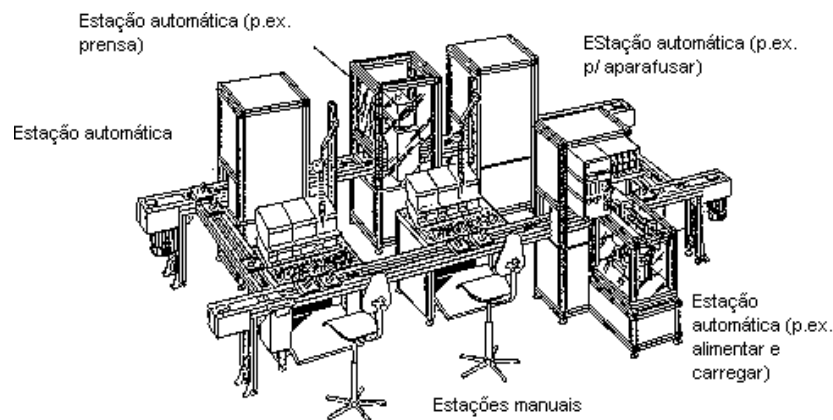


Figura 6.30. Um sistema de montagem semi-automático

O sistema flexível de montagem na figura 6.31 possui um número maior de estações automáticas e também uma estação manual. Os componentes individuais de montagem são ligados por uma estrutura de fluxo de materiais. O sistema de transporte é o mesmo daquele da célula da figura 6.30, entretanto existem agora trilhos de transporte para pallets que funcionam como buffers. Tarefas de usinagem e montagem são coordenados por um computador principal. As peças a serem montadas passam através de estações individuais em qualquer ordem. Uma diversidade de produtos podem ser montados simultaneamente. As peças para as tarefas de montagem são preparadas pelo robô de preparação (“SR”). O robô com dois braços corresponde a dois robôs que são ligados a uma viga transversal num arranjo que pode ser movimentado, e trabalham independentemente ou numa maneira complementar. Por exemplo, eles podem trocar ferramentas. Este robô é usado para tarefas complexas de montagem.

Aquilo que foi mencionado até o momento sobre FMSs com relação ao planejamento e controle aplica-se a sistemas de montagem. Entretanto, com relação ao fluxo de materiais e à organização, existe um modo fundamentalmente diferente de olhar para o problema, isto porque a usinagem refere-se a peças individuais, enquanto na montagem pelo menos duas peças são montadas num produto. Esteiras com capacidade de mudança de direção permitem um transporte flexível e estruturas de

buffers. Uma outra característica é o processamento diferenciado de sinais de sensores. Todas essas características impõem uma elevada demanda ao sistema de controle.

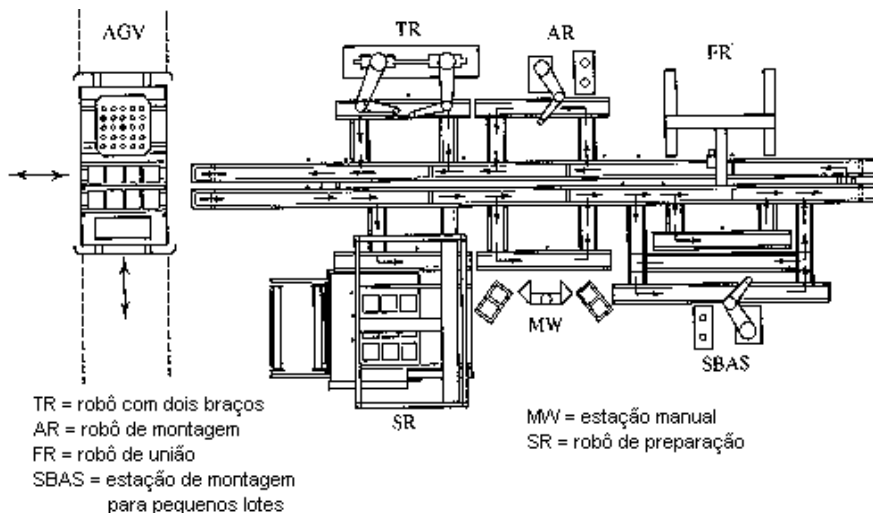
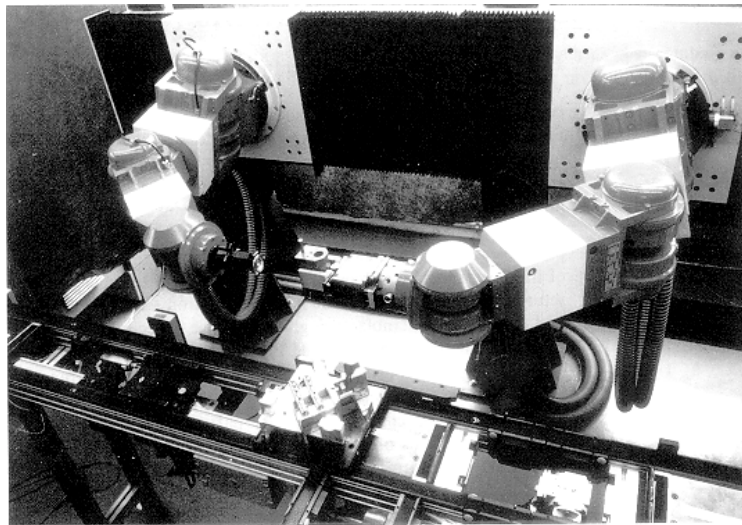


Figura 6.31. Layout da estação de uma estação de montagem

CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

Todo FMS deve ser justificado economicamente, o que é normalmente muito difícil. Frequentemente não é possível prever o desenvolvimento futuro de tarefas de processamento, e também as peças que serão usinadas (incluindo suas quantidades); portanto, parâmetros adequados podem não estar disponíveis para uma avaliação econômica. Também é verdade que a manufatura em turnos extras, redução de setup e tempos de produção são fatores importantes para serem incluídos numa análise de retorno de investimento. A figura 6.32 mostra os parâmetros principais que influenciam os cálculos do retorno de investimento.

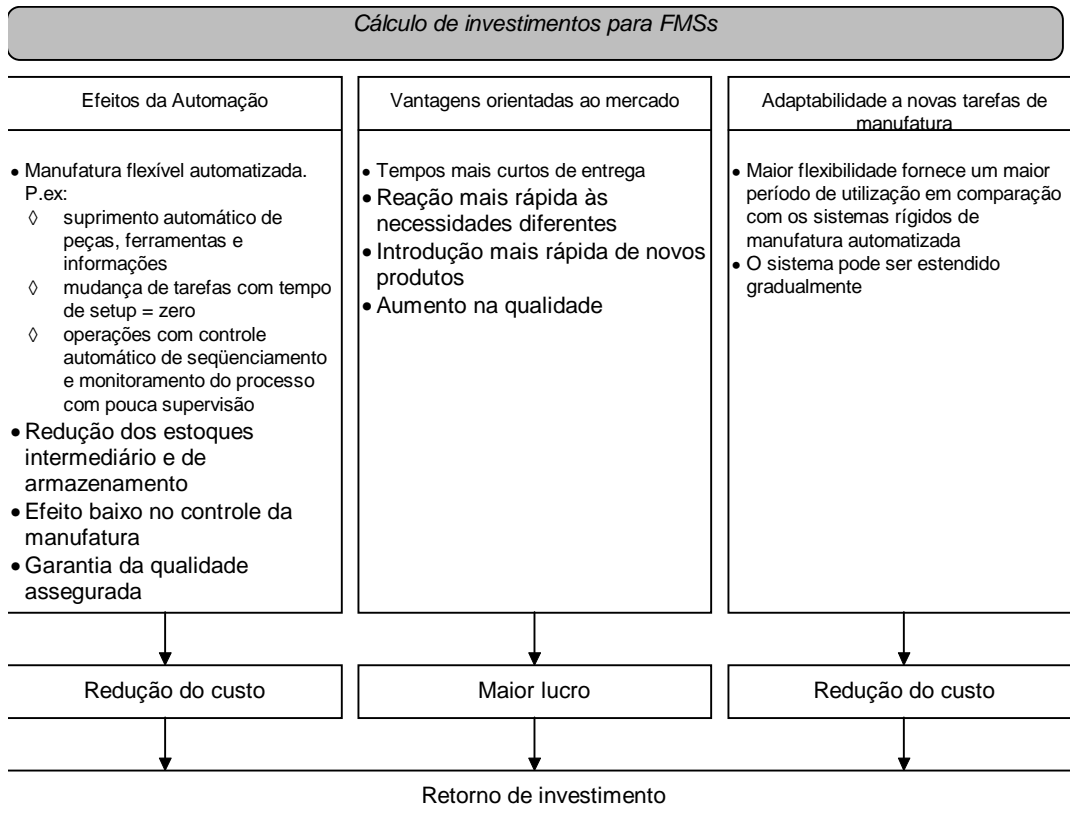


Figura 6.32. Fatores que influenciam o cálculo de investimentos em FMSs

Atualmente, cálculos usam principalmente procedimentos como cálculos de comparação de custos e análise de eficiência econômica. Ambos os procedimentos requerem a consideração de sistemas de manufatura alternativos. A tabela 6.1 mostra uma análise comparativa da eficiência econômica de dois sistemas diferentes que produzem o mesmo produto. Um desses sistemas é um FMS, enquanto o outro consiste de 12 máquinas individuais. A tabela mostra cinco critérios de objetivos: a estrutura do sistema, o controle do sistema, o fluxo de peças e ferramentas, a organização da manufatura e a estratégia da empresa. Para cada um desses critérios, subobjetivos são também ponderados em relação ao critério global. A tabela mostra os pesos subjetivos, absolutos e relativos e os fatores resultantes. A alocação de pontos também é subjetiva; para a determinação destes pontos, várias pessoas devem estar de acordo. Os resultados da análise econômica são as eficiências absolutas e relativas.

Tabela 6.1. Exemplo de uma análise econômica de FMSs

<i>Análise de eficiência econômica</i>						
<i>Crítérios de objetivos</i>	<i>Pesos</i>		<i>FFS 830-4 e FFS 800-4</i>		<i>12 Máquinas Individuais</i>	
	<i>Porção</i>	<i>Fator</i>	<i>Pontos</i>	<i>Eficiência Parcial</i>	<i>Pontos</i>	<i>Eficiência Parcial</i>
<u>Estrutura do sistema:</u>	<u>15%</u>					
• Alta flexibilidade com máquinas com as mesmas funções	30%	0,045	10	0,45	7	0,315
• Estensibilidade	30%	0,045	7	0,315	4	0,315
• Integração com outros processos (p.ex. lavação, rebarbação)	15%	0,0225	8	0,18	4	0,09
• Equipamentos centralizados no operador	25%	0,0375	8	0,3	3	0,1125
<u>Controle do sistema:</u>	<u>15%</u>					
• Hierarquia do controle	20%	0,03	8	0,24	4	0,12
• Possibilidade de integração com estruturas de CIM	15%	0,0225	8	0,18	3	0,0675
• Gerenciamento de dados de tarefas e ferramentas	15%	0,0225	9	0,2025	3	0,0675
• Gerenciamento de ferramentas	25%	0,0375	9	0,3375	3	0,1125
• Grau de prontidão	25%	0,0375	8	0,3	3	0,1125
<u>Fluxo de peças e ferramentas:</u>	<u>15%</u>					
• Automação do suprimento de peças	25%	0,0375	10	0,375	8	0,3
• Automação do suprimento de ferramentas	25%	0,0375	10	0,375	4	0,15
• Utilização do espaço de armazenamento de peças	10%	0,015	10	0,15	4	0,06
• Mudança de ferramentas em paralelo com o tempo de usinagem	25%	0,0375	8	0,3	2	0,075
• Mudança específica de uma ferramenta	15%	0,0225	10	0,225	3	0,0675
<u>Organização da manufatura:</u>	<u>25%</u>					
• Integração no sistema CAP mestre	25%	0,0625	8	0,5	5	0,3125
• Integração no sistema mestre de fluxo de materiais	25%	0,0625	8	0,5	6	0,375
• Execução orientada para a montagem, com manufatura simultânea de pequenos lotes	25%	0,0625	8	0,5	4	0,25
• Obediência a agendamentos	25%	0,0625	9	0,5625	6	0,375
<u>Aspectos específicos da empresa:</u>	<u>30%</u>					
• Tempos curtos de execução	20%	0,06	10	0,6	7	0,42
• Capital operacional baixo	20%	0,06	8	0,48	5	0,3
• Tempos curtos de entrega	20%	0,06	9	0,54	7	0,42
• Tecnologia orientada para o futuro	15%	0,045	10	0,45	5	0,225
• Flexibilidade a longo prazo em relação ao espectro de peças	15%	0,045	10	0,45	10	0,45
• Projeto ergonômico do lugar de trabalho	10%	0,03	9	0,27	5	0,15
<i>Soma</i>		1		8,78		5,2425
<i>Eficiência Absoluta</i>				87,8%		52,4%
<i>Eficiência Relativa</i>				100%		61,8%