

Capítulo 2

Antigos e Novos Sistemas de Manufatura

“Em sistemas de manufatura, como tudo na vida, a sincronização é fundamental”

INTRODUÇÃO

Mudanças significativas têm ocorrido no projeto de sistemas de manufatura, motivadas pelas seguintes tendências:

- a) O aumento no número e variedade de produtos, resultando na redução no tamanho de lote;
- b) Exigências de tolerâncias mais apertadas (mais precisão e melhor qualidade) vão continuar a aumentar;
- c) Maior variedade de materiais, materiais compostos, com propriedades diversas, que causarão maior proliferação de processos de manufatura;
- d) Os esforços para atingir uma maior confiabilidade do produto vão aumentar em resposta ao número excessivo de processos na justiça sobre o mau funcionamento do produto;
- e) O tempo entre a fase conceitual de projeto e o produto fabricado será reduzido através de esforços de engenharia simultânea;
- f) Mercados globalizados serão supridos por produtos globalizados.

Estas tendências exigirão os seguintes tipos de respostas em termos de sistemas de manufatura:

- Melhoria contínua do produto, que significa um contínuo reprojeto e melhoria do sistema de manufatura;
- O sistema deve ser capaz de produzir produtos de elevada qualidade com custos reduzidos, e entrega no tempo certo em resposta à demanda do cliente;
- O sistema deve ser projetado para ser flexível e compreensível (mais simples), bem como mais confiável.

Muitas empresas nos EUA ainda agarram-se a sistemas de manufatura que dependem de elevados estoques de peças, onde itens com falhas são substituídos, e onde existem áreas consideráveis para o retrabalho de peças.

UMA PEQUENA EXCURSÃO HISTÓRICA

Na primeira revolução industrial, máquinas-ferramenta básicas foram inventadas e desenvolvidas. Com elas vieram os primeiros níveis de mecanização e automação. As fábricas desenvolveram-se com os processos de manufatura. Estas fábricas localizaram os recursos (materiais,

trabalhadores e processos) no local onde a energia estava disponível. Para a maior parte utilizava-se energia hidráulica, e portanto as primeiras fábricas localizavam-se próximas a rios. A água movimentava as rodas d'água que acionavam os eixos ao longo do comprimento da fábrica. Um correia do eixo principal acionava cada máquina.

O agrupamento de máquinas semelhantes que necessitavam ser acionadas numa velocidade próxima era lógico e adequado. Portanto, fábricas foram dispostas funcionalmente de acordo com os tipos de máquinas usadas. As máquinas eram extensões de alguma capacidade ou atributo humano. Um operador desenvolveu diferentes habilidades dependendo do tipo de tarefa (p.ex. trabalho com couro, com ferro ou fundição). Os processos foram divididos de acordo com os tipos de habilidade necessária para operar os processos.

Uma melhoria do equipamento de produção pôde ser alcançada com a invenção do motor e dos componentes elétricos. Tornou-se então prático fornecer cada máquina-ferramenta com o seu próprio acionamento, e portanto pôde-se configurar uma fábrica de diversas formas, dependendo do layout requerido do sistema de manufatura.

O conceito de intercambiabilidade de peças e a divisão de mão-de-obra originaram o princípio da linha dedicada. Com este método de manufatura, produtos de alta qualidade foram disponibilizados para muitas pessoas que não podiam pagar pelos produtos caros feitos sob encomenda. Devido ao enorme investimento, a produção em linhas dedicadas não podia ser facilmente alterada; portanto, o consumidor tinha muito poucas opções de escolha. Quando o mercado tornou-se saturado de produtos padronizados, os fabricantes introduziram inúmeros variantes dos produtos com características especiais. Isto motivou a incorporação de flexibilidade ao sistema de manufatura. Com a invenção do transistor, tornou-se possível construir controladores de máquinas que podiam ser reprogramadas até um certo grau; portanto as máquinas de manufatura tornaram-se capazes de produzir vários produtos diferentes.

Um grande avanço na automação programável ocorreu em 1947 com a invenção do controle numérico (NC) no M.I.T. Foi a primeira vez que as tecnologias de software e hardware foram combinadas com sucesso numa única unidade de controle. O NC permitiu a usinagem de peças complexas em pequenos volumes, portanto fornecendo uma elevada flexibilidade ao sistema de manufatura.

Com a integração do transistor e outros componentes eletrônicos em circuitos bastante compactos (VLSI - "very large-scale integration"), famílias de computadores pequenos, médios e grandes tornaram-se disponíveis para controlar os processos de manufatura. Uma característica especial destes computadores foi que eles podiam ser facilmente adaptados a uma tarefa específica de manufatura por um algoritmo dedicado de controle. Com os progressos na automação, tornou-se óbvio que as tecnologias de automação convencional tinham sido exauridas e que hardware e software

tinham o grande potencial de racionalizar ainda mais as operações, resultando em fábricas realmente programáveis para uma família de produtos.

Concluiu-se logo que habilidades especiais eram necessárias para o projeto de sistemas computacionais e de software de controle, e que era muito difícil e demorado para implementá-los na fábrica, e também para combiná-los com a tecnologia convencional de manufatura.

Para o controle do processo de manufatura pelo computador, as máquinas tiveram que conter interfaces especiais para torná-las compatíveis com o computador. Além disso, o homem teve que ter ferramentas capazes de comunicar com o computador e com o processo. Para isso, várias tecnologias básicas foram desenvolvidas para a comunicação homem-máquina, processamento de dados gráficos, construção de bases de dados, engenharia do conhecimento, comunicação de fábrica, microeletrônica, programação, modelagem, simulação e sensores.

Estas tecnologias básicas têm ciclos de vida curtos, e por esta razão é freqüentemente difícil implementá-las. Em muitos casos, a evolução de tal tecnologia nova foi tão rápida que aplicações que haviam começado vários anos antes tinham tornado-se obsoletas e tiveram que ser desenvolvidas de novo.

O PAPEL DO COMPUTADOR NA MANUFATURA

O computador teve (e ainda tem) um impacto substancial em quase todas as atividades de uma fábrica. Freqüentemente, a introdução do computador alterou a estrutura organizacional de um departamento e tornou necessário a adoção de estruturas completamente novas de gerenciamento. Como o computador é capaz de efetuar tarefas repetitivas eficientemente, as tarefas de muitas funções de gerenciamento também mudaram drasticamente.

O futuro desenvolvimento de tecnologia de computadores na manufatura não pode ser predito exatamente. Isto vai depender de vários aspectos, incluindo o desenvolvimento de hardware e software, a habilidade de combinar tecnologia de computadores com o know-how convencional de manufatura, e também a possibilidade de simplificar e padronizar os processos de manufatura e procedimentos. Um aspecto importante é a cooperação eficiente de várias habilidade de engenharia necessárias para configurar um S.M.I.C. (sistema "C.I.M.")

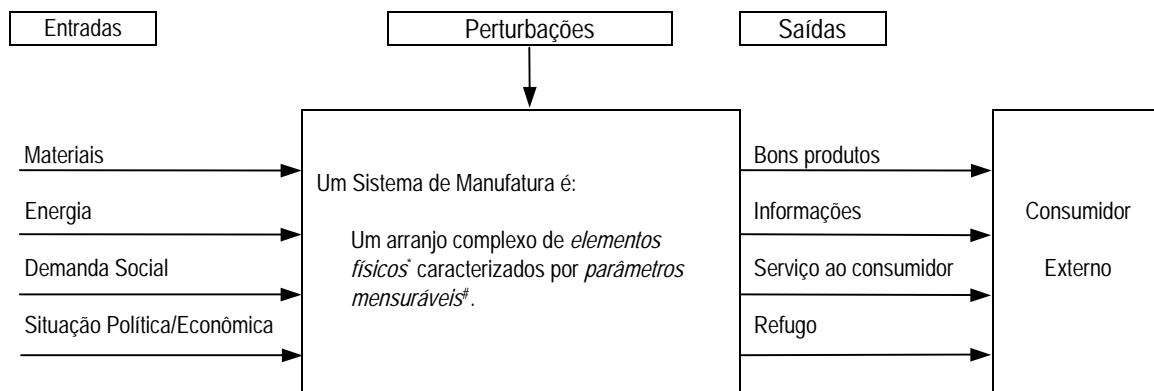
A operação de um S.M.I.C. pode dar ao usuário benefícios substanciais comparado com sistemas convencionais. A experiência mostra os seguintes benefícios:

- redução nos custos de projeto de uma peça de 15-30%;
- redução no tempo de permanência na fábrica de 30-60%;
- aumento da produtividade em 40-70%;
- melhoria na qualidade do produto; redução de refugo de 20-50%;

- melhoria no projeto do produto; por exemplo, o uso de métodos computacionais de elementos finitos permite calcular 3-30 vezes mais rápido diferentes projetos, comparado com métodos convencionais.

DEFINIÇÃO DE SISTEMAS

A palavra *sistema* é usada para definir de forma abstrata um agrupamento relativamente complexo de elementos físicos caracterizados por parâmetros mensuráveis (Rubinstein, 1975)¹, e tal definição é bem apropriada para sistemas de manufatura (ver figura 2.1). Os elementos físicos importantes para todos os sistemas de manufatura são pessoas, processos e equipamentos de manuseio de materiais. Matéria-prima e produtos são entradas, materiais intermediários e saídas do sistema. Alguns dos parâmetros mensuráveis mais comuns para um sistema de manufatura são mostrados na figura 2.1. Estes parâmetros devem ser usados como medidas de eficiência de um S.I.M. O usuário do sistema é o consumidor interno. O usuário dos produtos do sistema é o consumidor externo. Um sistema de manufatura eficiente tem consumidores satisfeitos, tanto internos como externos. Conflitos entre estes dois grupos de consumidores devem ser resolvidos.



* Elementos físicos:

- ◇ Máquinas-ferramenta para processamento
- ◇ Ferramental
- ◇ Equipamentos para o manuseio de materiais
- ◇ Pessoas (consumidores internos)

Parâmetros mensuráveis do sistema:

- ◇ Tempo de produção
- ◇ Taxa de produção
- ◇ Estoque intermediário
- ◇ % de defeitos
- ◇ % de entregas no tempo certo
- ◇ Volumes de produção diários/semanais/mensais
- ◇ Custo total ou custo unitário

Figura 2.1. Definição de um sistema de manufatura com suas entradas e saídas

SISTEMAS DE MANUFATURA E O CHÃO DE FÁBRICA

¹ Rubinstein, M., "Patterns of Problem Solving", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, EUA, 1975

Em termos gerais, um chão de fábrica recebe materiais, informações e energia num conjunto complexo de elementos (máquinas e pessoas). Os materiais são processados e aumentam o seu valor. As saídas do chão de fábrica podem ser tanto bens de consumo como entradas para algum outro processo.

O sistema de manufatura contém e serve o chão de fábrica. As funções de controle de materiais são críticas para o desempenho do chão de fábrica. Um sistema de células interligadas permite para a integração das funções de controle no sistema. Estas funções são:

- Controle de Qualidade (nenhum defeito no material);
- Controle da Produção (quando, onde e quanto)
- Controle de Estoque (quantidade de estoque intermediário)
- Confiabilidade da máquina-ferramenta (manter o material fluindo)

A figura 2.2 dá uma idéia geral do sistema de manufatura. Observe que muitas entradas não podem ser completamente controladas (pela gerência) e o efeito das perturbações devem ser contrabalançadas pela manipulação das entradas controláveis ou do próprio sistema. O controle da disponibilidade de material, ou a previsão de flutuações na demanda pode ser difícil. A situação econômica do país pode causar mudanças no ambiente de negócios que podem alterar seriamente quaisquer dessas entradas. Em outras palavras, nem todas as entradas do chão de fábrica são totalmente controláveis. Existem diferentes estruturas e arranjo físico num chão de fábrica.

INTRODUÇÃO A UM SISTEMA BÁSICO DE MANUFATURA

UMA FÁBRICA MODELO

Da seção anterior comentou-se que uma operação de manufatura moderna é muito complexa e deve evoluir de várias disciplinas de engenharia. O computador está sendo usado como um planejador e agendador para organizar e supervisionar o processo produtivo, como um controlador para dirigir os equipamentos, e como um verificador para assegurar a qualidade especificada.

Aqui será introduzida uma fábrica pequena para discutir suas funções principais e para explicar a terminologia mais importante que está sendo usada conjuntamente com uma fábrica operada por computador. Infelizmente, a terminologia não é usada uniformemente. Entretanto, uma tentativa será feita para ser conciso nessa apostila para explicar todas as funções, se elas não forem óbvias devido aos seus nomes. É minha tarefa nos capítulos seguintes discutir as atividades individuais em detalhes.

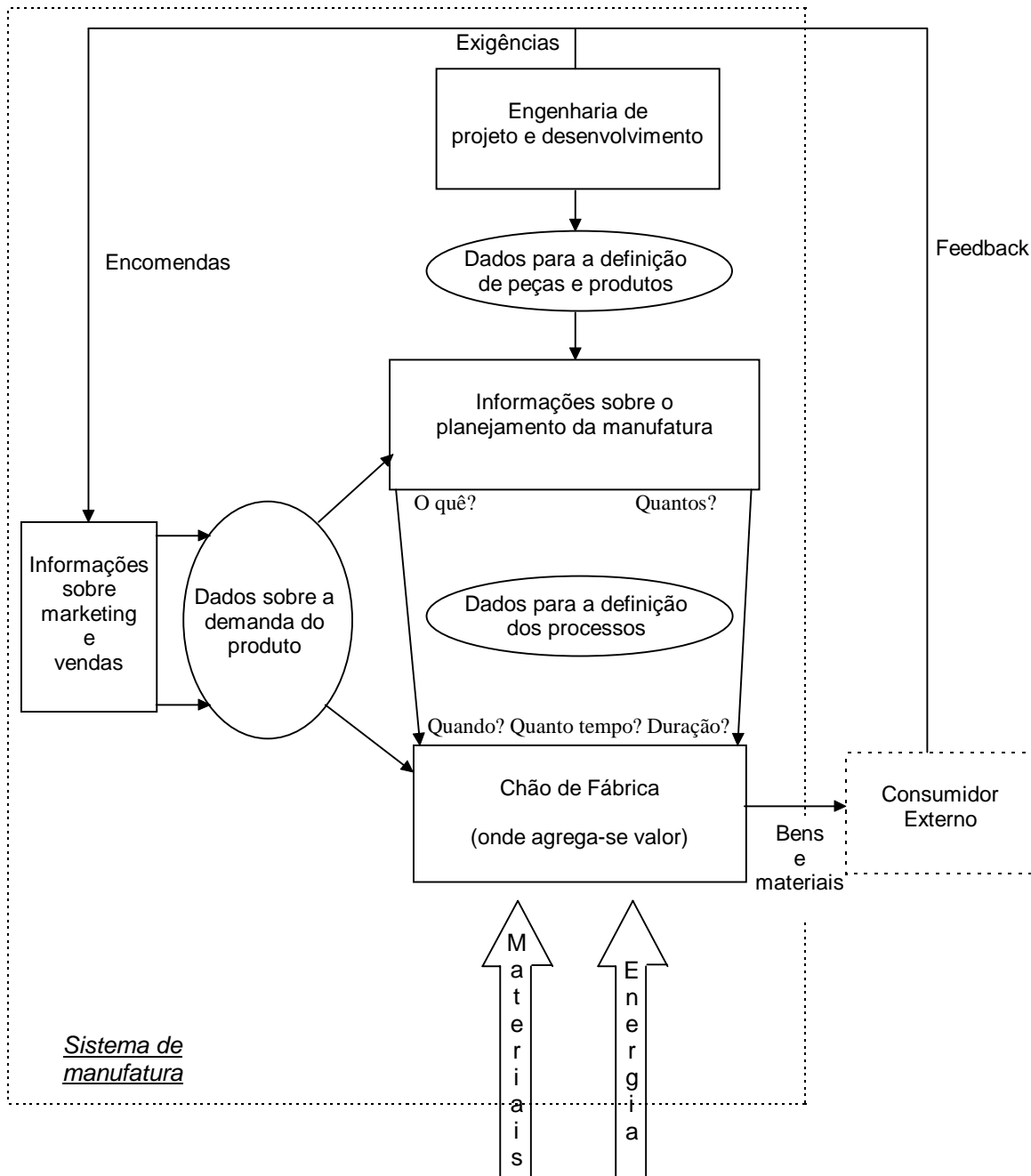


Figura 2.2. O sistema de manufatura e o chão de fábrica.

A fábrica modelo produz válvulas padronizadas e por encomenda. A figura 2.3 ilustra os componentes da fábrica, incluindo a engenharia, agendamento, controle e o chão de fábrica. Este último possui três máquinas-ferramenta para fabricar as peças; um robô para a montagem; uma estação de medição e uma unidade de gerenciamento de materiais consistindo de armazenamento de peças, um AGV para transporte de materiais e um setor de armazenamento de peças acabadas. O fluxo do produto é da esquerda para a direita, pelo que a matéria-prima entra no armazém de peças e de lá

trazido sucessivamente pelo AGV de uma máquina para outra para processamento. As peças completadas são depositadas no estoque de peças acabadas para envio para o consumidor. O planejamento e controle dessa fábrica é feito com a ajuda de uma rede de computadores que interliga todas as funções de manufatura da fábrica, incluindo os equipamentos de fabricação. Assume-se que esta fábrica é altamente automatizada e que ela contém uma base de dados contendo arquivos mestre do produto, métodos de engenharia, recursos e métodos de manufatura, recursos da fábrica, objetivos de qualidade e produtividade. Para processar os dados, existem algoritmos para atividades de engenharia, métodos de planejamento e agendamento, decisões sobre comprar ou fazer, e operações de controle de qualidade. As atividades principais de supervisão do sistema são engenharia, planejamento, agendamento, e controle, como ilustrado na figura 2.4. As atividades de liberação de ordem de serviço e verificação são funções designadas necessárias no processamento de uma encomenda e podem ser incorporadas em outras funções. Cada atividade é representada por um retângulo. Dados permanentes são introduzidos por cima, enquanto dados relacionados à encomenda e informações sobre novos processos e equipamentos são introduzidos pela esquerda. As atividades são disparadas por um ou mais eventos e ativadas por algoritmos de controle. A saída dos algoritmos de controle é enviada para a próxima atividade mais abaixo. Num sistema real, as informações são também alimentadas de volta para as atividades de maior nível, entretanto, por simplicidade isto é somente mostrado para os dados realimentados sobre a utilização dos recursos e a qualidade do produto. Um retângulo pode conter uma ou mais subatividades que são executadas em paralelo, em seqüência, ou de uma forma híbrida. Uma atividade pode ser ou processamento de informações ou processamento de materiais. A figura 2.5 mostra as funções de um retângulo de atividades.

Para exemplificar o funcionamento de um bloco de atividades, será explicado primeiramente um processo de informação onde peças são agendadas através de uma fábrica. Assume-se que o processo corresponde a uma operação de torneamento, e que a matéria-prima está localizada no buffer de entrada. O controle da fábrica envia um sinal de início para o ponto de decisão 1. Existe também um sinal de realimentação disponível nesse ponto, informando que a máquina está pronta para torner. A peça é então enviada do buffer para a máquina para ser torneada. Ao completar-se a peça, um sinal é gerado no ponto de decisão 2 para indicar ao sistema de controle da fábrica que a peça foi fabricada. Esta informação é usada para trazer a peça para o buffer de saída. Depois dessa pequena introdução ao bloco de atividades, será explicada a função do sistema de planejamento e controle.

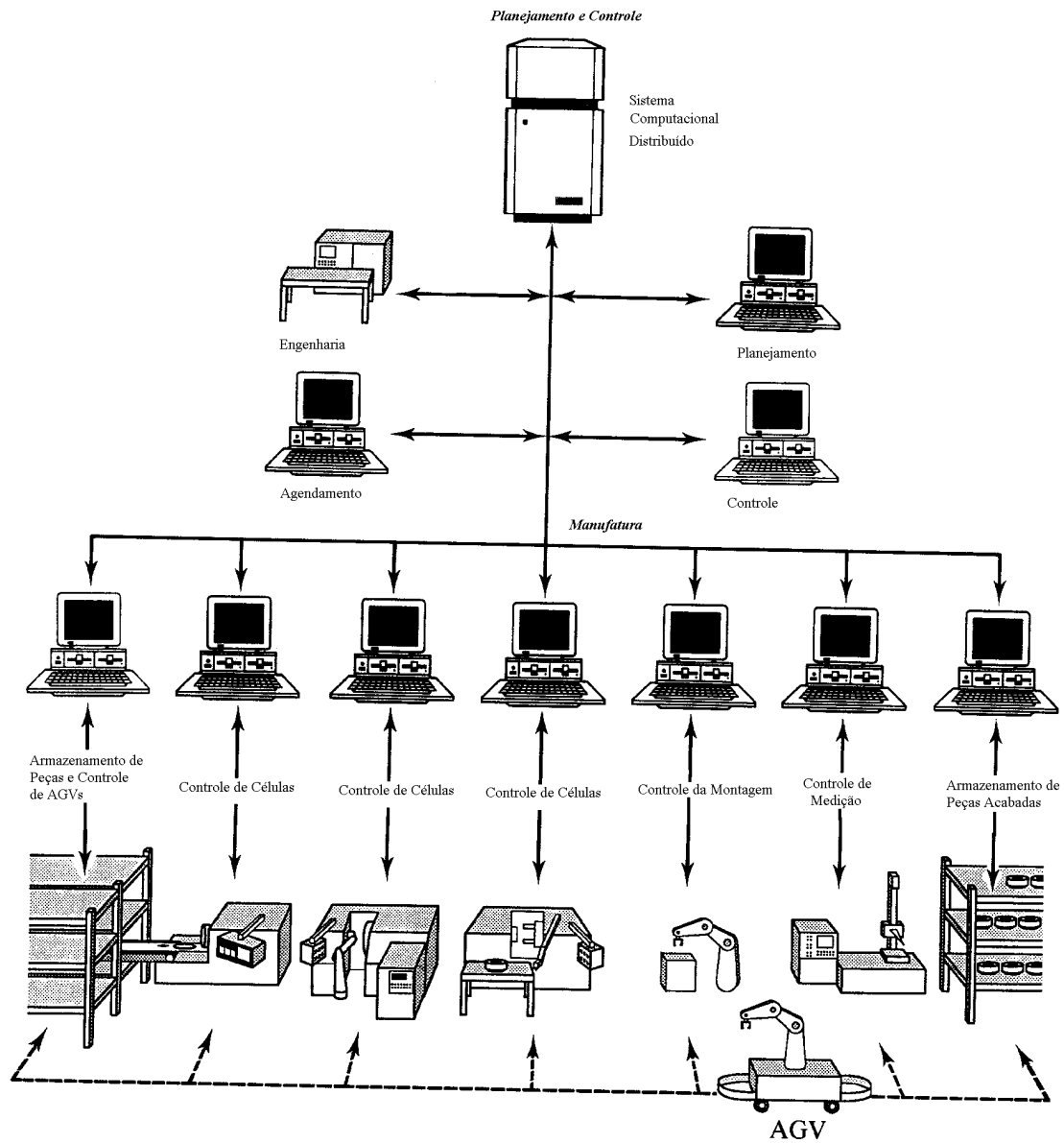


Figura 2.3. Um sistema de manufatura simples controlado por computador

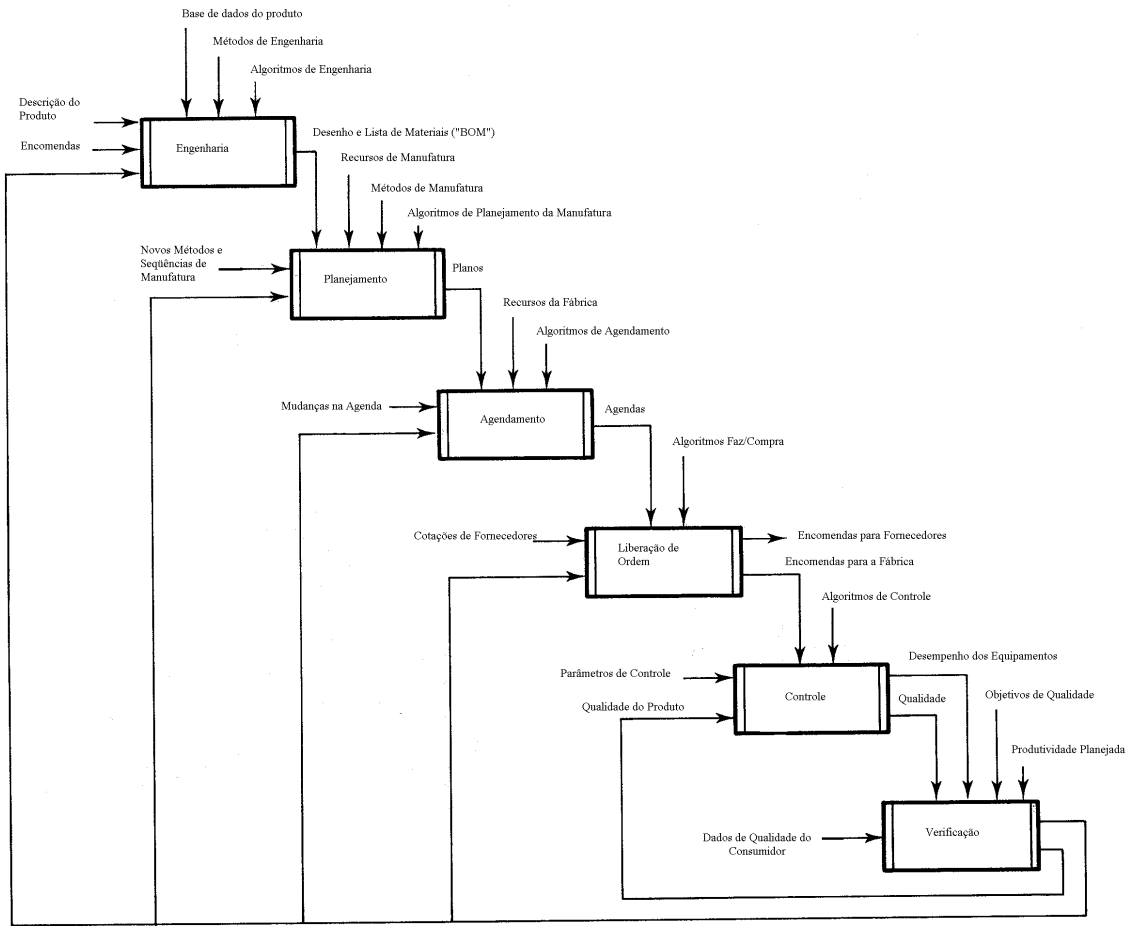


Figura 2.4. Atividades de planejamento e controle de um sistema de manufatura

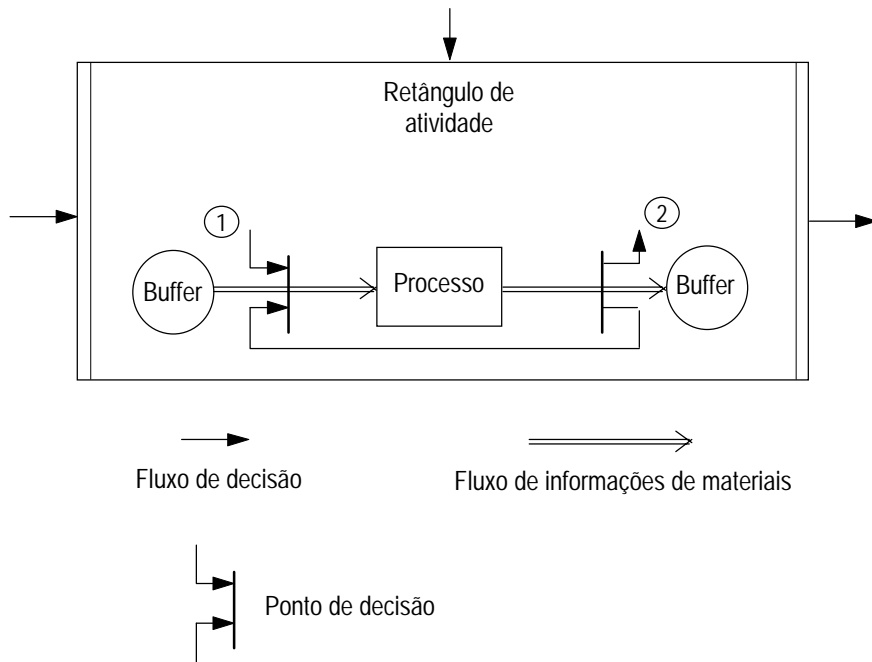


Figura 2.5. Fluxo de informações ou materiais através de um retângulo de atividades

Uma encomenda introduzida por um consumidor pode consistir de válvulas padronizadas ou encomendadas. No caso de uma válvula encomendada, uma descrição do produto é dada para a engenharia. A engenharia estará projetando o produto com o auxílio do computador usando métodos e algoritmos conhecidos. A saída desta atividade inclui os documentos de engenharia, consistindo do desenho, e a lista de materiais (“BOM”). A próxima atividade é o planejamento dos processos de fabricação. A base de dados de manufatura para recursos e métodos é examinada para obter o plano de processos contendo a descrição dos processos e seqüência de usinagem. Com este plano, a função de escalonamento será ativada. Neste ponto, a encomenda estará competindo com outras encomendas. Portanto, uma agenda deve ser encontrada que tenta aplicar uma estratégia de forma a satisfazer as datas de entrega. A agenda é introduzido na atividade de liberação de encomendas. Primeiro, decide-se se deve comprar ou fabricar, que pode resultar de uma boa proposta de um fornecedor para peças especiais, ou que pode ser necessário devido às datas apertadas de entrega.

Segundo, as peças a serem fabricadas na fábrica são liberadas para produção. As matérias-primas são trazidas para as máquinas e seqüencialmente usinadas até as suas formas e propriedades finais; finalmente o robô as monta. A usinagem da peça é simulada no computador e os programas NC são introduzidos nas máquinas para produzir os contornos desejados. Os algoritmos de controle para as máquinas serão fornecidos com os parâmetros de controle para produzir a quantidade desejada. A atividade de verificação compara a qualidade obtida com os objetivos de qualidade e o estado de qualidade do consumidor, e se necessário propõe correções ao controle. Além disso, verifica-se o desempenho dos equipamentos para apontar problemas e sugerir correções.

No caso de válvulas padronizadas, as atividades de engenharia e planejamento podem ser dispensadas porque todos os documentos de engenharia e planejamento já estão disponíveis.

Informações de realimentação sobre a utilização dos recursos de manufatura e a qualidade do produto são roteadas de volta para todas as atividades. Estas informações podem ser utilizadas com o seguinte. Primeiro, a razão para um defeito no produto pode ser devido a um projeto ruim, portanto o projeto teria que ser melhorado. Segundo, uma utilização dos equipamentos pode ser causada pela seleção inadequada de processo de manufatura. Isto pode causar a necessidade de um novo plano de processos. Terceiro, uma agenda não pode ser satisfeita devido a uma falha (quebra) na máquina. Isto pode resultar num reagendamento pelo envio de peças a fornecedores externos. Quarto, o processo de manufatura pode ter-se degradado paulatinamente e torna-se difícil obter as dimensões especificadas ou outros parâmetros de qualidade. Neste caso, a máquina pode necessitar de um ajuste ou novos parâmetros de controle.

Os Componentes Organizacionais e de Engenharia de um Sistema de Manufatura

Nesta seção será mostrado o sistema fabril através de um outro aspecto, isto é, o ambiente organizacional de engenharia e manufatura, como ilustrado na figura 2.6.

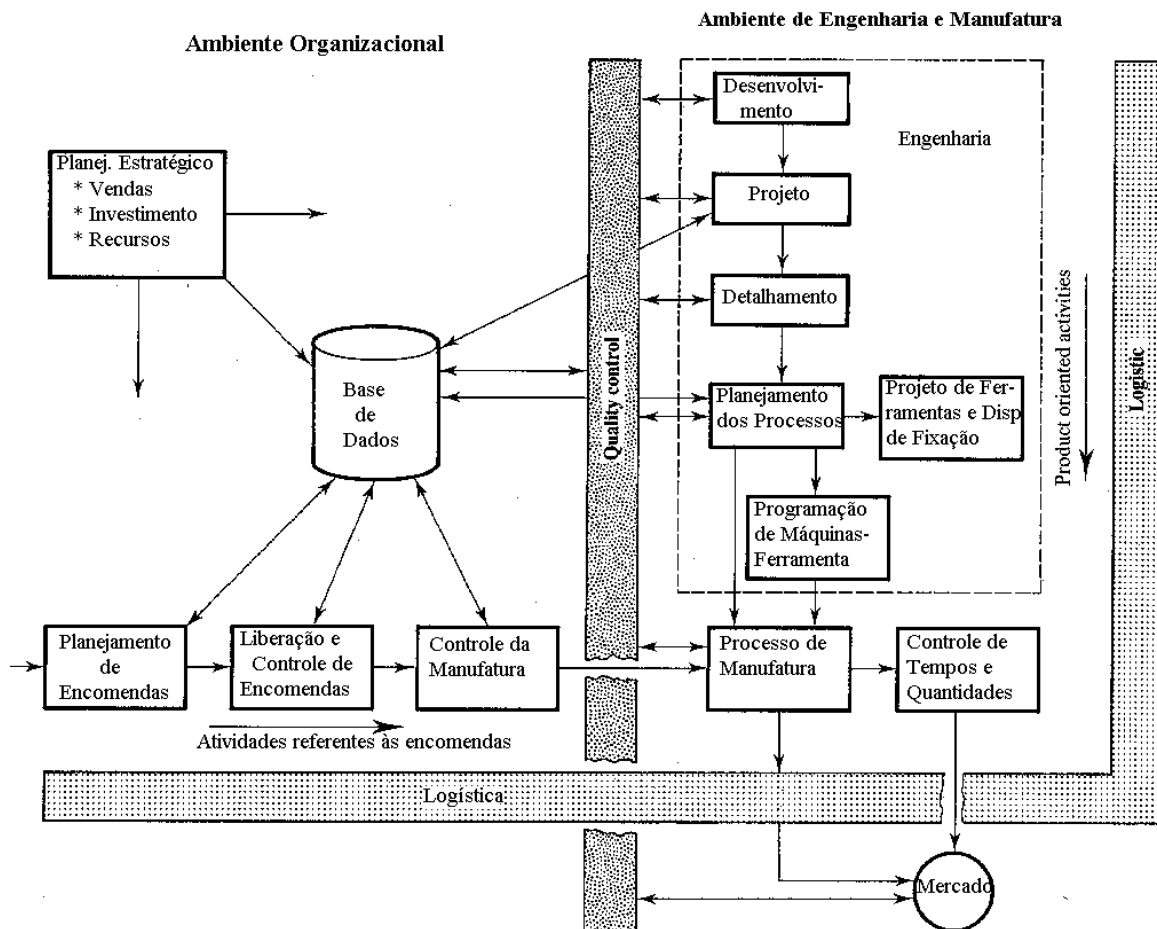


Figura 2.6. Ambiente organizacional, de engenharia e de manufatura de uma empresa

No lado esquerdo da figura estão as atividades organizacionais que são necessárias para encaminhar uma encomenda de sua entrada até o seu término. As funções são o planejamento de encomendas, liberação de encomenda e controle de encomenda, bem como o controle da manufatura. No centro da figura está a base de dados contendo o processamento de encomenda, engenharia e know-how de manufatura. As atividades específicas à encomenda têm uma conexão com a engenharia e manufatura para coordenar estas funções. A atividade de planejamento estratégico refere-se à operação a longo prazo.

No lado direito da figura estão as funções que efetuam a engenharia e manufatura do produto. Entretanto, deve haver uma forte cooperação entre a engenharia e a manufatura para assegurar que o produto pode ser fabricado economicamente. Em outras palavras, a engenharia deve ter um conhecimento profundo dos processos de manufatura. Teoricamente, deve ser possível para a

engenharia gerar automaticamente todos os documentos necessários para a manufatura, incluindo o desenho, a lista de materiais, o plano de processos e o plano de controle de qualidade.

A área hachurada corresponde à logística, que refere-se ao fluxo de dados e materiais ao longo da fábrica. Ela tenta vincular tais dados para obter um fluxo do produto desobstruído e otimizado ao longo da fábrica, desde o projeto até a entrega. Esta atividade é muito importante, e ela deve assegurar de uma maneira flexível que a peça certa está na estação certa no tempo certo. Ela fornece a informação necessária para o processamento de todas as peças.

A área escura indica as atividades de controle de qualidade que devem ser efetuadas durante a fabricação do produto. O último juiz para estabelecer os padrões de qualidade é o consumidor. A engenharia tenta determinar um limiar entre um produto bom de um ruim. Problemas com o produto são relatados pelo consumidor (mercado) de volta para garantia da qualidade. Com esta informação, uma tentativa é feita para incorporar qualidade ao produto. O esforço de fabricar produtos de alta qualidade é como uma linha vermelha ao longo de todo o processo de manufatura, onde em cada estágio a qualidade desejada é verificada.

Definição da Terminologia de Computadores na Manufatura

Com o advento do computador para o planejamento e controle das operações da manufatura, vários novos termos foram criados. Os mais importantes são os ilustrados na figura 2.7.

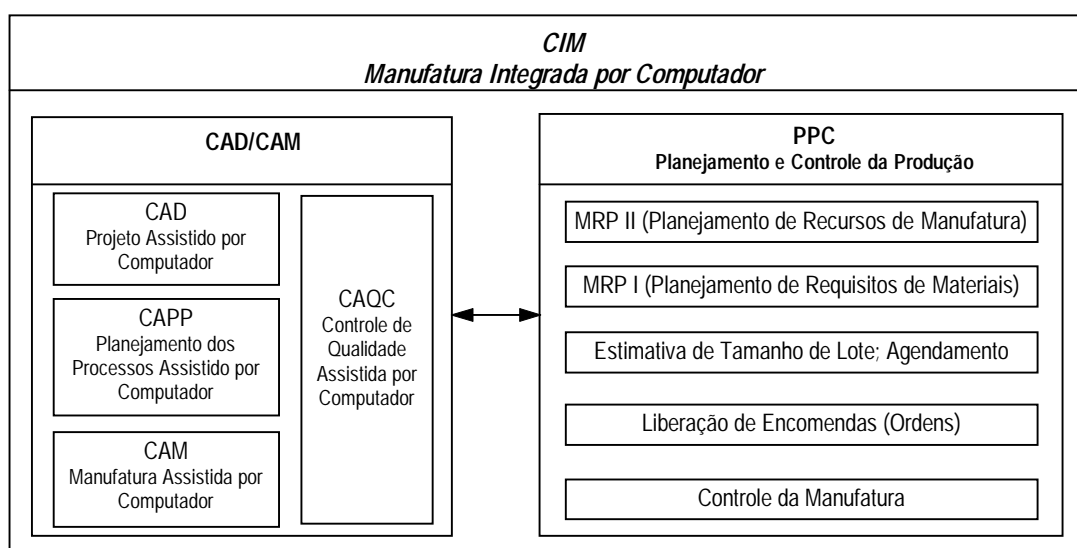
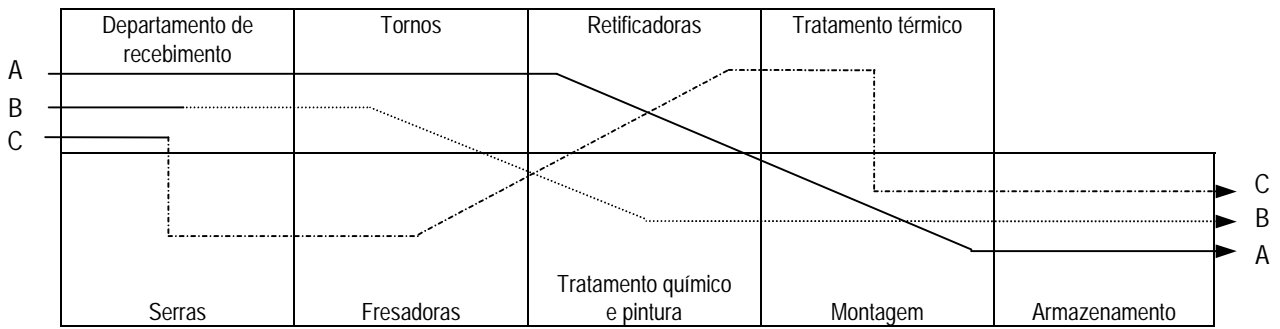


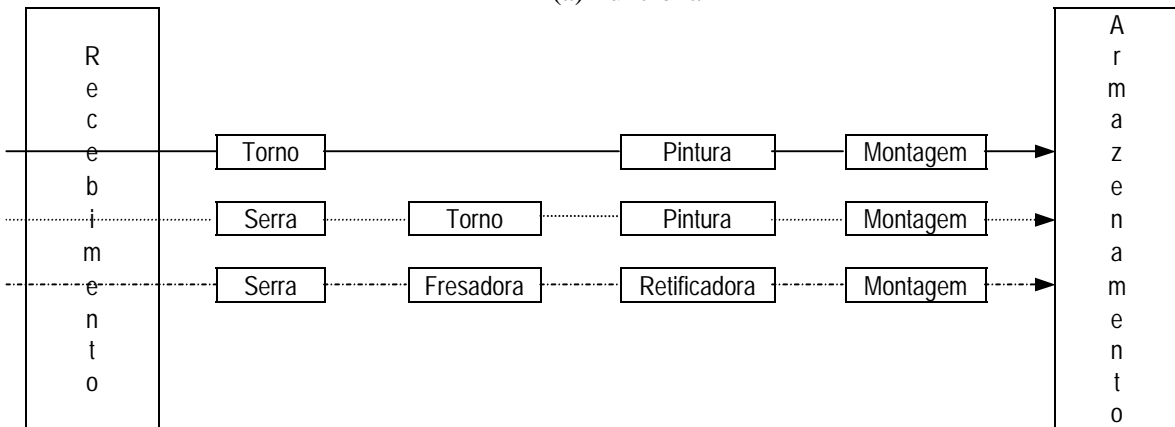
Figura 2.7. Atividades num S.M.I.C.

LAYOUTS DE SISTEMAS DE MANUFATURA

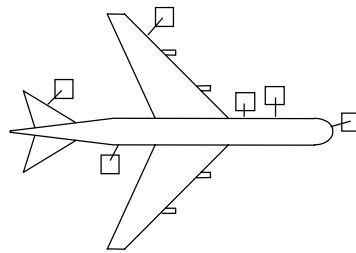
Cinco tipos de layout de sistemas de manufatura podem ser identificados: o job shop, o flow shop, o de células interligadas, o de projeto e o de processos contínuos. Este último lida com líquidos, pós e gases (como por exemplo uma refinaria de petróleo), em vez de peças discretas. A figura 2.8 mostra os quatro layouts tradicionais de sistemas de manufatura.



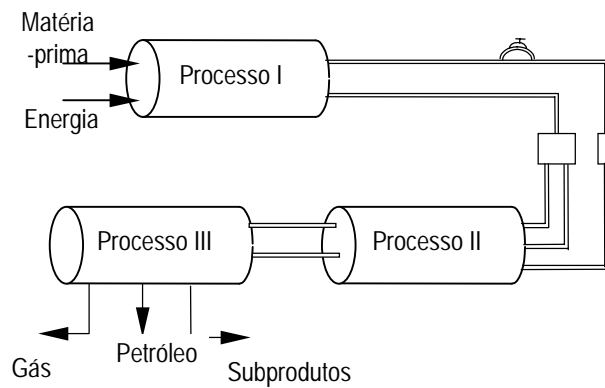
(a) Funcional



(b) Em linha



(c) Fixo



(d) Contínuo

Figura 2.8. Layouts esquemáticos de quatro sistemas de manufatura clássicos: (a) job shop (layout funcional); (b) flow shop (layout em linha ou por produto); (c) de projeto (posição fixa) e (d) processo contínuo.

O sistema mais comum nos EUA é o job shop, caracterizado pela elevada variedade de peças, máquinas flexíveis (de propósito geral), e um layout funcional (ver figura 2.9). Isto significa que as máquinas são agrupadas por função (todos os tornos juntos, todas as fresadoras juntas, etc.) e as peças são roteadas no chão de fábrica em pequenos lotes para as várias máquinas.

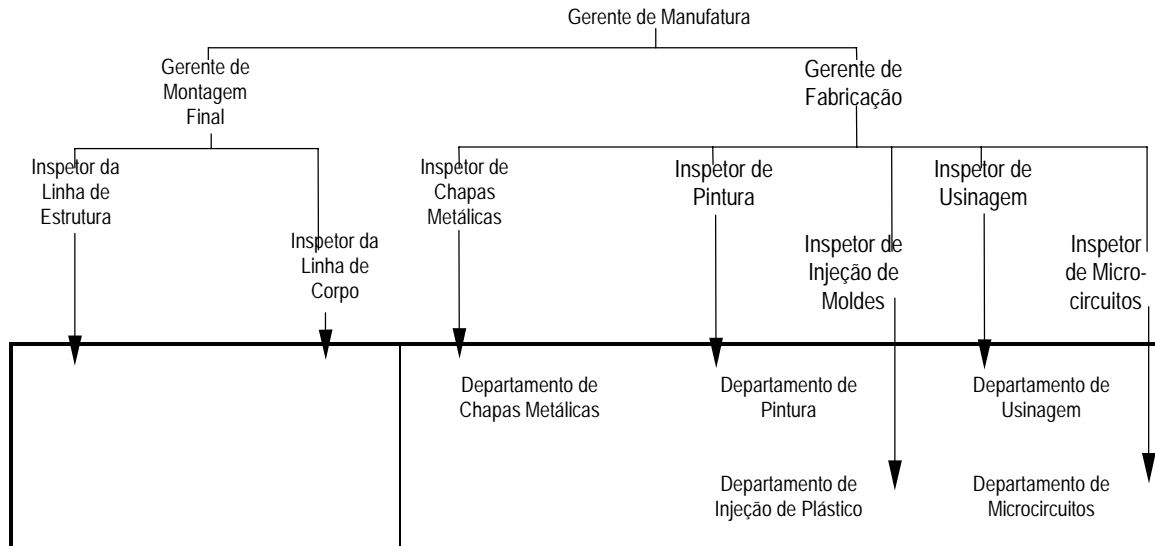


Figura 2.9. Um layout de uma fábrica projetada como uma job shop baseia-se no processo, e portanto resulta num layout funcional

Flow shops caracterizam-se por elevados tamanhos de lote, máquinas dedicadas, menos variedade e mais mecanização. Layouts de flow shop podem ser *contínuos* ou *interrompidos*. No caso de contínuos, eles basicamente executam um item complexo numa quantidade elevada e nada mais. Uma linha transfer produzindo um bloco de motor é um exemplo típico. No layout interrompido, a linha fabrica elevados lotes porém é periodicamente alterada para a fabricação de uma peça similar, mas diferente. A alteração pode durar horas ou até mesmo dias.

O layout fixo caracteriza-se pela imobilidade do item sendo fabricado. Nele, trabalhadores, máquinas e materiais vêm para o local do produto. Aviões, navios, locomotivas e pontes são bons exemplos. O número de itens finais não é normalmente muito elevado.

No sistema de células interligadas (L-CMS), utiliza-se uma forma singular de controle de estoque e informações (kanban) (ver figura 2.10). Gerentes de manufatura sabem que deve-se examinar o sistema job shop e reprojeta-lo para melhorar a sua eficiência global. Empresas de manufatura têm convertido seus job shops orientados a lotes para L-CMS. Um meio popular de formar uma célula é através do uso de Tecnologia de Grupo (GT).

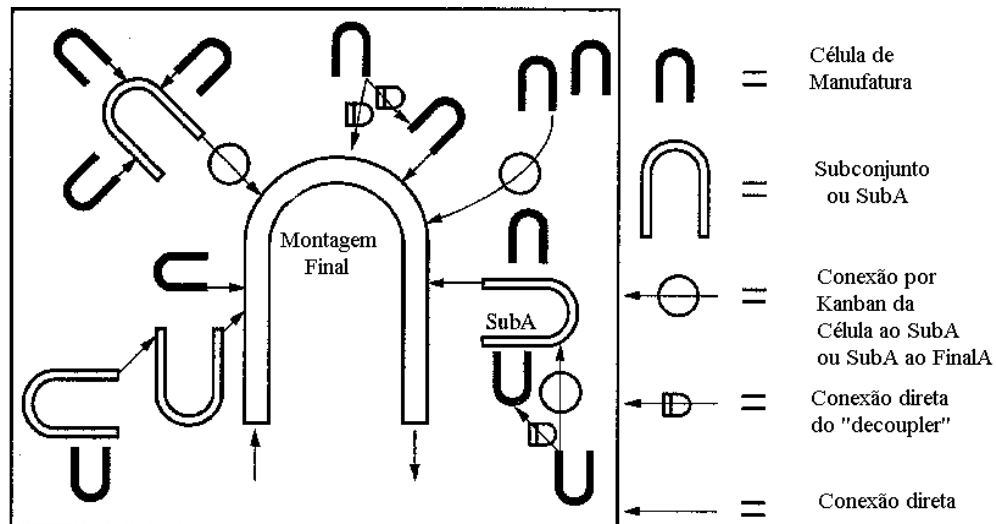


Figura 2.10. Uma fábrica projetada como uma L-CMS é orientada para o produto. As células são interligadas diretamente aos subconjuntos (subprocessos localizados no ponto de uso) ou com kanban

TG é uma filosofia na qual peças similares são agrupadas em famílias. Peças de tamanho e forma similar podem freqüentemente ser processadas por um conjunto similar de processos. Uma família de peças baseada na manufatura teria o mesmo conjunto ou seqüência de processos de manufatura. O conjunto de processos pode ser agrupado para formar uma célula. Portanto, com GT, job shops podem ser reestruturados em células, cada célula especializada numa determinada família de peças. Como ilustrado na figura 2.11, quando seqüências de processamento no job shop são avaliadas, descobriu-se que três células foram necessárias para acomodar o que era fabricado anteriormente no job shop. Nenhuma máquina nova foi necessária. De fato, algumas máquinas não foram mais necessárias. As máquinas terão pelo menos a mesma quantidade de utilização como no job shop, mas os produtos passarão bem menos tempo sendo processados. As peças são manuseadas menos, o tempo de setup é mais curto, o estoque intermediário é menor, o tempo de produção é significativamente reduzido, e o trabalhador é melhor utilizado.

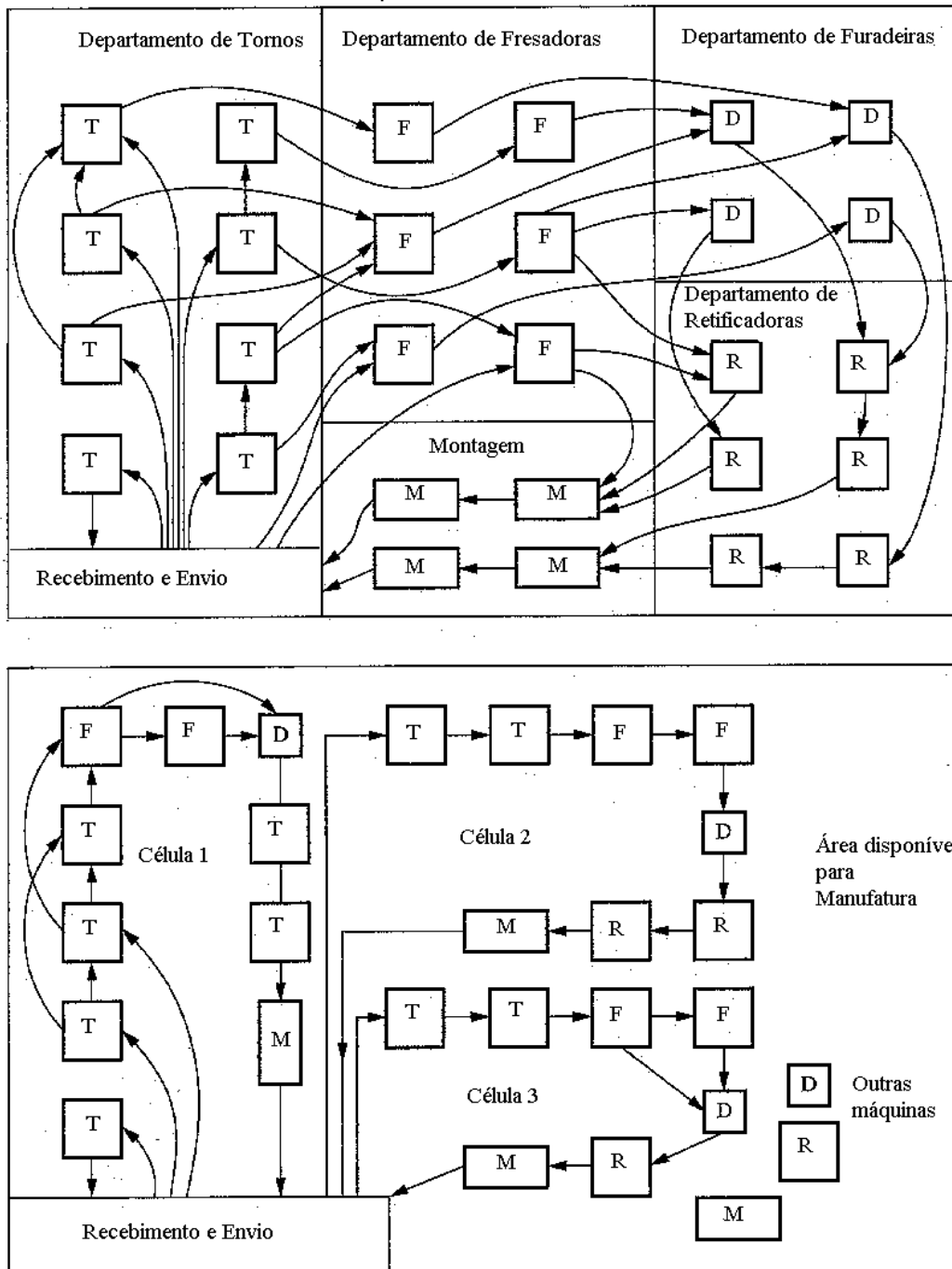


Figura 2.11. O sistema de manufatura clássico em uso comum hoje (o job shop) deve ser reconfigurado em células de manufatura

JOB SHOPS

A característica mais marcante dos job shops é a produção de uma larga variedade de produtos que resulta na manufatura de pequenos lotes, freqüentemente “one-of-a-kind”. A manufatura em job shops é feita normalmente para encomendas específicas do consumidor, mas na verdade muitos job shops produzem visando preencher estoques de produtos acabados. Como os job shops devem efetuar

uma grande variedade de processos de manufatura, equipamentos flexíveis de manufatura são necessários. Trabalhadores devem ter uma habilidade relativamente alta para efetuar diferentes tarefas. Produtos de job shops incluem veículos espaciais, aeronaves, máquinas-ferramenta, ferramentas especiais e equipamentos. A distribuição da capacidade total da fábrica para o job shop é ilustrada na figura 2.12. A fração de 6% da produção equivale aos 36% ilustrados na figura 1.10. Este cálculo assume que a capacidade teórica de 100% é igual a 365 dias \times 24 horas num dia. Estes números são bem baixos, mas eles demonstram claramente que o problema da produtividade reside em tornar o sistema de manufatura mais produtivo (e não os processos individuais).

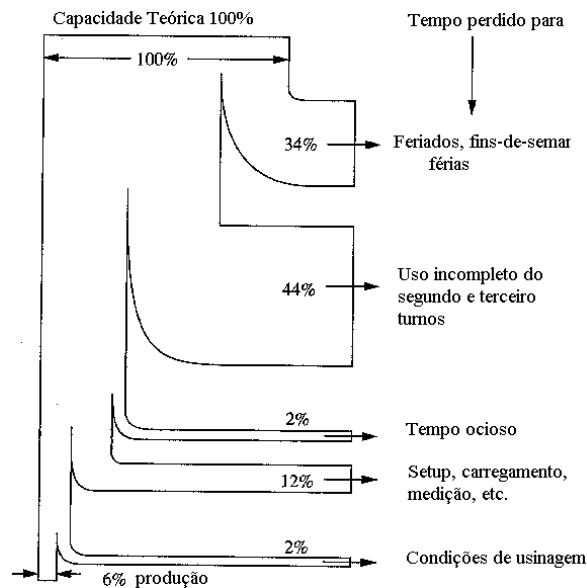


Figura 2.12. Distribuição da capacidade total de máquinas-ferramenta na fábrica job shop. São ilustrados valores típicos (1982)

No job shop, máquinas-ferramenta são agrupadas de acordo com a sua função. A vantagem desse layout é sua habilidade de fabricar uma grande variedade de produtos. Cada peça diferente requer sua seqüência singular de operações, que são roteadas através dos respectivos departamentos na ordem correta. Folhas de roteamento são utilizadas para controlar o movimentos dos materiais. Empilhadeiras e pequenos carros são utilizados para mover os materiais de uma máquina para outra.

Com o crescimento da empresa, o job shop evolui para um job shop de produção (PJS) como ilustrado na figura 1.11. O PJS torna-se muito difícil de se gerenciar com o seu crescimento, resultando em tempos elevados de produção e níveis de estoque intermediário muito elevados.

O sistema de manufatura PJS fabrica elevados volumes de produtos mas ainda em lotes, normalmente de 50 a 200 unidades. Os lotes podem ser produzidos somente uma vez, ou eles podem ser produzidos em intervalos regulares. O propósito da produção em lotes é freqüentemente satisfazer a demanda contínua do consumidor por um item. Este sistema normalmente opera da seguinte maneira: como a taxa de produção pode exceder a taxa de demanda do consumidor, a fábrica produz

estoque para o item A, então muda para o produto B para satisfazer outras encomendas. Isto envolve a mudança completa dos setups em muitas máquina para fabricar A e resetá-las para B. Quando o estoque do primeiro item se esgota, as máquinas são preparadas de novo para o produto A, e o estoque para A é preenchido novamente.

Os equipamentos podem ser projetados para mais elevadas taxas de produção. Por exemplo, tornos automáticos capazes de fixar muitas ferramentas e automaticamente carregar uma nova matéria-prima são utilizadas em vez de um torno paralelo. Máquinas-ferramenta são freqüentemente equipadas com dispositivos especiais de fixação, que aumentam a taxa de processamento, precisão e repetibilidade.

Equipamentos industriais, móveis, livros e peças para muitos produtos montados (aparelhos domésticos, cortadores de grama, etc.) são feitos em PJSs.

Estima-se que cerca de 75% de todos os equipamentos para a fabricação de peças é em tamanhos de lote de 50 ou menos, tornando o PJS uma porção importante do total da manufatura. Junto com os flow shops, os PJS são muito comuns nos EUA.

FLOW SHOPS

O flow shop tem um layout orientado para o produto (ver figura 2.13). Quando o volume torna-se muito grande, especialmente numa linha de montagem, ela chama-se produção em massa. Este sistema pode ter taxas de produção muito elevadas. São necessários equipamentos especializados, dedicado para a manufatura de um produto particular. Máquinas diferentes são agrupadas numa linha dedicada. Uma máquina de cada tipo é típica, exceto onde máquinas duplicadas são necessárias para equilibrar o fluxo. Toda a fábrica é freqüentemente projetada exclusivamente para a produção de um produto particular.

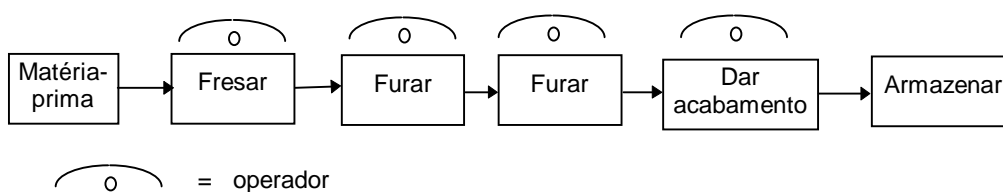


Figura 2.13. Esquema de um sistema de manufatura de linha dedicada

Os custos de investimento de máquinas e ferramental especializadas são elevados, bem como os riscos. Muita habilidade de fabricação são transferidas do operador para as máquinas, resultando em menores níveis de habilidade da mão-de-obra do que nos PJS. Itens são fabricados de forma a “fluir” através de uma seqüência de operações por dispositivos de manuseio de materiais (esteiras, correias, dispositivos de movimentação, etc.). Os itens movem-se através das operações um de cada vez.

O tempo que o item passa em cada estação ou localização é fixo e igual (balanceado). Balanceamento da linha significa que a quantidade de trabalho efetuado em cada estação é aproximadamente igual, de modo a reduzir o tempo parado numa estação. As linhas são preparadas para operar na velocidade mais alta possível independente das necessidades do sistema. Tal sistema não é flexível.

No sistema de manufatura de linha dedicada, os equipamentos são agrupados de acordo com a seqüência de operações do produto. A linha é organizada pela seqüência de processos necessária para fazer um único produto ou uma combinação regular de produtos. Normalmente, os tempos de setup para alterar de um produto para outro são longos e freqüentemente complicados.

Desde o nascimento da produção em massa, muitas abordagens e técnicas têm sido usadas para desenvolver máquinas-ferramenta que sejam altamente efetivas na manufatura em larga escala. Sua eficiência foi relacionada com o grau de padronização no projeto do produto e o tempo permitido entre mudanças no projeto. Uma máquina que produzirá uma peça com uma mão-de-obra com mínima habilidade pode ser desenvolvida, se a peça ou produto for altamente padronizado e será fabricado em altas quantidades. Uma máquina totalmente automática é um bom exemplo de tal máquina para a manufatura de pequenas peças. Uma linha transfer automática para a produção de blocos de motor V-8 na taxa de 100 por hora é um exemplo de uma supermáquina para a produção seriada de peças grandes. Veja a figura 2.9, onde ilustra-se alguns exemplos de linhas transfer. Estas máquinas especializadas são caras para projetar e construir e normalmente não são capazes de fabricar um outro produto. Estas máquinas devem ser operadas durante longos períodos de tempo para distribuir o custo do investimento inicial ao longo de várias unidades. Apesar de ser altamente eficiente, elas são usadas somente para fabricar produtos em elevados volumes. Mudanças desejadas no projeto de um produto devem ser evitadas ou atrasadas porque seria muito caro refugar as máquinas. Tais sistemas são claramente inflexíveis.

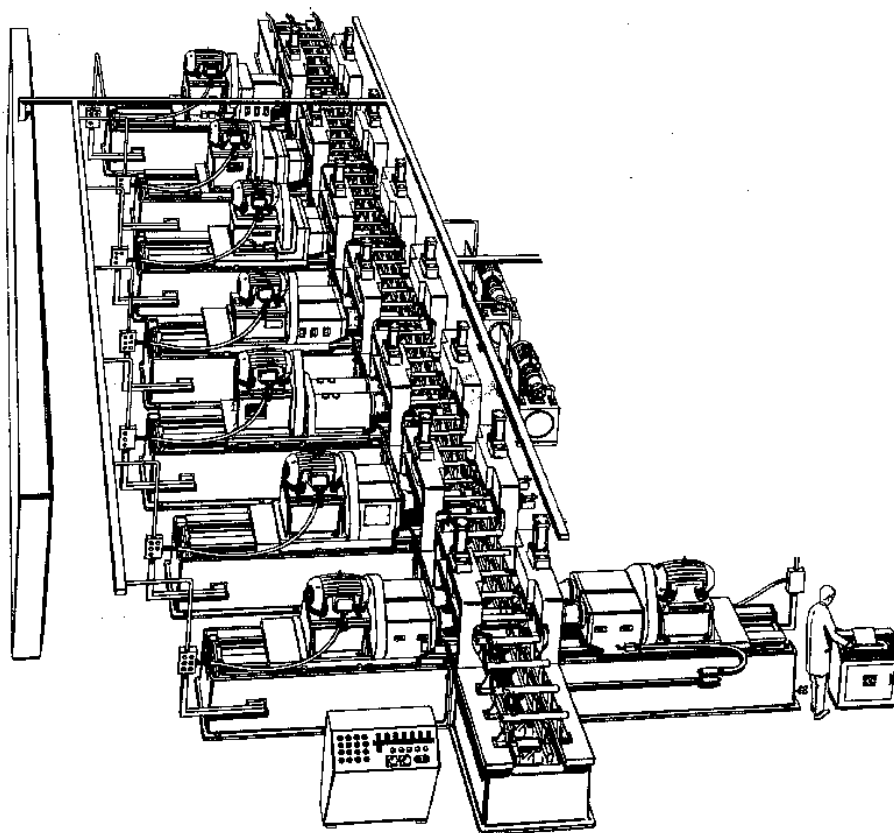
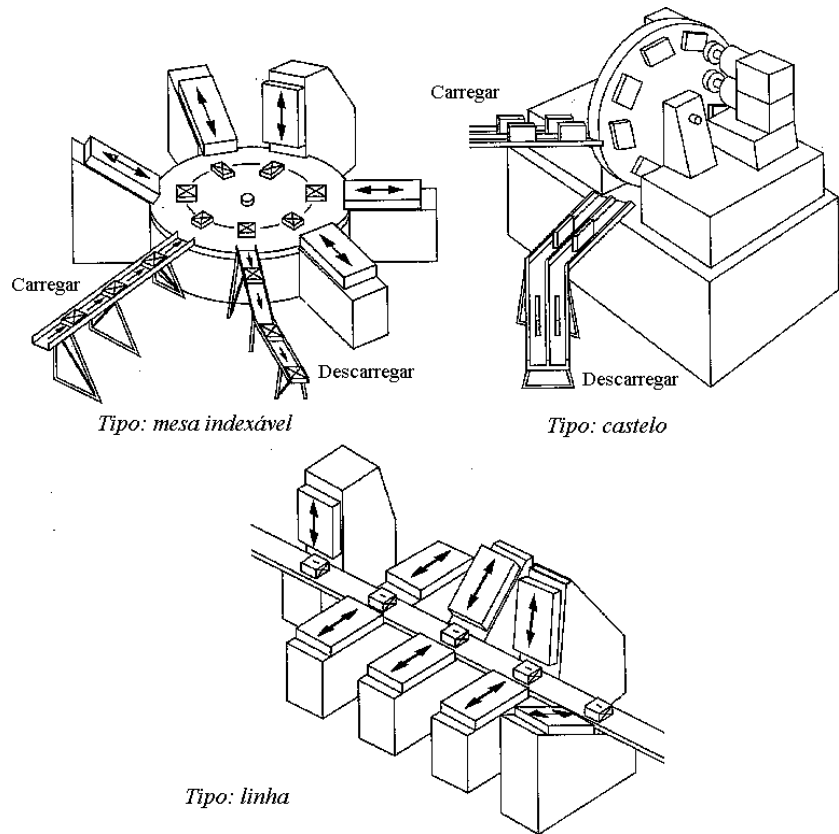


Figura 2.14. Exemplos de máquinas transfer

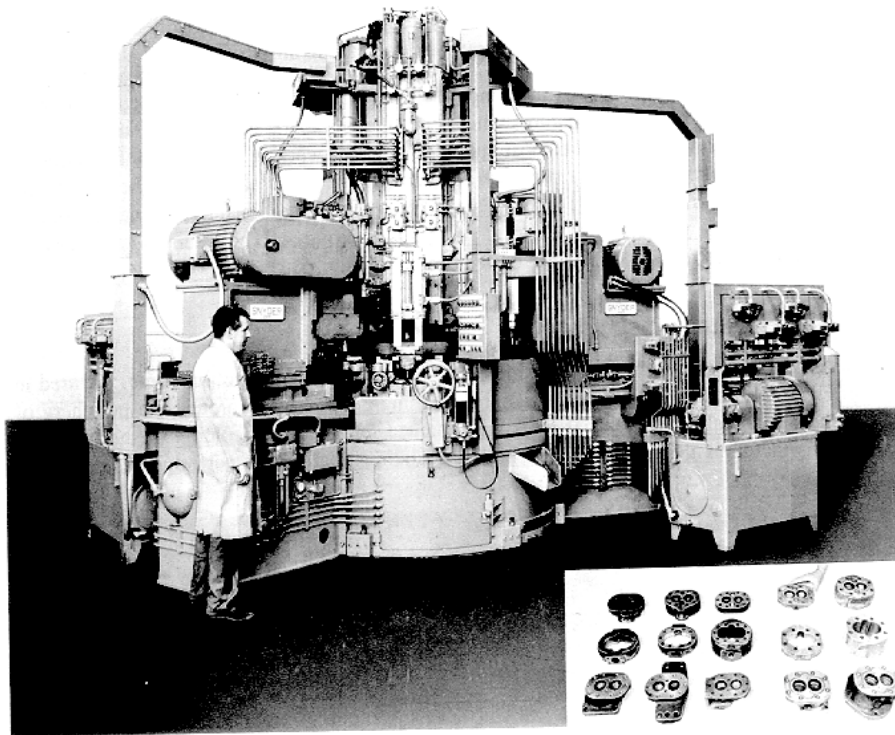


Figura 2.14. Exemplos de máquinas transfer (continuação)

Como mencionado anteriormente, o desenvolvimento da máquina de controle numérico (NC) na década de 50 permitiu o controle programável da posição da ferramenta em relação à peça. No fim da década de 60 modificadores automáticos de ferramentas haviam sido adicionados à máquina NC, e o centro de usinagem foi desenvolvido. Computadores foram adicionados, e agora a máquina-ferramenta CNC está disponível para todos os fabricantes. Veja a figura 2.15 para um exemplo de uma máquina CNC.

Produtos fabricados para satisfazer demandas de uma economia livre e dos mercados consumidores em massa de hoje, precisam ter mudanças em seu projeto visando melhorar seu desempenho bem como seu estilo. Portanto, sistemas de automação rígidos precisam tornar-se o mais flexíveis possível ao mesmo tempo em que retêm a habilidade de produzir em massa. Este reconhecimento levou a uma combinação da linha transfer com máquinas NC, nascendo assim o sistema flexível de manufatura (FMS). Os componentes primários de um FMS são a máquina NC, um sistema de manuseio de materiais, ferramentas, dispositivos de movimentação e fixação de peças (pallets), e redes de computadores. Um exemplo de um FMS é ilustrado na figura 2.16, que engloba oito centros de usinagem CNC de 4 eixos, cada qual equipado com um magazine de 90 ferramentas, e um sistema de mudança de pallets. Neste sistema é possível a fabricação de 500 peças diferentes. Nas figuras 2.16(b) e (c) são ilustrados outros exemplos de FMS's.

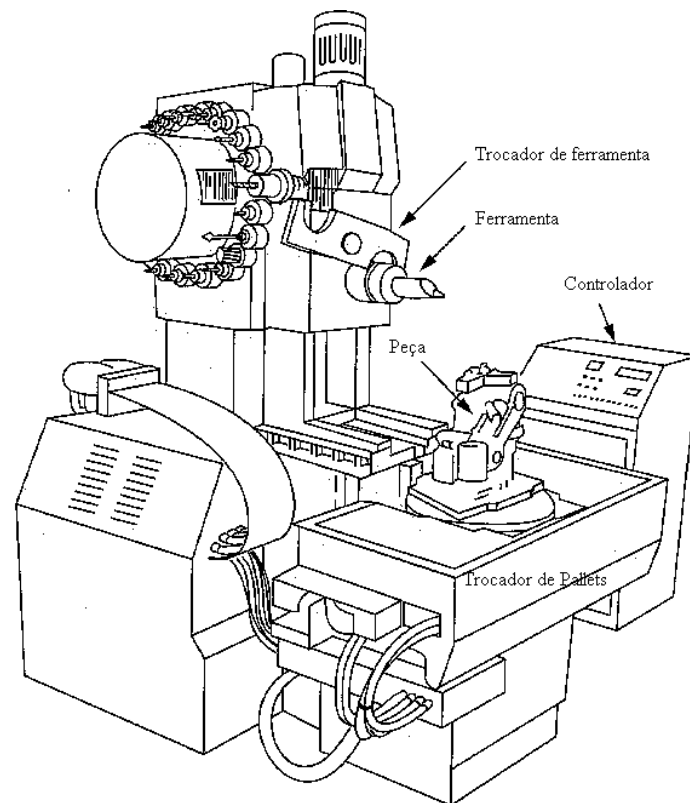


Figura 2.15. O centro de usinagem CNC permite operações de usinagem muito diferentes a serem executadas num único setup

Nestes sistemas uma peça individual é roteada para máquinas selecionadas para serem processadas. A programação é feita da mesma forma que para outras máquinas, entretanto a rota e o manuseio da peça devem ser incluídos. Em FMSs, elevadas taxas de produção podem ser obtidas economicamente.

Muito foi escrito sobre FMS's, e pesquisa sobre estes sistemas continua firme. Tais sistemas são caros para projetar, e são complexos de analisar e controlar. No final dos anos 80, cerca de 400 FMS existiam no mundo. Quase todos estes sistemas são encontrados em empresas bem grandes que podem comprá-los, ou que receberam suporte financeiro governamental (militar, defesa). O FMS representa a filosofia da supermáquina por excelência. Fundamentalmente, pretende-se combinar a flexibilidade de um job shop com a produtividade do flow shop. Os dispositivos de fixação são caros e complexos. O computador que controla o FMS deve lidar com a esteira, manter a biblioteca de programas NC e carregá-los nas máquinas, manusear o agendamento do FMS, rastrear a manutenção das ferramentas, rastrear o desempenho do sistema, e imprimir os relatórios de gerenciamento. Não há nenhuma surpresa no fato de que freqüentemente o software de FMS's é o fator que mais limita tais sistemas.

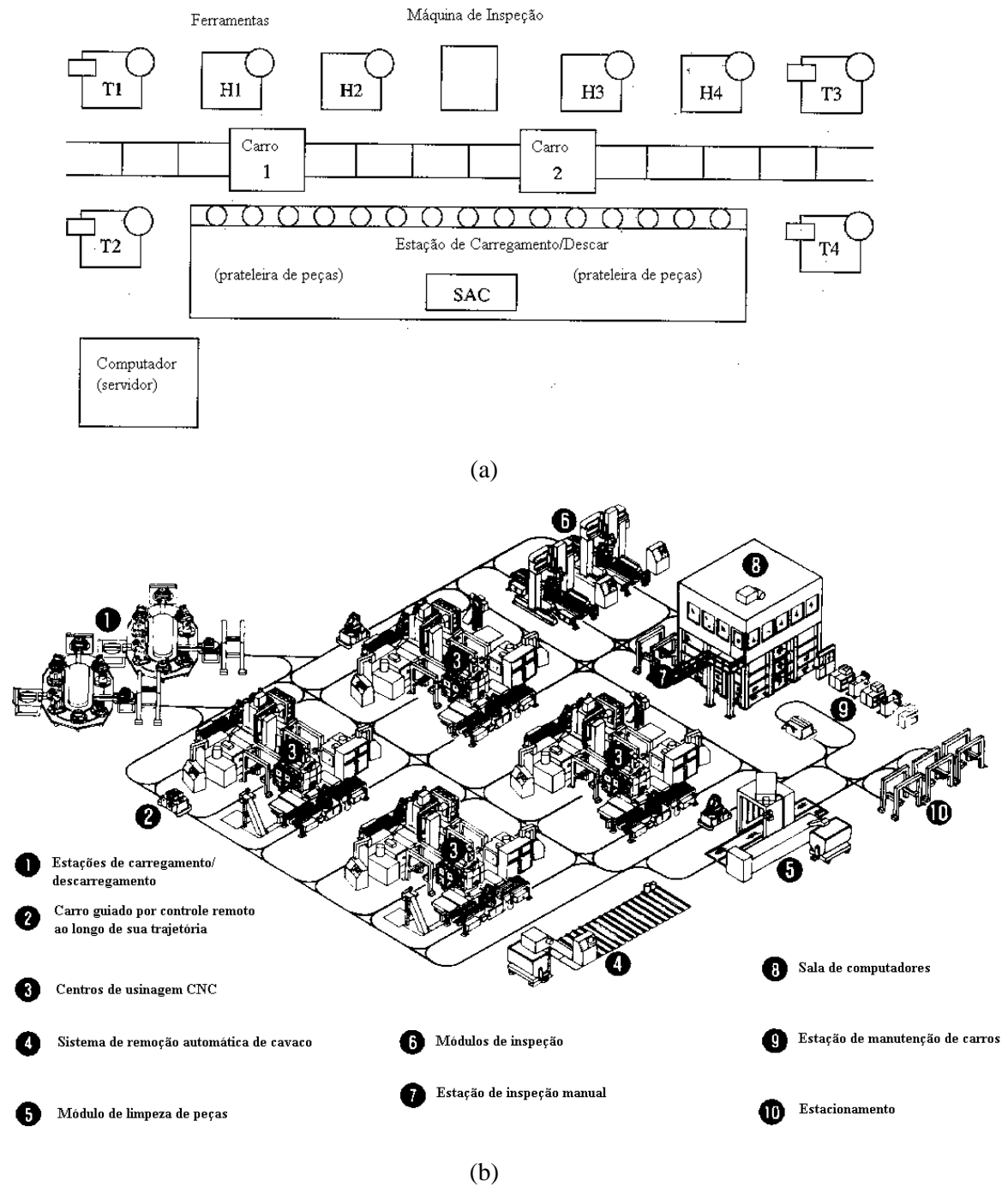


Figura 2.16. (a) Projeto de um sistema flexível de manufatura usado na empresa Detroit Diesel Allison, de Indianápolis, EUA; (b) Um sistema FMS na Vought Aircraft, EUA.

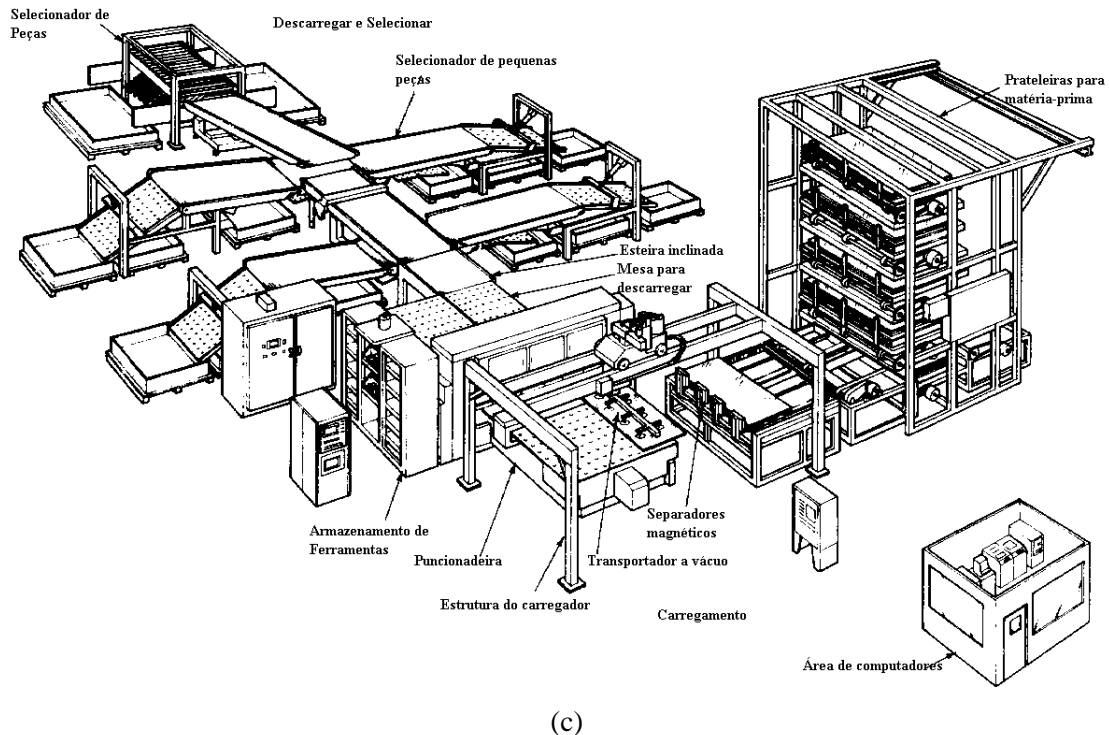


Figura 2.16. (c) FMS para a fabricação de peças em chapas, EUA.

LAYOUT FIXO

Num sistema típico de manufatura de layout fixo, um produto deve permanecer numa posição fixa durante a manufatura devido ao seu tamanho e/ou peso. Os materiais, máquinas e pessoas usadas na fabricação são trazidos para o local. Fabricantes de locomotivas e aviões utilizam tal layout (de posição fixa).

PROCESSOS CONTÍNUOS

Em processos contínuos, o produto flui fisicamente. Refinarias de petróleo, fábricas de processamento químico e processamento de alimentos são exemplos. Os produtos realmente fluem porque eles são líquidos, gases ou pós.

SISTEMA DE MANUFATURA COM CÉLULAS INTERLIGADAS (L-CMS)

O L-CMS é um dos mais novos sistemas de manufatura. Ele é composto de células de manufatura e montagem interligadas por um sistema pull para o controle de materiais. Nas células, as operações e processos são agrupados de acordo com a seqüência de manufatura que é necessária para fabricar um grupo de produtos. Este agrupamento assemelha-se ao flow shop mas é projetado para flexibilidade. A célula é freqüentemente configurada no formato em “U”, possibilitando os trabalhadores a mover de máquina para máquina, carregando e descarregando as peças. A figura 2.17 ilustra um exemplo de uma célula simples de manufatura manual. As máquinas na célula são

normalmente todas de ciclo único, de forma que elas possam completar o ciclo de usinagem sem supervisão humana, desligando-se automaticamente quando o ciclo é terminado. A célula normalmente inclui todo o processamento necessário para uma peça ou subconjunto completo.

Os pontos chave deste sistema são:

- As máquinas são agrupadas de acordo com a seqüência do processo.
- A célula é projetada num formato em “U”.
- Uma peça é feita de cada vez.
- Os trabalhadores são treinados para manusear mais do que um processo.
- O tempo do ciclo para o sistema dita a taxa de produção para uma célula.

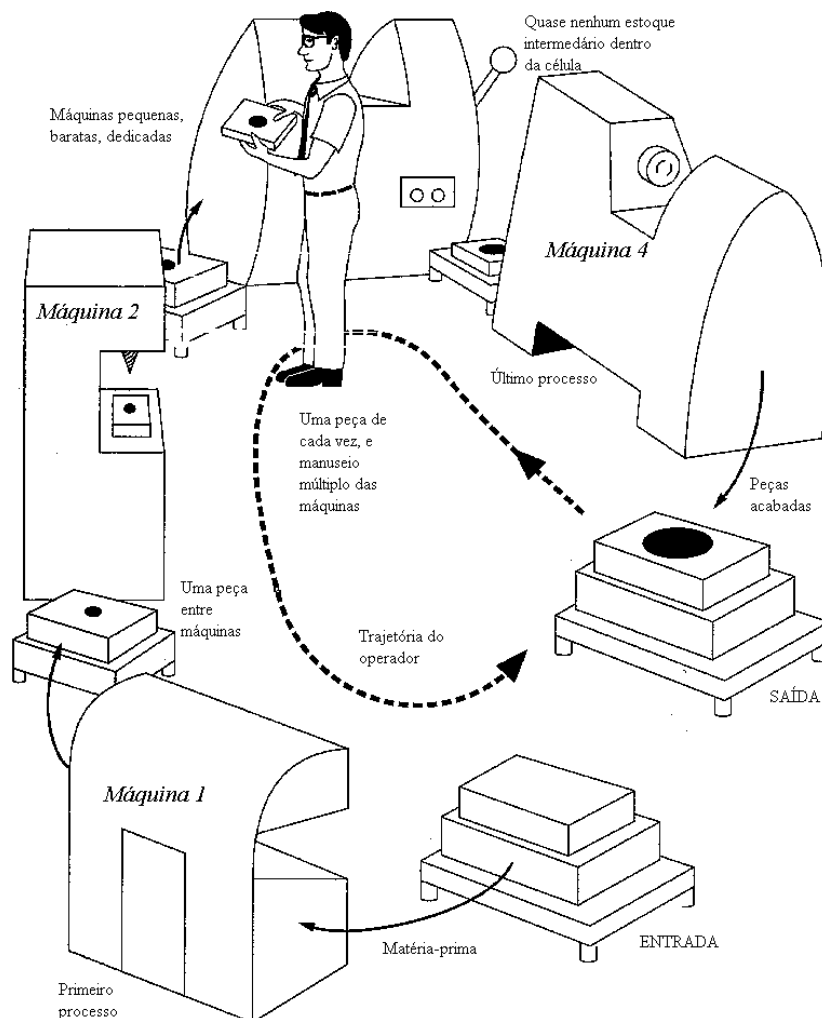


Figura 2.17. Pequena célula manual de manufatura com quatro máquinas e um operador .

Células são tipicamente manuais, mas células automáticas estão começando a emergir com um robô substituindo o trabalhador. Um projeto de uma célula robotizada é mostrado na figura 2.18 com

um robô e três máquinas CNC. Para a célula operar autonomamente, as máquinas devem possuir capacidade de controle adaptativo.

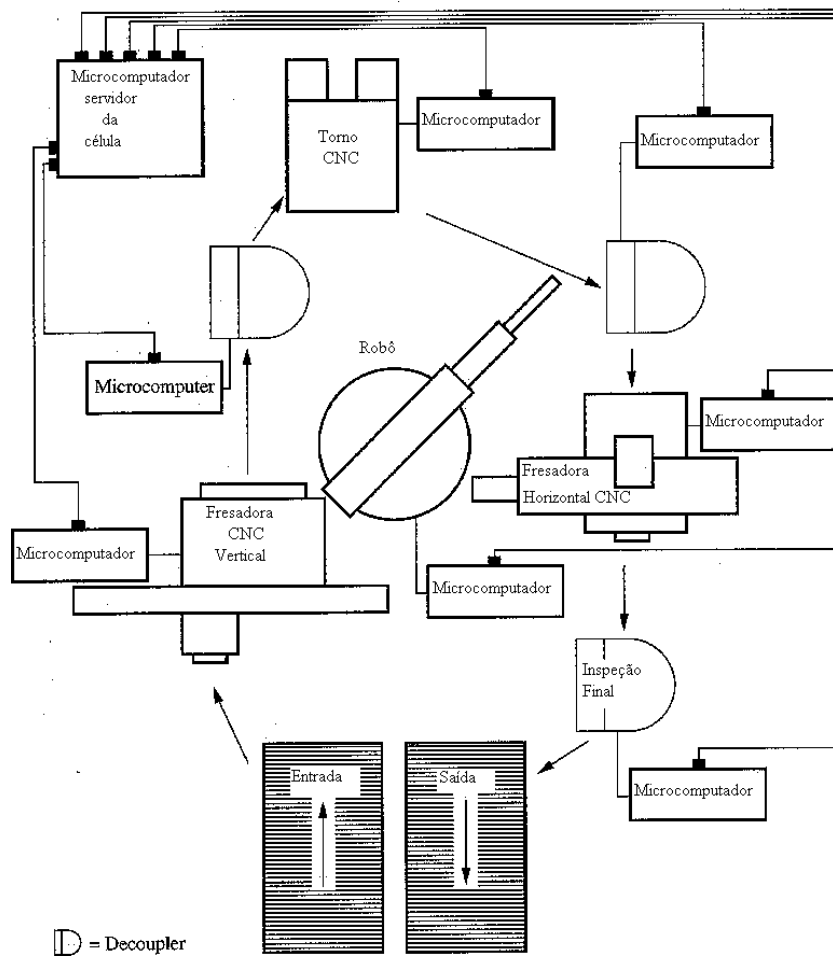


Figura 2.18. Célula robotizada com máquinas-ferramenta CNC, um robô para manuseio de materiais, e decouplers para flexibilidade e capacidade.

Para formar células, o primeiro passo consiste em reestruturar porções do job shop, convertendo-o em células manuais (ver figura 2.19). Células são projetadas para fabricar grupos específicos ou famílias de peças.

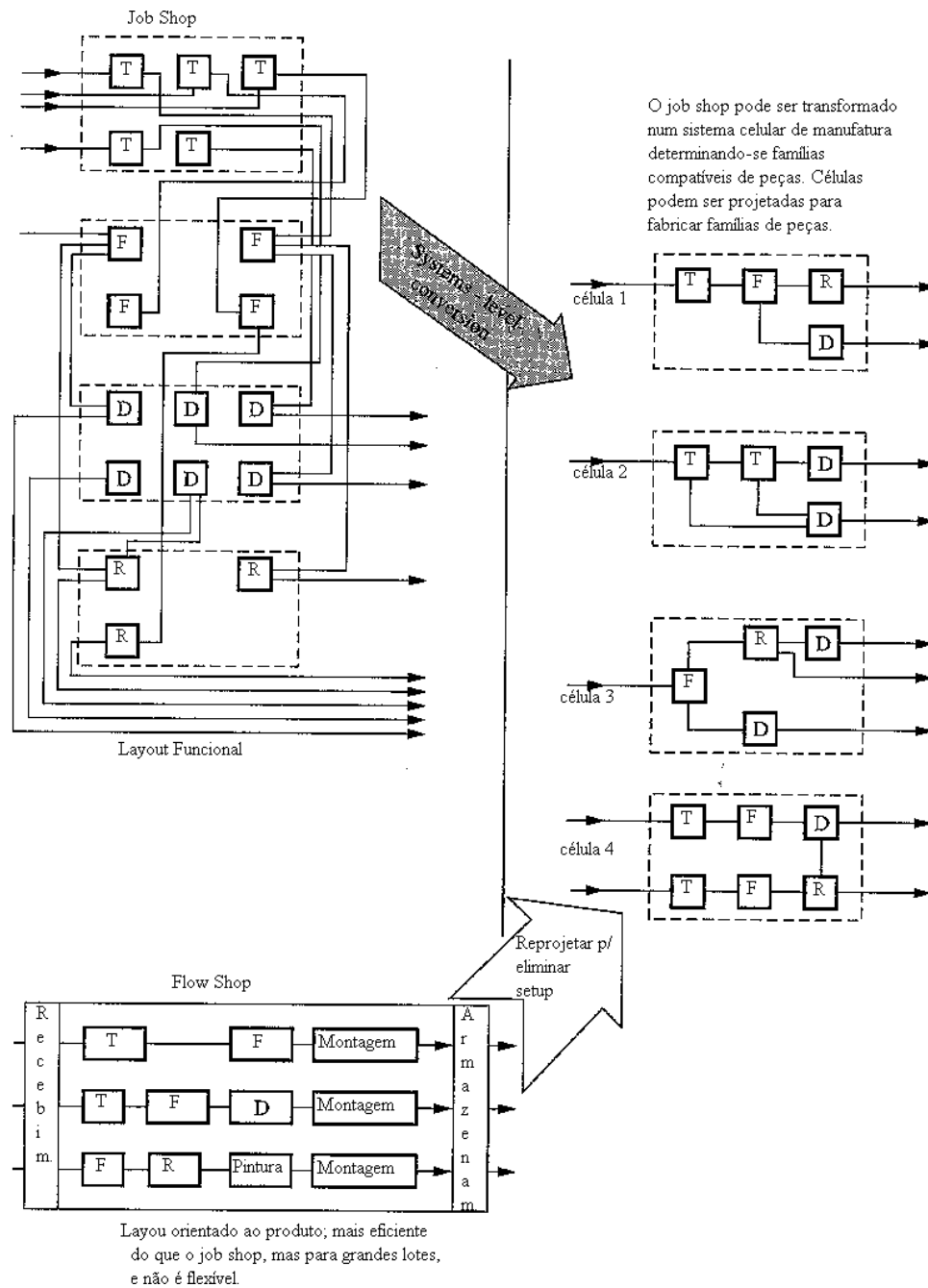


Figura 2.19. Dois sistemas clássicos de manufatura comumente utilizados hoje: o job shop e o flow shop, requerem a conversão a nível de sistema para serem reconfigurados em células de manufatura

Os elementos do flow shop dentro da fábrica são reprojetados para fazer tais sistemas operar como células. Para fazer isto, os longos tempos de setup típicos em linhas dedicadas devem ser vigorosamente reduzidos para que elas possam ser alteradas rapidamente de um produto para outro. A necessidade de balancear a linha dedicada toda vez que ela muda para uma outra peça deve ser eliminada. Isto pode ser alcançado com decouplers.

PROJETO PARA FLEXIBILIDADE

Flexibilidade é uma característica chave de sistemas de manufatura celular (CMSs). O sistema deve reagir a mudanças na demanda do consumidor e a mudanças no projeto do produto. Isto torna a fábrica muito orientada para o produto. . O critério principal de projeto é a flexibilidade nas seguintes áreas:

- Operação do equipamento - mudança rápida de ferramenta, nenhum ajuste, e detecção automática de erro.
- Mudança - facilidade de setup e velocidade de alteração das ferramentas.
- Processo - (a) diferenças nas operações e processos para peças diferentes; (b) diferentes seqüências de operações, diferentes comprimentos de corte; (3) habilidade de manusear uma combinação, uma ordem ou uma quantidade diferente de peças.
- Capacidade ou volume - habilidade de aumentar ou diminuir a produção (taxa e quantidade).

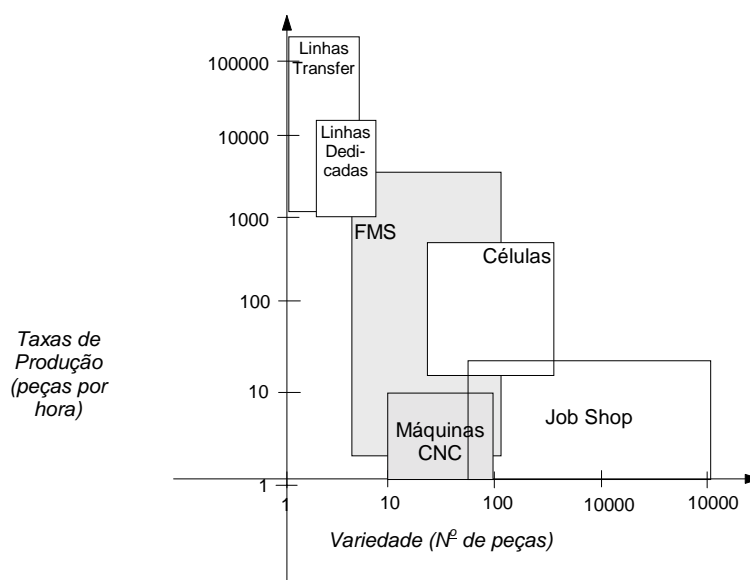
COMPARANDO CÉLULAS A OUTROS SISTEMAS

A tabela 2.1 fornece uma breve comparação das filosofias de S.I.M. com o job shop. A idéia no job shop é encontrar os gargalos no sistema e trabalhar para eliminá-los. Filas de materiais são vistas como uma necessidade que permite operações sucessivas a continuarem quando existe um problema com a operação de alimentação.

A figura 2.20 resume a discussão sobre sistemas de manufatura através da comparação entre sistemas diferentes, baseado nas suas taxas de produção e flexibilidade, isto é, o número de peças diferentes que o sistema pode manusear. O de layout fixo e processos contínuos não são mostrados.

Tabela 2.1. Como a filosofia de S.I.M. difere daquela do job shop

<i>Fatores</i>	<i>S.I.M.</i>	<i>Job Shop</i>
Estoque	Um grande risco. Todo esforço deve ser feito para minimizar estoque.	Uma vantagem. Ele protege contra erros de provisão, problemas de máquinas, atrasos na entrega de fornecedores. Mais estoque é "mais seguro" e necessário.
Tamanhos de Lote	Reduzir o tamanho de lote. A menor quantidade é desejada tanto para a manufatura como para as peças compradas.	Rever o cálculo do tamanho de lote ótimo com alguma fórmula baseada na relação entre o custo de estoque e o custo de setup.
Setups	Eliminar/reduzir os setups através de mudanças extremamente rápidas para minimizar o impacto. Isto permite pequenos tamanhos de lote e uma grande variedade de peças a serem feitas freqüentemente.	Baixa prioridade. Produção máxima é normalmente o objetivo. Raramente pensa-se em minimizar-se o tempo de mudanças.
Fornecedores	Fornecedores são células remotas, parte da equipe. Diariamente, múltiplas entregas de todos os itens ativos são esperadas. O fornecedor cuida das necessidades do consumidor, e este trata o fornecedor como uma extensão da fábrica.	Adversários. Origens múltiplas são a regra, e é típico colocá-los uns contra os outros.
Qualidade	Defeito zero. Se a qualidade não é perfeita, então melhorias devem ser implementadas. A melhoria contínua nas pessoas e nos processos é o objetivo.	Tolerar algum refugo. Rastrear qual tem sido o refugo real e desenvolver uma fórmula para prevê-lo. Planejar uma quantidade extra para cobrir perda por refugo.
Manutenção de equipamentos	Constante e efetiva. Quebra de máquina e falha de ferramentas devem ser eliminadas.	Quando necessário. Não é crítico porque estoque está disponível.
Lead-times ²	Mantê-los mínimos. Isto simplifica a tarefa de marketing, compras e manufatura ao mesmo tempo em que reduz a necessidade de expedição.	Quanto mais longo melhor. A maioria dos inspetores e agentes de compras querem mais lead-time, não menos.
Trabalhadores	O consumidor interno. Mudanças não são efetuadas até que se chegue a um consenso. O envolvimento dos empregados é fundamental.	Gerenciamento por decreto. Novos sistemas são instalados apesar dos trabalhadores, não graças aos trabalhadores. Medidas são usadas para determinar se os trabalhadores estão atuando segundo as ordens.

**Figura 2.20.** Uma comparação de diferentes tipos de sistemas de manufatura com células

² Lead-time é o tempo total necessário para fabricar um dado produto na fábrica.

Famílias de peças com projetos similares, dispositivos de fixação flexíveis, e mudanças de ferramentas e máquinas programáveis permitem mudanças rápidas de uma peça para outra. Mudança rápida significa um setup rápido e “num toque”, freqüentemente como acender uma lâmpada. Uma redução significativa de estoque entre as células é possível, e o nível de estoque pode ser controlado diretamente. A qualidade é controlada dentro da célula, e os equipamentos dentro da célula são mantidos rotineiramente pelo trabalhador. Estas características serão discutidas mais tarde.

Para células robotizadas, o robô tipicamente carrega e descarrega peças de uma das cinco máquinas-ferramenta CNC, mas este número pode ser aumentado se o robô torna-se móvel. Um centro de usinagem representa uma célula com uma máquina, porém é flexível como uma célula composta de máquinas simples porque a sobreposição de tempos de usinagem é eliminada. Layout celulares facilitam a integração de funções críticas da produção, ao mesmo tempo que mantém-se a flexibilidade ao produzir-se produtos de qualidade superior. As células fornecem a melhoria e o enriquecimento da tarefa para o trabalhador

Talvez o fator mais importante neste sistema é que o projetista do produto pode facilmente ver como as peças são fabricadas na célula, pois todos os processos são feitos juntos. Como técnicas de controle de qualidade são também integradas às células, o projetista sabe exatamente a capacidade da célula (isto é, a precisão das peças feitas pela célula comparada com as especificações). O projetista pode facilmente configurar os projetos futuros a serem feitos na célula. Isto é verdadeiramente o projeto para a manufatura.

Quando plota-se o quociente custo de manufatura/peça em função da taxa de produção para os diferentes princípios descritos acima, obtém-se as curvas ilustradas na figura 2.21, que mostra que cada tecnologia tem o seu lugar na manufatura. Deve-se notar que para cada método existe um ponto mínimo.

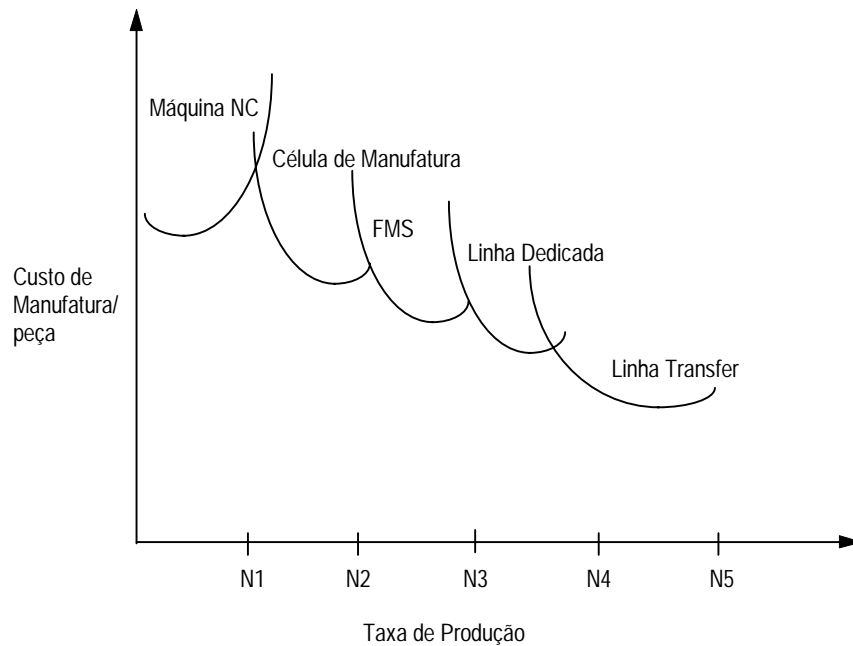


Figura 2.21. Custo relativo de manufatura de peças X taxa de produção para diferentes tecnologias de manufatura

AS FUNÇÕES DE UM SISTEMA DE MANUFATURA

Um sistema de manufatura consiste de funções que são interligadas por um sistema complexo de comunicação, muitas vezes controlado por computador. O computador dá suporte ao planejamento estratégico e tecnológico, planejamento e agendamento organizacional, controle da manufatura e funções de monitoramento e contabilidade. Neste sistema, o fluxo de informações, de recursos e de materiais tem que ser controlado de uma maneira precisa para servir o mercado consumidor com um produto de alta qualidade e assegurar a saúde financeira da empresa. Existem inúmeros modelos para representar as interações entre as várias funções de um sistema de manufatura. Será usado o modelo ilustrado na figura 2.22, que dá uma boa visualização de um sistema completo de manufatura. As interações entre as várias funções não são tão simples quanto ilustradas. É virtualmente impossível descrever todas as comunicações microscópicas e malhas de controle de uma organização de manufatura.

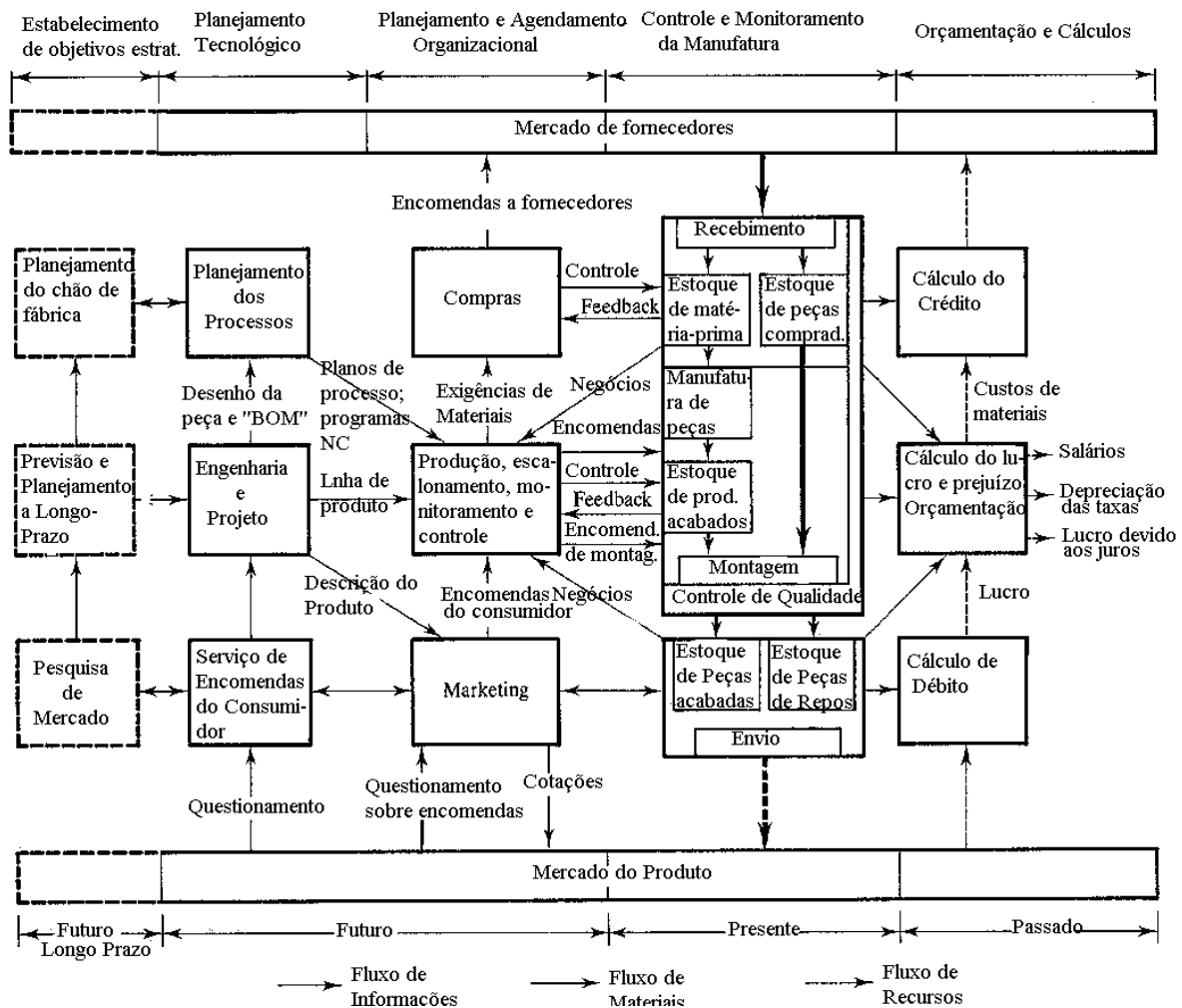


Figura 2.22. Funções básicas de um chão de fábrica para a manufatura de pequenos e médios lotes

O modelo na figura 2.22 tem duas escalas horizontais. A escala superior indica como as atividades podem ser agrupadas pelos tópicos de planejamento e controle. A escala inferior mostra as faixas de tempo para cada atividade. As setas usadas na figura indicam o fluxo das informações, materiais e recursos.

Na prática, os modelos variam e não é necessário que seja igual ao ilustrado na figura 2.22. Toda organização será estruturada de acordo com um modelo específico, que deve ser desenvolvido internamente, preparado por uma empresa de consultoria, ou copiado de outra empresa de manufatura. A estrutura de um modelo depende do método de manufatura utilizado, do tipo de produto e combinação de produtos fabricados, e do ambiente no qual a empresa fabrica seus produtos e envia-os para o mercado. Nas indústrias de manufatura, não existe uma terminologia padrão sendo usada. Sempre que possível seleciona-se termos comuns para este modelo que o leitor deve ser capaz de entender. As funções das atividades individuais de manufatura serão descritas mais tarde.

PESQUISA DE MERCADO

Uma organização de manufatura deve definir seu lugar no mercado e seus objetivos. Por esta razão, ela deve conhecer o potencial do mercado, os desenvolvimentos demográficos, as tendências técnicas e comerciais, inovações de produtos, futuros fornecedores de equipamentos e materiais, disponibilidade de mão-de-obra e recursos financeiros, e seu status competitivo. A pesquisa de mercado é uma função onde dados básicos, que são necessários para assegurar uma posição firme e forte no mercado, são sistematicamente obtidos de publicações e especialistas. Então, faz-se uma avaliação destes dados, através de métodos matemáticos e científicos de previsão, tais como métodos estatísticos. Os resultados são usados para o planejamento e previsão de longo prazo, e para a tomada de decisões estratégicas. Frequentemente esta previsão refere-se a 10 a 20 anos no futuro. Obviamente, a precisão destes dados reduzirá com o aumento no número de anos para os quais a situação de mercado está sendo avaliada. Esta atividade deve ter uma vinculação forte com o serviço de atendimento ao consumidor e ao marketing para avaliar novas idéias de vendas, desejos do consumidor e reclamações.

PREVISÃO DE LONGO PRAZO

Na previsão de longo prazo, determina-se o produto ou linha de produtos a serem colocadas no mercado. A empresa precisa conhecer a taxa anual de produção, as características do produto, a localização e o layout do chão de fábrica e o tipo de equipamentos de manufatura necessários. A taxa de produção determina o método de manufatura, processos, tipo de matéria-prima sendo usada e os procedimentos de controle de qualidade sendo aplicados. Normalmente, uma fábrica existente terá que ser modernizada e equipada com processos e máquinas mais modernos. Meios têm sido aplicados de forma a não interromper as operações de manufatura, mantendo-se o suprimento do produto. No caso do planejamento de uma nova fábrica, considerações estratégicas devem levar em conta a sua localização, para otimizar as rotas de transporte, e para assegurar um bom mercado de mão-de-obra e suprimento de materiais. O efeito da previsão será sentido em cada função da empresa. Por esta razão, a implementação de uma estratégia de previsão é um esforço da empresa como um todo, e deve envolver todos os seus departamentos. A previsão obtém dados dos serviços ao consumidor, marketing, engenharia, manufatura e controle de qualidade. A figura 2.23 mostra o fluxo de informações através da atividade de previsão de longo prazo.

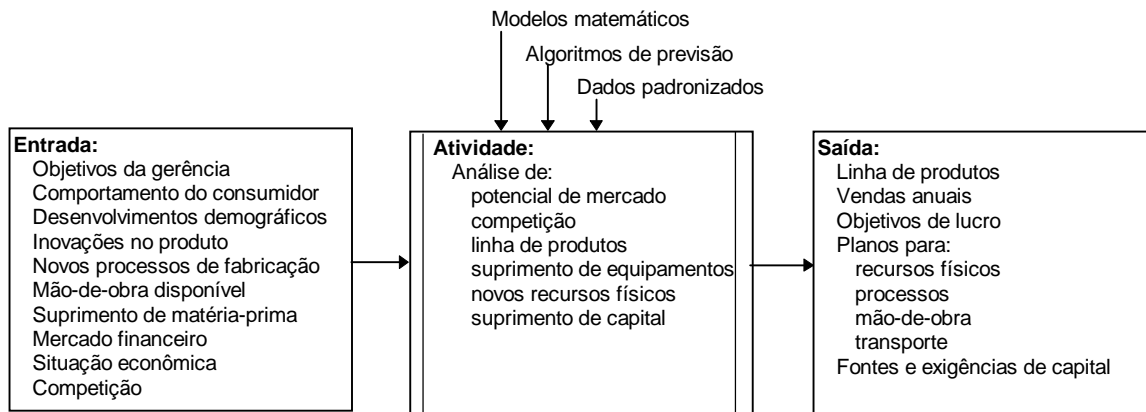


Figura 2.23. Previsões de longo prazo

PLANEJAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

A seleção hardware e software é a tarefa dessa atividade. Todas as máquinas existentes são investigadas para determinar sua utilidade para a produção. Planos são feitos para o layout do chão de fábrica; equipamentos novos e velhos são incorporados à fábrica. Os computadores e o software para planejar e controlar a produção são selecionados. Essa atividade é suportada pelos sistemas especialistas, programas de computador para layout, e a simulação das operações de manufatura. Numerosas alternativas de layout são tentadas, e faz-se cálculos de retorno de investimento. Uma tentativa será feita para encontrar uma configuração ótima que deve ser estendida facilmente para futuros produtos ou mudanças (ver figura 2.24).

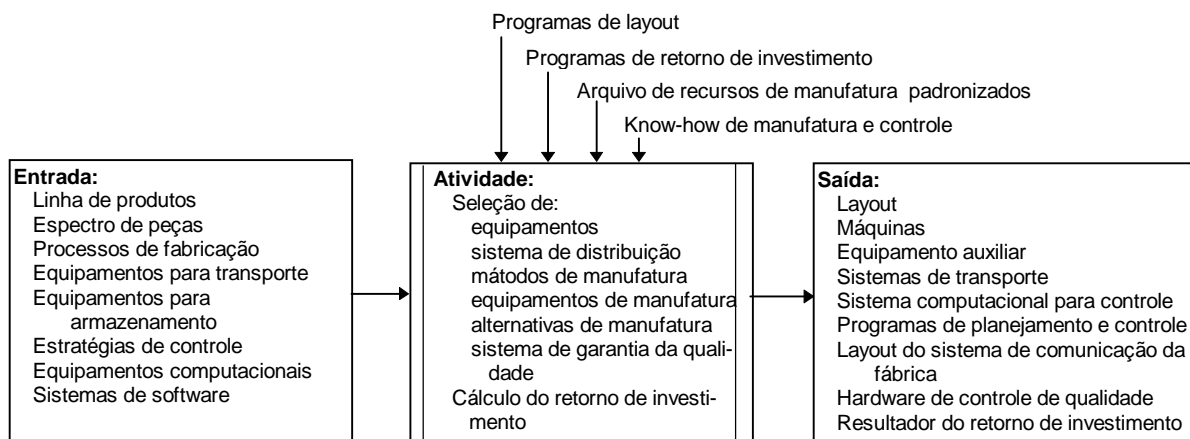


Figura 2.24. Planejamento do chão de fábrica

SERVIÇO AO CONSUMIDOR

Esta é uma atividade que auxilia o consumidor a rastrear sua ordem (encomenda) através da fábrica. Ela representa um sistema de controle ao longo da fábrica para seguir uma ordem. O

fabricante pode introduzir neste serviço quaisquer mudanças nas datas de engenharia e entrega que ele julgar necessário. Importante para o consumidor é que ele pode saber do progresso de sua encomenda, e atrasos devido a problemas de manufatura ou falta de peças. Esta atividade localiza os problemas e tenta expedir a ordem se necessário. A figura 2.25 mostra como este serviço interage com outras atividades na fábrica. A expedição pode ser feita por qualquer atividade de manufatura, entretanto ela normalmente interage com o planejamento de encomendas, processamento de encomendas e controle da produção.

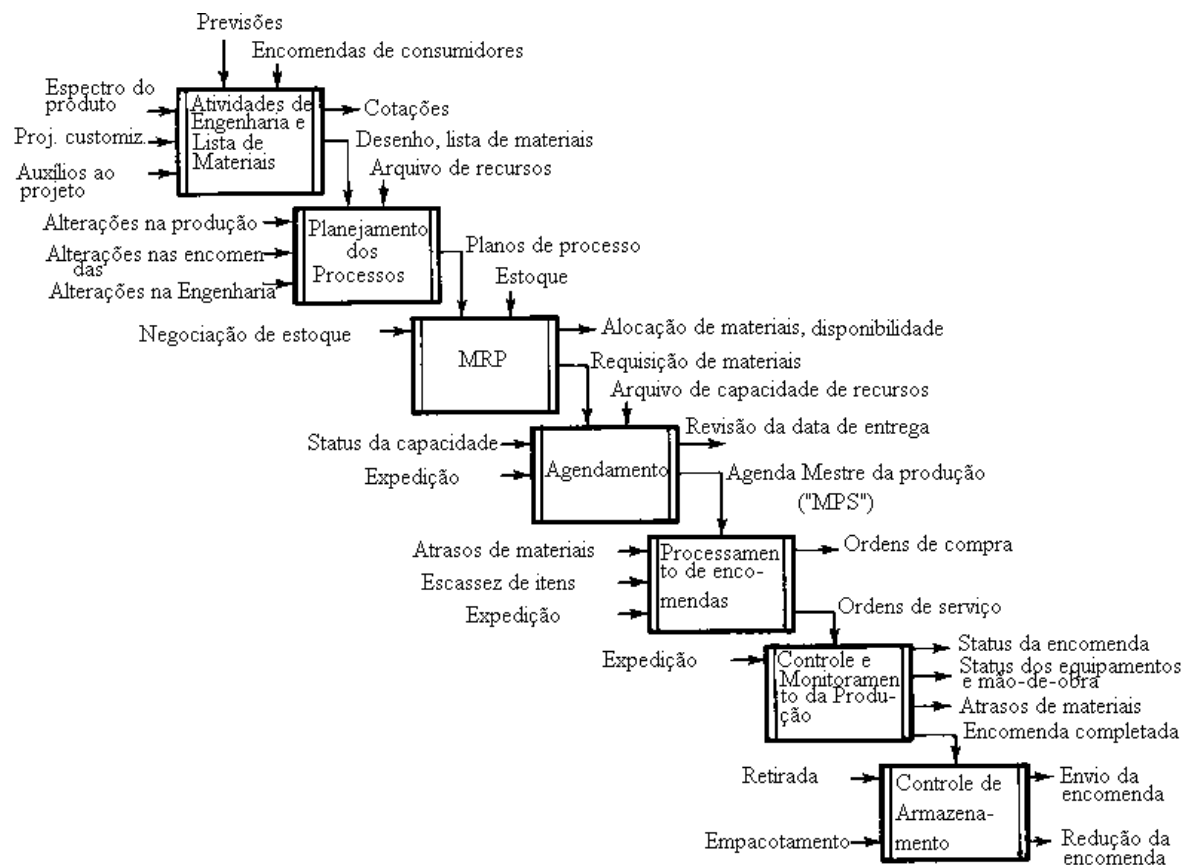


Figura 2.25. Investigação e expedição de encomenda podem ser feitos para qualquer atividade de produção

ENGENHARIA E PROJETO

A engenharia é uma atividade fundamental num sistema de manufatura. Ela determina a função do projeto do produto e tem uma grande influência sobre o processo de manufatura a ser selecionado. Após o produto ter sido completado, 70% do custo de fabricação estará embutido. Por esta razão, deve haver uma cooperação muito próxima entre a engenharia e manufatura. A engenharia depende muito das normas, catálogos, bases de dados, programas de simulação e suporte de CAD. Importantes fontes de conhecimento para a engenharia são o marketing, controle de qualidade e o serviço ao consumidor.

Estas atividades devem ser monitoradas continuamente para obter novas idéias de produtos e reclamações de consumidores. A engenharia concebe, projeta e testa o produto. Os documentos mais importantes advindos da engenharia são:

- o desenho, descrevendo o produto, suas dimensões, tolerâncias, materiais, tratamentos superficiais e procedimentos de controle de qualidade;
- a lista de materiais (“BOM”), descrevendo a estrutura do produto e seus componentes.

Com sistemas avançados de engenharia, é possível produzir automaticamente documentos que são normalmente feitos pelo planejamento dos processos, como por exemplo:

- preparação do plano de processos, descrevendo os processos e sua seqüência;
- geração dos programas NC

No futuro será também possível automatizar as tarefas de engenharia ainda mais e efetuar algumas das funções de agendamento da produção (ver figura 2.26).

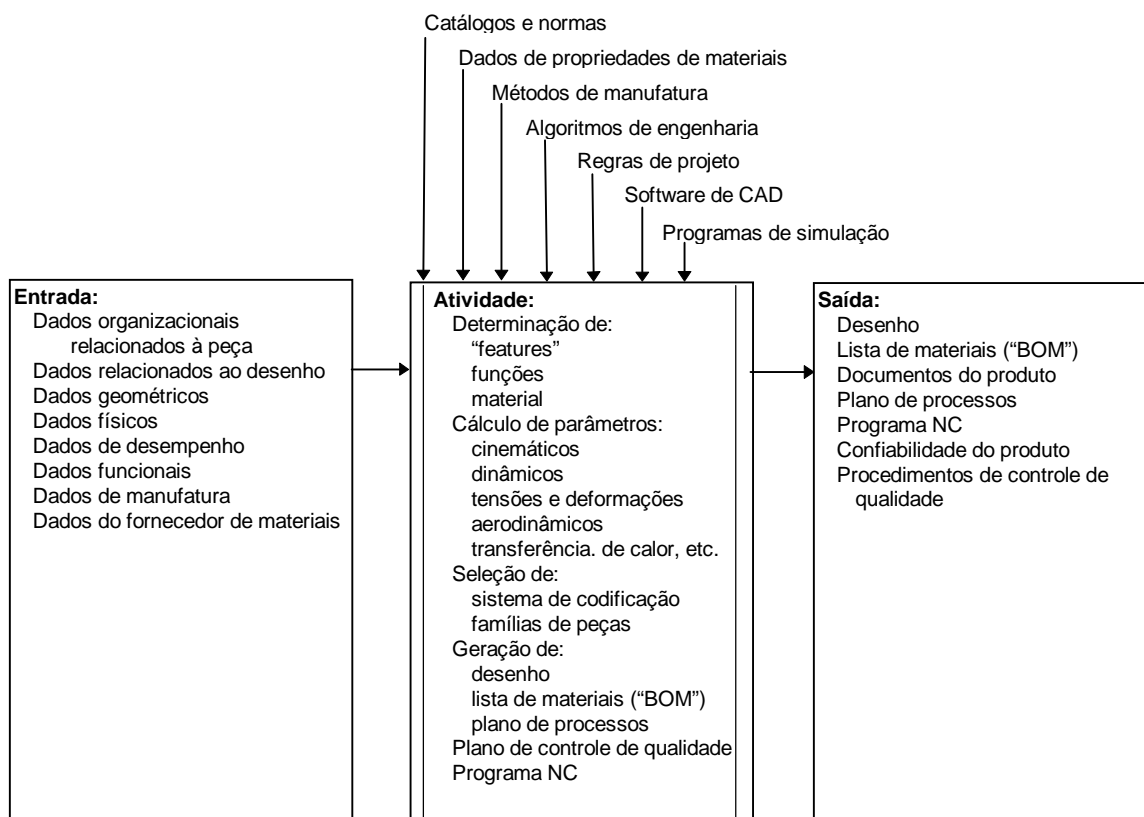


Figura 2.26. Atividades de engenharia e projeto

PLANEJAMENTO DOS PROCESSOS

O planejamento dos processos, a partir da descrição do projeto da peça, determina os processos e sua seqüência necessários para produzir a peça (ver figura 2.27). Os processos selecionados dependem do tamanho da peça, seus elementos geométricos, suas características tecnológicas, do

material e da quantidade a ser produzida. Um fator importante é a quantidade de mão-de-obra. Com uma mão-de-obra de alto nível, uma tentativa será feita para efetuar o processamento com máquinas flexíveis, que exigem pouco ou nenhum manuseio da peça. Muitas empresas têm processos de produção padronizados e procedimentos já prontos para variações de peças, os quais são armazenados em arquivos de métodos de manufatura. Nesse caso, o processista introduz no computador um código da peça, que é determinado em geral pela forma da peça e suas propriedades. O sistema automaticamente sugere um plano de processos. A saída dessa atividade é um plano de processos para a peça e um programa NC, se estes documentos já não tiverem sido gerados pelo projeto.

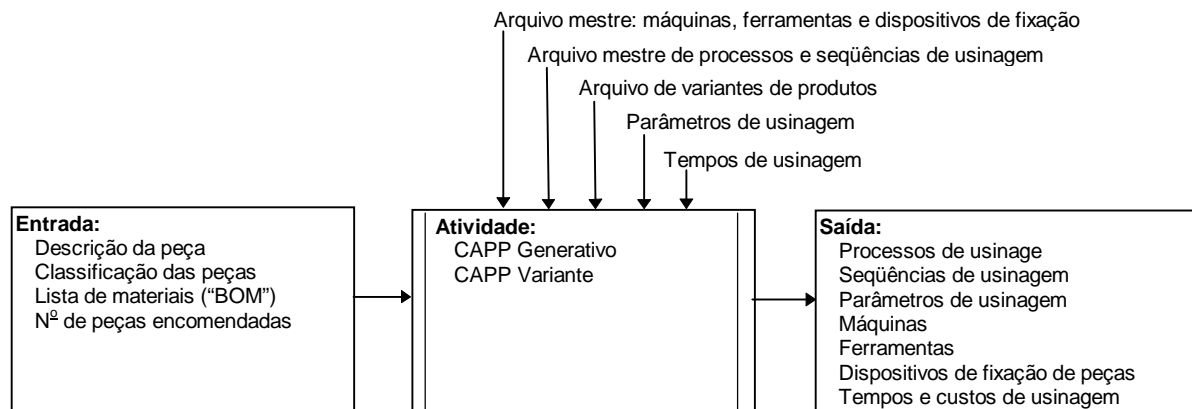


Figura 2.27. Planejamento dos processos

MARKETING

Marketing é um conceito orientado para o consumidor, que compreende o lugar da empresa no mercado competitivo. O marketing tem como objetivo satisfazer as necessidades e desejos do consumidor. O marketing influencia na determinação do produto, da linha de produtos, e nas características do produto. Devido ao seu contato próximo com o consumidor, o marketing conhece as preferências do consumidor, suas reclamações, e exigências de qualidade. Os recursos decorrentes das vendas (que fazem parte do marketing, segundo a figura 2.22) fornecem os recursos financeiros para operar e sustentar a empresa. Portanto, as vendas determinam a variação no modelo, a quantidade a ser fabricada, estratégias de preços, especificação do produto, e sua qualidade. O departamento de vendas tem interface com a engenharia, planejamento, serviço ao consumidor, manufatura e controle de qualidade. A figura 2.28 mostra o fluxo de informações através das vendas.

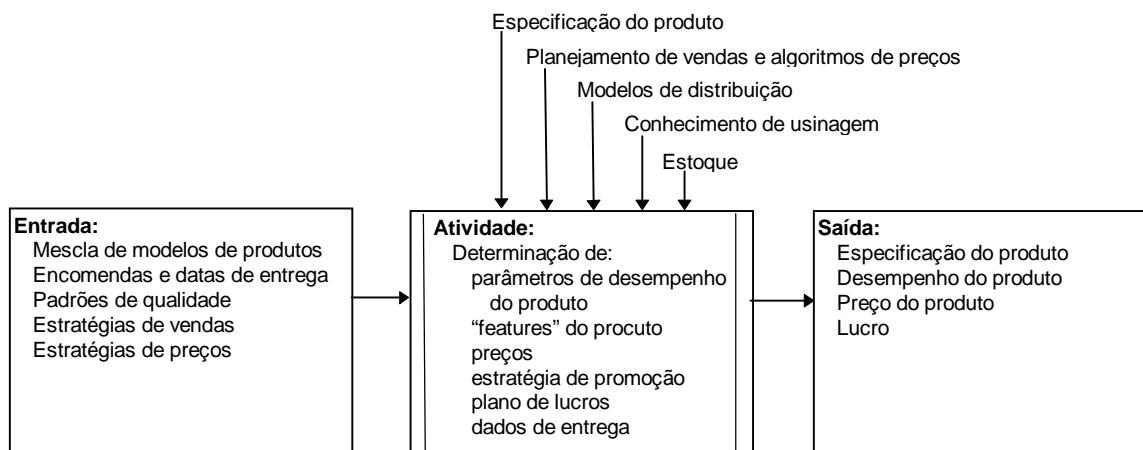


Figura 2.28. Atividades de vendas

AGENDAMENTO DA PRODUÇÃO E CONTROLE E MONITORAMENTO DA MANUFATURA

Quando uma encomenda é liberada para fabricação ela compete com várias encomendas por recursos de manufatura para satisfazer as datas de entrega; por essa razão um procedimento de agendamento bem complexo deve ser chamado para utilizar uniformemente os recursos disponíveis e ainda satisfazer as datas de entrega (ver figura 2.29). Uma tentativa será feita para efetuar o maior número possível de processos numa só máquina para reduzir os tempor de setup e manuseio. O agendamento consiste basicamente de três partes:

- Gerenciamento do tempo: para assegurar a manufatura de todas as peças, para satisfazer as datas de entrega;
- Agendamento dos recursos: para utilizar igualmente as máquinas, e para evitar filas e gargalos;
- Distribuição de materiais: para assegurar que todas as peças e materiais estejam na estação certa no tempo certo.

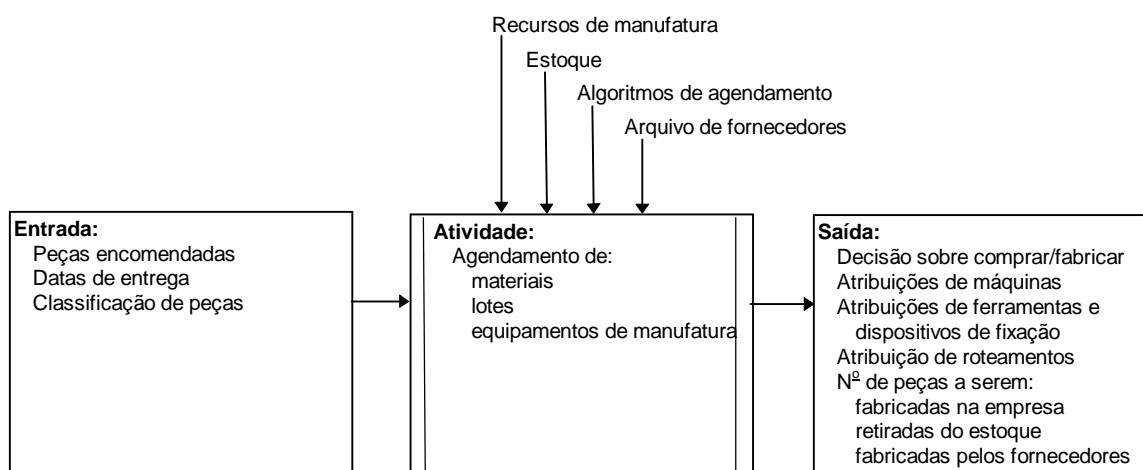


Figura 2.29. Agendamento de recursos de manufatura

Quando uma peça não puder ser fabricada no tempo certo, ou se peças padronizadas são necessárias, deve-se decidir pela fabricação própria ou pela compra (ou subcontratação), para determinar quais peças devem ser enviadas para um fornecedor e quais devem ser feitas na fábrica.

Para assegurar um fluxo de materiais sem erros, um sistema computacional distribuído é utilizado como mostrado na figura 2.30. A função de controle assegura que o fluxo de informações dispara o fluxo de materiais na seqüência correta e que todas as operações estejam sincronizadas. O monitoramento é feito através da realimentação (feedback) para o controle, para verificar que os eventos planejados efetivamente ocorreram.

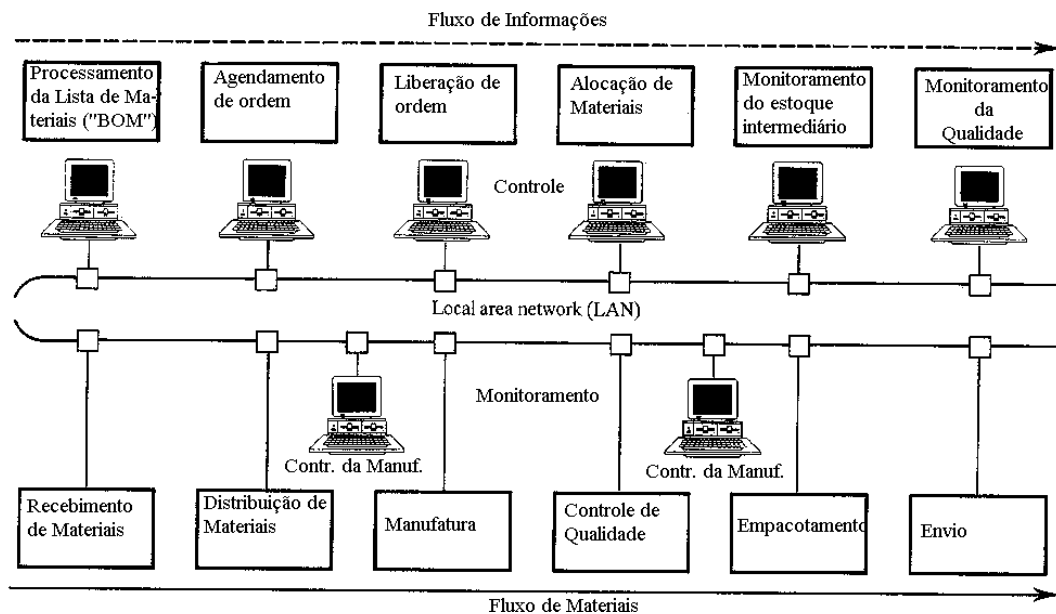


Figura 2.30. O agendamento e controle de encomendas requer a sincronização do fluxo de informações com o fluxo de materiais

Com a automação programável, o controle é também responsável pela distribuição de programas NC e parâmetros operacionais para as máquinas e o sistema de distribuição de materiais.

As principais tarefas do monitoramento são: (a) rastrear (seguir) uma tarefa e todas as peças através da fábrica; (b) rastrear a presença de trabalhadores com habilidades necessárias; (c) monitorar a atribuição de recursos de manufatura; (d) observar o funcionamento correto dos equipamentos; e (e) controlar a utilização e defeitos das máquinas. O monitoramento é também necessário para rastrear a qualidade das peças fluindo através da fábrica. A figura 2.31 mostra funções típicas de monitoramento.

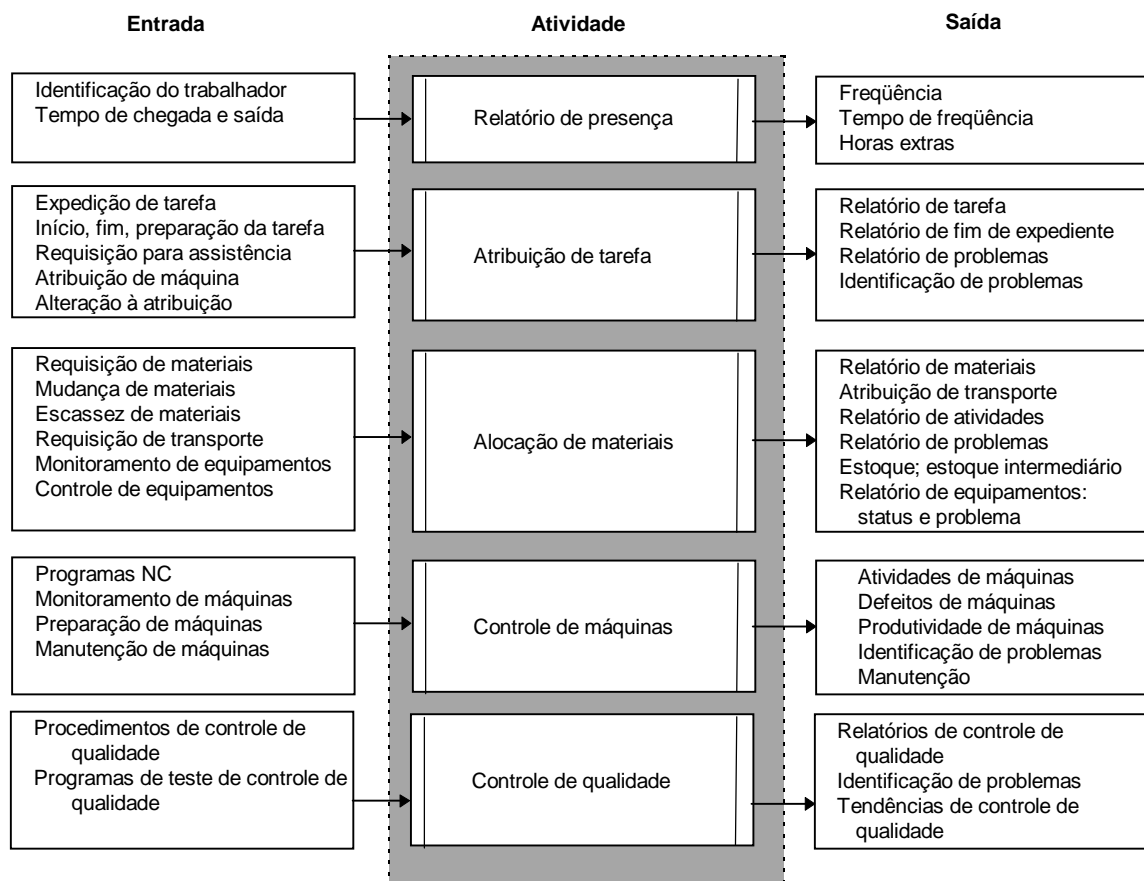


Figura 2.31. Monitoramento e controle do chão de fábrica através do computador

COMPRAS E RECEBIMENTO

Esta atividade efetua a compra de matéria-prima, peças padronizadas e peças a serem compradas de fornecedores. Existem várias estratégias que podem ser aplicadas. Peças podem ser encomendadas devido à demanda, ou mantidas no estoque. A decisão por qual estratégia depende da disponibilidade das peças e custo de estoque. Quando peças são difíceis de serem adquiridas, a estocagem porá ser uma boa decisão para satisfazer os prazos de entrega. Quando peças são muito caras, a empresa tentará minimizar os custos de estoque para disponibilizar capital. Como visto anteriormente, algumas empresas estão aplicando uma estratégia onde os fornecedores têm que entregar as peças exatamente no momento em que elas são necessárias (JIT).

Quando as peças e materiais são requisitados para a produção, primeiro, verifica-se o estoque; se necessário, requisições por cotações são enviadas para possíveis fornecedores. Após a chegada das cotações, encomendas serão enviadas para o fornecedor. A encomenda pode ser emitida considerando-se o preço e o desempenho (qualidade e tempo de entrega) do fornecedor.

Quando a encomenda é recebida, o número de peças entregues e sua qualidade são verificadas com relação à encomenda original. Uma encomenda será aceita se as exigências forem satisfeitas.

Freqüentemente, somente algumas peças não satisfazem as exigências; nesse caso, uma nova encomenda para a peça faltante é emitida. Após a inspeção, as peças são liberadas para a produção ou estoque.

Os procedimentos de inspeção são freqüentemente controlados por computador. Para este propósito, as peças são identificadas e os programas correspondentes de teste e inspeção são enviados para as estações de teste. Os testes podem ser feitos por amostra ou 100%. A decisão de aplicar uma ou outra depende da filosofia da empresa ou do desempenho do fornecedor. Normalmente um arquivo de desempenho é mantido sobre cada fornecedor, que é constantemente atualizado. A figura 2.32 mostra as funções de compra e recebimento.

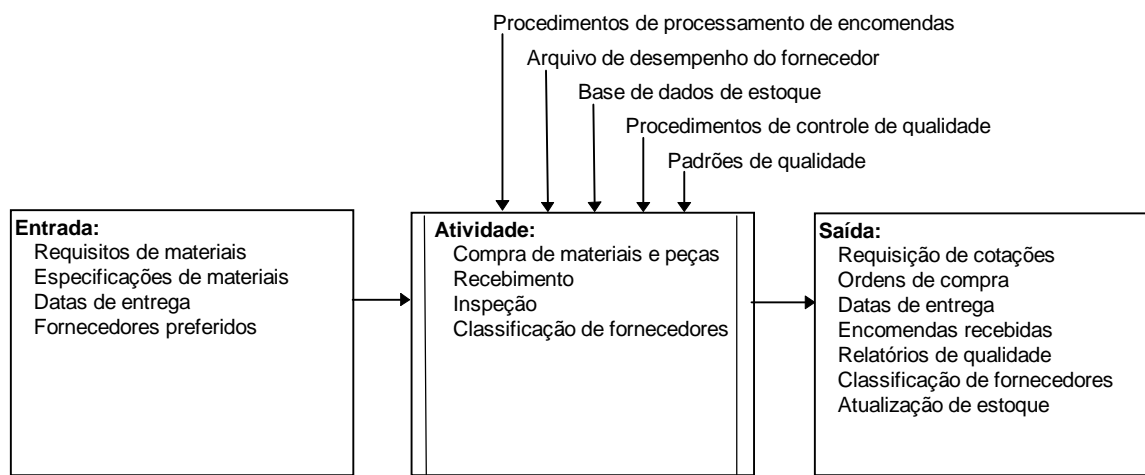


Figura 2.32. Atividades de compras e recebimento

GERENCIAMENTO DE ESTOQUE

Um sistema de manufatura perfeito não deveria ter estoque. O dinheiro investido em estoque é capital ocioso e não está disponível para a operação da fábrica. Na prática, a presença de estoque tem como objetivo garantir contra: (a) falta de peças, materiais e ferramentas; (b) oportunidades de vendas perdidas devido a encomendas inesperadas; (c) dificuldades de produção dentro da fábrica. Existem vários tipos de estoque, que são: estoque para matéria-prima, peças compradas, peças acabadas, produtos prontos e peças de reposição. Além disso, existe um estoque intermediário que normalmente é um buffer entre as operações de manufatura. Todo esse estoque deve ser gerenciado, controlado, e, se possível, evitado. Existem vários algoritmos disponíveis que podem minimizar o custo de estoque. Para evitar problemas com peças defeituosas, normalmente mais peças são encomendadas do que o necessário (política de estoque de segurança). Importantes entradas para o gerenciamento de estoque são os lead-times de compras e manufatura, para assegurar que as peças estejam disponíveis quando requisitadas para a fabricação. (ver figura 2.33).

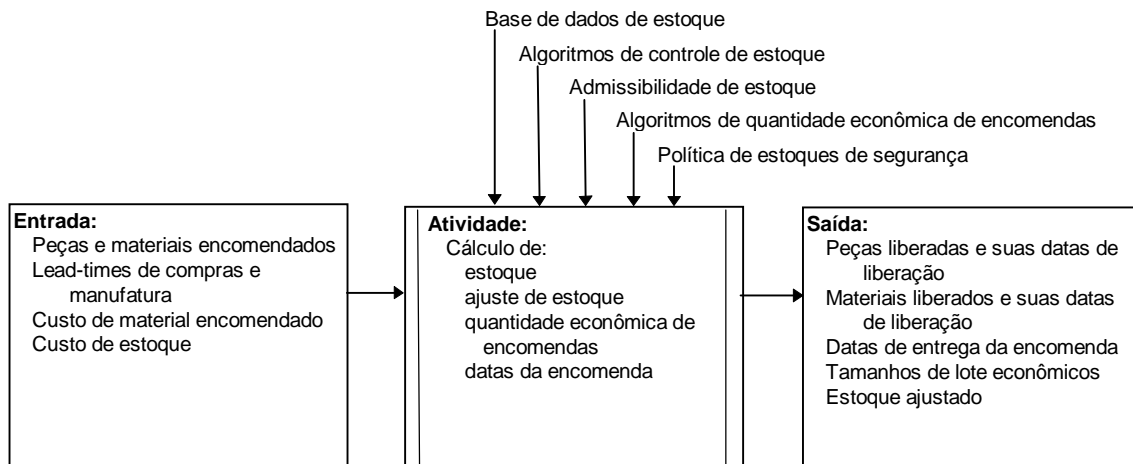


Figura 2.33. Funções do gerenciamento de estoque

CONTROLE DE QUALIDADE

O controle de qualidade é uma função supervisória que permeia a maioria das atividades da manufatura. A qualidade deve ser incorporada ao produto. Normalmente, existe um conflito de interesse quando considera-se a qualidade sob diferentes pontos de vista. O consumidor quer um produto versátil e durável. A engenharia quer desenvolver um produto confiável tendo somente aquelas funções que tornam o produto útil. A manufatura quer empregar processos de manufatura e materiais de menor custo. As vendas querem aumentar o seu mercado com um produto melhor. É muito difícil chegar a um denominador comum pela fabricação de um produto que o consumidor possa comprar, que dá a ele a qualidade e funções desejadas, e que ainda seja competitivo. Mas apesar deste fato, padrões de qualidade devem ser atingidos, e todas as operações de manufatura devem satisfazer procedimentos rigorosos de qualidade. Existem muitas estações de controle de qualidade a serem instaladas ao longo do processo de manufatura.

Muitas normas de qualidade são estabelecidas pelo governo para proteger o consumidor de acidentes. Resultados de testes devem ser documentados e mantidos em arquivo durante um longo tempo. A figura 2.34 ilustra as funções do controle de qualidade.

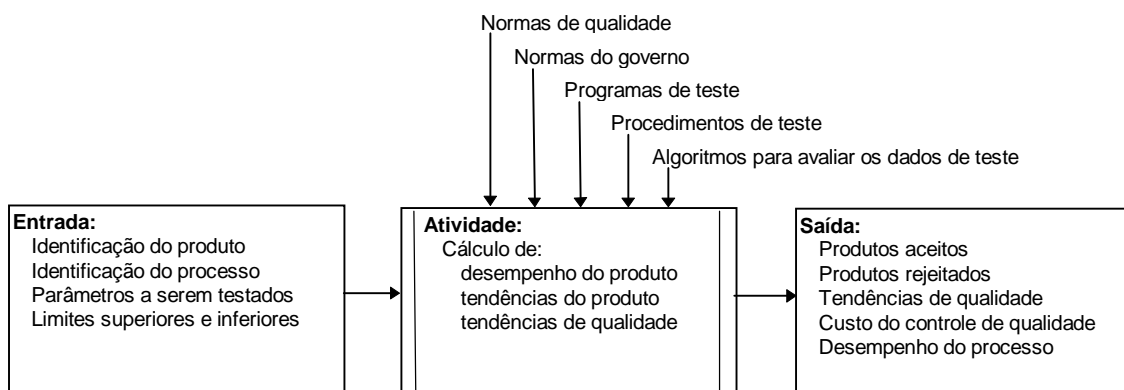


Figura 2.34. Funções do controle de qualidade

MANUTENÇÃO

A manutenção é responsável por manter os equipamentos da empresa em condições operacionais. Para cada máquina existe uma agenda de manutenção que deve ser seguida. Sistemas de manufatura são normalmente extremamente complexos e devem ser supervisionados por equipamentos de monitoramento controlados por computador, para identificar imediatamente a falha, reduzindo-se então o tempo de procura para localizar a falha. Com equipamentos complexos, o tempo médio de procura por uma quebra pode ser de uma hora ou mais. Em anos recentes, sistemas especialistas tornaram-se uma importante ferramenta para localização de falhas. Estes programas chegam a conclusões a partir de um padrão de falha, similar a um médico tentando encontrar a causa de uma doença através dos sintomas. Além disso, manutenção preventiva tornou-se um procedimento padrão para equipamentos de produção. O computador agenda a manutenção, fornece o programa de manutenção e mantém registros do desempenho e problemas dos equipamentos.

CONTABILIDADE

A contabilidade na figura 2.22 é dividida em três seções: contabilidade (cálculo) de crédito, controle, contabilidade de débito. Contabilidade é responsável por assegurar a saúde financeira da empresa. Os orçamentos operacionais são feitos por um ano para toda a empresa e suas subfunções. As unidades operacionais são divididas em centros de custo. Cada centro de custo tem seu orçamento e todas as despesas são constantemente verificadas em relação a um orçamento. Os resultados são relatados e resumidos numa declaração de lucro e prejuízo.

Em geral, os recursos de entrada derivam-se das atividades de vendas. Os recursos que saem são para materiais, equipamentos, serviços comprados, salários, taxas e depreciação. O lucro é a diferença entre os recursos que entram e os que saem. Normalmente é muito difícil verificar o desempenho de todas as unidades funcionais e centros de custo de uma empresa. Algumas destas unidades têm somente uma atribuição de serviço e aparentemente elas somente absorvem recursos. Um outro problema na contabilidade é a diferença entre custos fixos e variáveis. Em particular, os custos variáveis são muito difíceis de estimar.

Um relatório financeiro deve conter o desempenho de todos os produtos. Se existe um produto que dá prejuízo então deve existir uma boa razão para mantê-lo na linha. Frequentemente, alguns produtos são vendidos somente porque eles possibilitam a empresa a oferecer uma linha completa de produtos para o consumidor.