

INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE MANUFATURA (SM)

1. Componentes de um SM
 1. Máquinas de produção
 2. Material de manuseamento
 3. Sistemas de controlo por computador
 4. Recursos humanos
2. Classificação dos SM
 1. Tipos de operações executadas
 2. Número de estações de trabalho
 3. Nível de automação
 4. Variedade de partes ou produtos
3. Resumo do esquema de classificação
 1. SM Tipo I: Estações únicas
 2. SM Tipo II: Células de múltiplas-estações
 3. SM Tipo III: Linhas de produção
4. Funções de progresso da manufatura (curvas de aprendizagem)

Um Sistema de Manufatura (SM) consiste numa colecção integrada de equipamento e recursos humanos, cujo objectivo é executar uma ou mais operações de processamento e/ou montagem numa matéria prima inicial, ou conjunto de partes.

O equipamento integrado inclui máquinas de produção e ferramentas, material de manuseamento e de posicionamento e sistemas computadorizados. Os recursos humanos são necessários quer a tempo inteiro quer periodicamente. Os SM correspondem ao trabalho acrescentado na parte ou produto. O seu posicionamento no sistema de produção é o amostrado na Fig. 13.1.

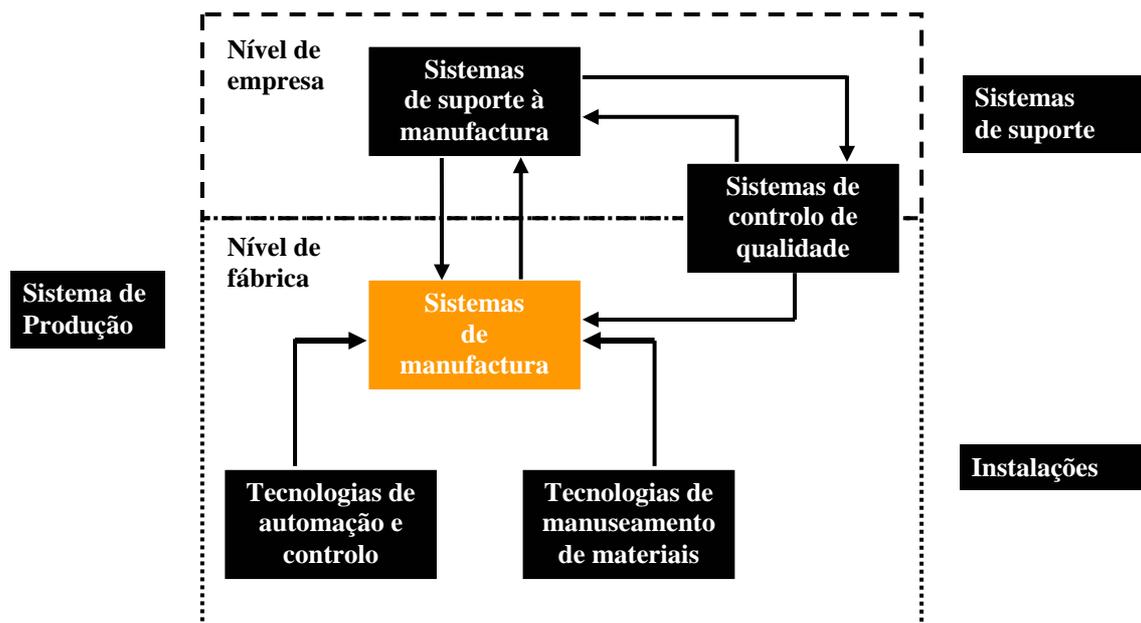


Figura 1 - Posicionamento dos SM no modelo conceptual de Sistema de Produção de Manufatura.

Exemplos de SM:

- Um operador atende uma máquina que opera em modo semi-automático.
- Um grupo de máquinas semi-automáticas, operadas por um operador
- Uma máquina de montagem completamente automatizada, operada periodicamente por um operador
- Um grupo de máquinas automatizadas a trabalhar em ciclos automáticos na produção de uma família de partes similares.
- Uma equipa de operadores a efectuar operações de montagem numa linha de produção.

1.1. Componentes dum SM

Os componentes de um SM são:

- Máquinas de produção com ferramentas, moldes e outro hardware associado.
- Sistemas computadorizados para coordenar e/ou controlar os componentes acima mencionados.
- Trabalhadores.

1.1.1. Máquinas de produção

Nos SM actuais, a maior parte do trabalho de processamento é feito por máquinas ou com a ajuda de ferramentas.

As máquinas podem ser classificadas como:

1. Operadas manualmente
2. Semi-automáticas
3. Totalmente automáticas

Máquinas operadas manualmente

As máquinas operadas manualmente são supervisionadas ou accionadas por trabalhadores. A máquina fornece a potência e o trabalhador o controlo. A presença do operador é continuamente requerida.

Máquinas semi-automáticas

As máquinas semi-automáticas executam uma porção do ciclo de trabalho com alguma forma de programa de controlo e um operador opera a máquina o resto do ciclo, carregando-a e descarregando-a ou executando outra tarefa em cada ciclo.

Ex: uma máquina CMC que requer operação humana para remover a parte acabada e para colocar a próxima parte a trabalhar no fim. Nestes casos, o operador tem que operar a máquina em cada ciclo, mas nem sempre é exigida a sua presença durante todo o ciclo. Tal facto, leva a que o operador possa operar mais do que uma máquina.

Máquinas totalmente automáticas

As máquinas totalmente automáticas podem operar por largos períodos de tempo (mais do que um ciclo de trabalho) sem intervenção humana. Assim, não é requerida a presença contínua do operador.

Por exemplo: o caso das máquinas de injeção nas quais, ao fim de um determinado número de ciclos, o operador deve retirar as partes produzidas e substituir por outras partes.

Estação de trabalho em SM- Consiste numa localização na fábrica onde tarefas bem definidas ou operações são executadas por uma máquina automática, uma combinação homem - máquina, ou um trabalhador com ferramentas.

Um sistema com múltiplas estações de trabalho denomina-se linha de produção, linha de montagem, célula de máquinas, etc...

1.1.2. Sistemas de manuseamento de material

Na maioria de operações de processamento e montagem executadas em partes ou produtos, devem existir as seguintes funcionalidades:

- 1) Carregamento e descarregamento das unidades de trabalho,
- 2) Posicionamento das peças de trabalho em cada estação.

No caso de SMS com múltiplas estações de trabalho é também necessário um meio de:

- 3) transporte das unidades de trabalho entre estações. Este transporte pode ser efectuado manualmente ou utilizando um sistema automatizado de transporte.

Os sistemas de manuseamento de material também fornecem

- 4) uma funcionalidade de armazenamento temporário. O objectivo destes sistemas de funcionamento é assegurar a presença contínua de material nas estações, evitando que estas parem.

1 e 2) Carregamento, descarregamento das unidades de trabalho e seu posicionamento em cada estação

Estas funcionalidades ocorrem em cada estação de trabalho.

O carregamento envolve o movimento das unidades de trabalho para a máquina de produção ou processamento duma fonte dentro da estação de trabalho. As partes iniciais podem estar em contentores (paletes, caixas, etc) na vizinhança da estação. Caso as operações de processamento exijam precisão, a unidade de trabalho deve também ser posicionada na máquina de produção.

O posicionamento providencia que a parte esteja colocada numa posição e orientação relativa a cabeça de trabalho ou ferramenta que executa o trabalho.

Frequentemente, utiliza-se um “workholder” (posicionador de peça), isto é, um equipamento que posiciona com precisão, mantendo firme a peça de trabalho e resistente a qualquer força que possa ocorrer durante o processamento.

Exs são: tabuleiros, caixilhos, etc..

Descarregamento - Quando a operação de produção está terminada é necessário retirar a peça, isto é, removê-la da máquina de produção e colocá-la num contentor na estação

de trabalho ou prepará-la para o transporte para a próxima estação de trabalho na sequência de trabalho.

Se a máquina de produção é operada manualmente ou semi-automática, o carregamento, posicionamento e descarregamento são executados por operadores quer manualmente quer utilizando uma grua. Em estações de trabalho automáticas, um dispositivo mecânico como um robot industrial, alimentador de partes ou um despaletizador automático podem ser utilizados para efectuar estas funcionalidades.

3) Transporte de partes entre estações

No contexto de SM, transporte de partes significa o movimento de partes entre estações de trabalho num sistema de multi-estações. Esta funcionalidade de transporte pode ser executada manualmente ou por equipamento apropriado.

O transporte manual é conseguido movendo as peças individualmente ou em lotes. Contudo, as peças têm que ser leves e pequenas, de forma ao trabalho manual ser ergonomicamente aceitável. No caso de as partes serem mais pesadas deve ser usado equipamento adequado, como gruas. Ex. de SMs que incluem transporte de peças manual são: linhas de montagem manuais e grupos de células de máquinas.

Existem variados tipos de equipamento de manuseamento de material mecanizado e automatizado para transporte de peças de trabalho nos SMs. Aqui, distinguem-se duas categorias gerais de transporte, dependendo do tipo de roteamento entre estações:

- 1) Roteamento variável
- 2) Roteamento fixo.

1) Roteamento variável

As peças de trabalho são transportadas através de uma variedade de diferentes sequências de estações (ver figura 2). Tal acontece quando o SM consiste no processamento ou montagem de diferentes peças de trabalho.

O transporte no roteamento variável está associado com o trabalho de produção de loja e muitas operações de produção de lotes.

Os SMs que usam este tipo de roteamento incluem células de máquinas e sistemas flexíveis de manufactura.

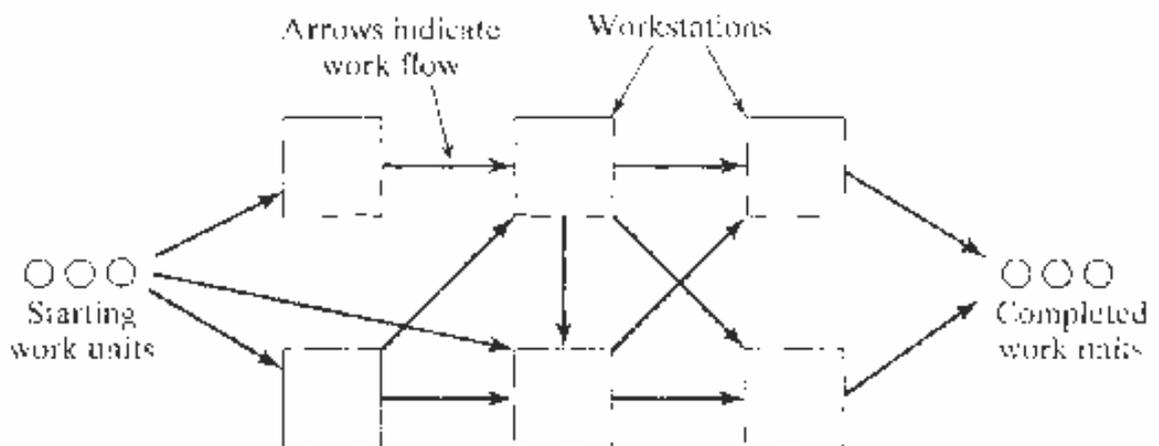


Figura 2 - Roteamento variável.

2) Roteamento fixo

As unidades de trabalho fluem sempre através da mesma sequência de estações (ver fig. 3). As unidades de trabalho são idênticas ou suficientemente similares para que a sequência de processamento seja idêntica. Este tipo de transporte é usado em linhas de produção.

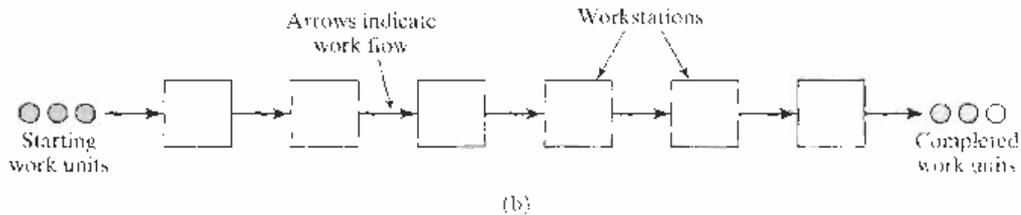


Figura 3 - Roteamento fixo.

A Tabela 13.1 lista algum equipamento de transporte usado nos dois tipos de roteamento.

Tipo de Roteamento	Equipamento de Manuseamento
Roteamento variável	AGVs Sistema de monocarris
Roteamento fixo	Tapete transportador

Tabela 1 – Equipamento de transporte utilizado nos sistemas de manufatura de múltiplas estações com roteamento fixo e variável.

Caixilhos de paletes nos sistemas de transporte

O sistema de transporte pode ser projectado de maneira a acomodar algum tipo de caixilho de paletes, dependendo da geometria das unidades de trabalho e da natureza das operações de processamento e/ou montagem.

A utilização de caixilhos de paletes é comum em sistemas automatizados de manufatura, como células de máquinas únicas com paletizador automático, linhas de transfer e sistemas automáticos de montagem.

Estes caixilhos podem ser projectados com características modulares que podem ser usadas com diferentes geometrias. Estes caixilhos modelares de paletes são ideais para os sistemas flexíveis de manufatura.

Métodos alternativos

As **carreiras de trabalho** são um método alternativo. Estas carreiras consistem em contentores (caixas, cestos, etc.) que contêm um ou mais partes e podem ser movidas no sistema. O seu papel consiste apenas em conter as partes durante o transporte e não ao seu encaixe e/ou posicionamento. Este deverá ser assegurado por outros meios (ex: manualmente) no destino.

Um outro método alternativo para o transporte de partes é o **transporte directo**. Isto é, o sistema de transporte é projectado de forma a mover a parte por si mesmo. O benefício óbvio, é que evita o custo das carreiras de trabalho e/ou dos caixilhos assim como o custo adicional de providenciar o retorno destes ao ponto inicial para serem

reutilizados. Este tipo de transporte é muito adequado para SMs operados manualmente, na medida em que qualquer funcionalidade de posicionamento requerida pode ser executada pelo operador na estação de trabalho.

Contudo, nos sistemas de manufactura automatizados, em especial nos que requerem posicionamento preciso nas estações de trabalho, a viabilidade do sistema de transporte directo depende quer da geometria das partes, quer da viabilidade da implementação de um método automatizado capaz de mover, posicionar e fixar as partes com a precisão requerida.

Nem todos os formatos de peças podem ser manuseadas por um sistema mecanizado ou automatizado.

1.1.3. Sistema de controlo computadorizado

Nos SMs automatizados actuais, é necessário um computador para controlar os equipamentos automatizados e semi-automatizados e para participar na coordenação e gestão do SM. Tal acontece mesmo nos SMs manuais.

As funcionalidades típicas dum sistema computadorizado incluem:

- Comunicação de instruções aos utilizadores. Nas estações de trabalho operadas manualmente que executam diferentes tarefas em unidades de trabalho diferentes, as instruções de processamento e montagem para a unidade de trabalho específica têm que ser comunicadas ao operador.
- Download de programas de partes para as máquinas controladas por computador (ex: máquinas CNC).
- Controlo dos sistemas de manuseamento de material
- Escalonamento da produção.
- Diagnóstico de falhas – tal como diagnosticar falhas de equipamento e escalonamento preventivo e preparação de inventários.
- Monitorização de segurança – Garantir que o sistema não opera em condições inseguras. O objectivo é proteger tanto os operadores como o equipamento envolvidos no sistema.
- Controlo de qualidade – O objectivo é detectar e rejeitar partes defeituosas produzidos pelo sistema.
- Gestão das operações – Gestão de todas as operações do SM, quer directamente (controlo do computador supervisionado) quer indirectamente (preparando os relatórios necessários).

1.1.4. Recursos Humanos

Nos SMs os operadores executam o trabalho de mais-valia nas partes ou produtos. Neste caso, os operadores são referidos como trabalho directo. Através do seu trabalho físico, eles executam trabalho manual ou controlam as máquinas que efectuem o trabalho. Nos SMs completamente automatizados o trabalho directo é ainda necessário para actividades como carregamento/descarregamento de partes, mudança de ferramentas, etc. Os operadores executam também trabalho indirecto nos SMs automatizados através da gestão e suporte do sistema como: programadores, operadores de computadores, programadores de partes para máquinas CNC, manutenção e reparação. Esta distinção entre trabalho directo e indirecto nem sempre é muito precisa nos SMs automatizados.

1.2. Classificação dos SMs

Os factores que definem e distinguem as variedades dos tipos de SMs e que permitem criar um esquema de classificação são:

- 1) Tipos de operações executadas
- 2) Número de estações de trabalho e *layout* do sistema
- 3) Nível de automação
- 4) Variedade de partes ou produtos.

1.2.1. Tipos de operações executadas

O tipo de operações executadas num SM é um factor decisivo na sua classificação. Num nível elevado, esta distinção é entre:

- 1) Operação de processamento em unidades de trabalho individuais.
- 2) Operação de montagem para combinar partes individuais em entidades montadas.

Os parâmetros adicionais ao produto que têm um papel na determinação do projecto do SM incluem: tipo de material processado, tamanho e peso da parte ou produto e geometria da parte.

Por exemplo, a classificação das partes a ser maquinadas em partes rotacionais ou não rotacionais. Partes não rotacionais ou prismáticos são rectangulares ou tipo cubo e requerem operações de maquinaria adequadas.

Estas diferenças são importantes porque definem diferenças nos processos de maquinaria, ferramentas e no próprio projecto do sistema de manuseamento do material.

1.2.2. Número de estações de trabalho e *layout* do sistema

Este factor é decisivo no esquema de classificação. Este factor exerce uma forte influência no desempenho do SM em termos de capacidade de produção, produtividade, custo unitário e manutenção. Seja n o número de estações de trabalho, então individualmente cada uma pode ser endereçada por i , em que $i = 1, 2, \dots, n$. Tal reveste-se de especial importância na identificação de parâmetros para cada estação, tais como, o tempo de operação ou o número de trabalhadores na estação.

O número de estações de trabalho é uma medida conveniente do seu tamanho. Consoante este número aumenta, também aumenta a quantidade de trabalho que pode ser realizado pelo sistema. Tal facto, resulta num aumento da taxa de produção, sobretudo quando comparado com o mesmo número de estações a trabalhar individualmente. É necessário que haja um benefício resultante do facto de múltiplas estações trabalharem coordenadas em vez de individualmente. Tal pode ser derivado do facto da totalidade do trabalho executado sobre uma peça ser demasiado complexo para ser executado apenas por uma estação.

O facto de haver muitas estações também significa que o sistema é mais complexo e, como tal, mais difícil de gerir e manter.



A geometria ou layout das estações de trabalho está directamente relacionada com o número de estações. As estações estão arranjadas para um roteamento fixo ou variável. O layout das estações para o roteamento variável pode ter uma grande diversidade de configurações, enquanto que para o fixo é usualmente linear, assim como nas linhas de produção. Este factor tem também um papel decisivo no sistema de manuseamento de material.

O esquema de classificação proposto aplica-se aos SMs que executam tanto operações de processamento como de montagem. Este esquema tem três níveis, de acordo com o número de estações de trabalho e os seus layouts.

Tipo I – Estação única (n = 1).

Caso mais simples que inclui uma máquina de produção que pode ser manualmente operada, semi ou completamente automatizada.

Tipo II – Múltiplas estações com roteamento variável.

Este SM consiste em duas ou mais estações ($n > 1$) projectadas e arranjadas para acomodar o processamento ou montagem de diferentes partes ou estilos de produtos.

Tipo III – Múltiplas estações com roteamento fixo.

Este sistema tem duas ou mais estações ($n > 1$), projectadas como linhas de produção.

1.2.3. Nível de automação

Este factor também caracteriza o SM. As máquinas num SM podem ser manualmente operadas, semi-automáticas ou automáticas.

Nível manual

Directamente correlacionado com o nível de automação está a proporção de tempo que o trabalho directo deve ter em cada estação. M_i , nível manual de uma estação, é a proporção de tempo que um operador está na estação i .

Se $M_i = 1$, significa que o trabalhador tem que estar na estação $i = 1$ continuamente.

Se $M_i = 2$ ou 3 significa que múltiplos trabalhadores executam tarefas (de montagem) na estação.

Geralmente, baixos valores de M_i ($M_i < 1$) indicam alguma forma de automação e elevados valores ($M_i > 1$) indicam operações manuais na estação.

O nível manual médio de um SM multi-estação é um indicador muito útil do trabalho directo existente no sistema.

$$M = \frac{w_u + \sum_{i=1}^n w_i}{n} = \frac{w}{n},$$

onde M é o nível manual médio do sistema; w_u é o número de trabalhadores úteis no sistema e w_i é o número de trabalhadores úteis na estação.

Trabalhadores úteis são aqueles que não estão especificamente associados a estações individuais de processamento ou montagem, mas que:

- 1) substituem trabalhadores nas estações para paragens pessoais;
- 2) mantêm e reparam o sistema;
- 3) mudam as ferramentas;
- 4) carregam/descarregam peças de trabalho de/para o sistema.

Mesmo as estações completamente automatizadas têm um ou mais operadores responsáveis pelo andamento do sistema.

A automação no esquema de classificação

Uma estação/célula manual implica que um ou mais operadores têm que estar na estação em cada ciclo. A classificação que se propõe de acordo com o nível de automação é a seguir descrita e apresenta-se ilustrada na figura.

Tipo I M: Estação única com célula manual.

O caso mais básico é uma máquina e um operador ($n = 1, w = 1$). A máquina pode ser manualmente operada ou semi-automática e a presença do operador é continuamente requerida na máquina.

Tipo I A – Estação única com célula automática.

Máquina completamente automatizada capaz de operação sem atendimento ($M < 1$) durante extensos períodos de tempo (maior do que um ciclo máquina). Um operador deve continuamente carregar/descarregar a máquina.

Tipo II M – Sistema Manual Multi-estação com roteamento variável.

Sistema com múltiplas estações manuais ou semi-automatizadas. O layout e sistema de transporte permite diversos roteamentos. O sistema de transporte entre estações pode ser manual ou mecanizado.

Tipo II A – Sistema Automatizado Multi-estação com roteamento variável.

Este sistema é similar ao anterior, excepto que as estações são completamente automatizadas

Tipo II H – Sistema híbrido Multi-estação com roteamento variável.

Este SM contém tanto estações manuais como automatizadas. O sistema de transporte é manual, automatizado ou híbrido.

Tipo III M – Sistema manual multi-estação com roteamento fixo.

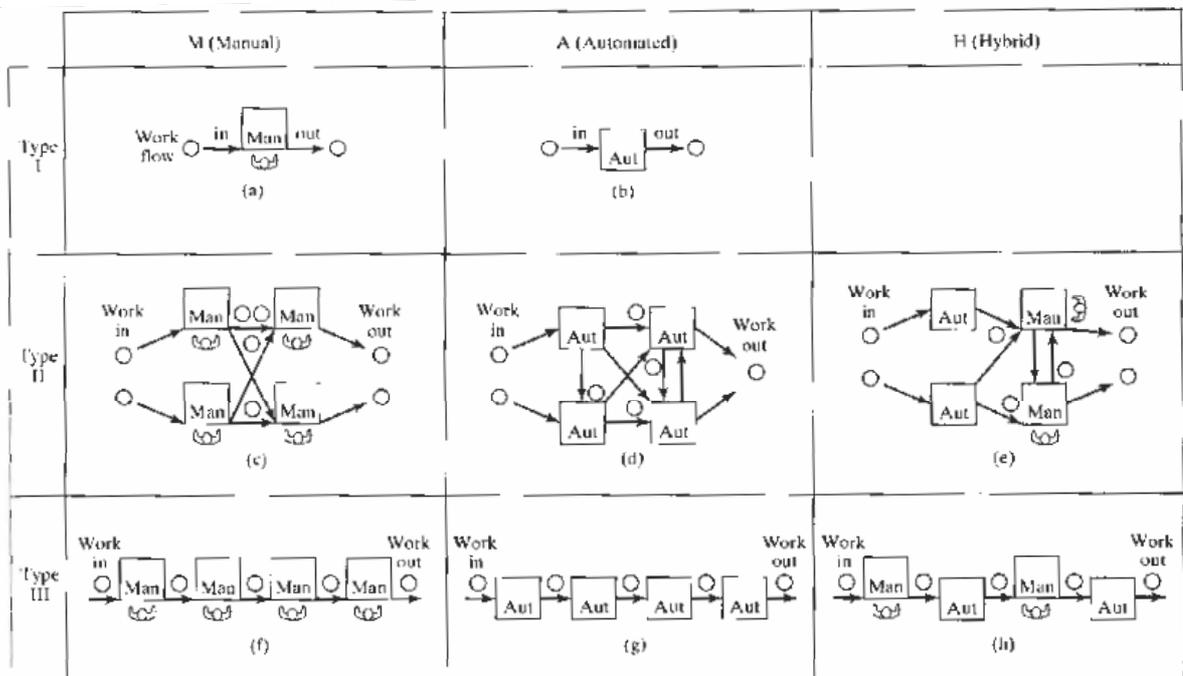
Este SM consiste numa ou mais estações ($n > 1$), com um ou mais operadores em cada estação ($W_i \geq 1$). As operações são sequenciais pelo que necessitam de um roteamento fixo geralmente como numa linha de produção. O sistema de transporte entre estações é manual ou mecanizado.

Tipo III A – Sistema automatizado multi-estação com roteamento fixo.

Este sistema consiste em duas ou mais estações automatizadas ($n > 1$, $W_i = 0$, $M < 1$) arranjados como numa produção de linha. O sistema de transporte é completamente automatizado.

Tipo III H – Sistema híbrido multi-estação com roteamento fixo.

Este sistema inclui ambas as estações manuais e automatizadas: $n > 1$, $W_i \geq 1$ para algumas estações e $W_i = 0$ para outras, $M > 0$. O transporte é manual, automatizado ou híbrido.



1.2.4. Variedade de partes ou produtos.

O quarto factor que caracteriza o SM é a sua capacidade para lidar com variações de partes ou produtos produzidos.

Alguns exemplos de variações são:

- variações no tipo e/ou cor das partes de plástico nos sistemas de injeção;
- variações nos componentes electrónicos colocados num PCB standard;
- variações no tamanho dos PCBs manuseados pela máquina de colocação de componentes;
- variações nas partes e opções de produto numa linha de montagem.

Variações de modelo: três casos. Aqui distinguem-se três casos de variações de produtos ou partes nos SMs, descritos na tabela abaixo apresentada:

- 1) Modelo único (S).
- 2) Modelo tipo lote (B).
- 3) Modelo misto (X).

TABLE 13.3 Three Types of Manufacturing System According to Their Capacity to Deal with Product Variety

System Type	Symbol	Typical Product Variety	Flexibility
Single model	S	No product variety	None required
Batch model	B	Hard product variety typical*	Most flexible
Mixed model	X	Soft product variety typical*	Some flexibility

* Hard and soft product variety are defined in Chapters 1 (Section 1.1) and 2 (Section 2.3.1).

- 1) **Modelo único** – Todas as partes e produtos produzidos pelo SM são idênticos e não existem variações. Neste caso, a procura do item pode ser suficiente para justificar a dedicação do sistema à produção desse item por um largo período de tempo (muitos anos). O equipamento associado com o sistema é específico e projectado para a maior eficiência. Automação fixa nestes sistemas de modelo único é comum.
- 2) **Modelo tipo lote** – Diferentes partes e produtos são produzidos pelo sistema, mas em lotes dado que uma alteração física no setup e/ou programação de equipamento é requerido entre modelos. O tempo requerido para efectuar estas operações obriga à existência de lotes. (Ver Fig. 13.4).

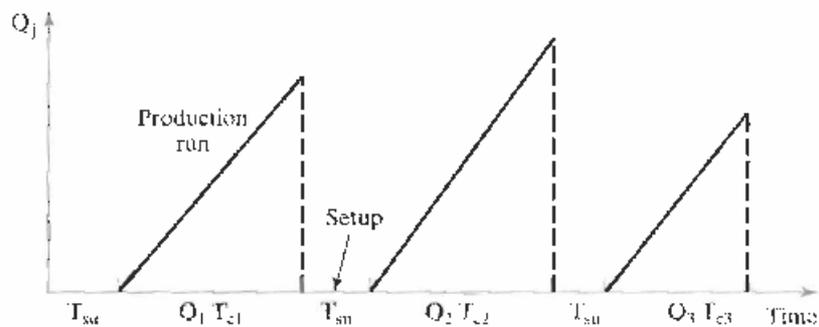


Figure 13.4 The sawtooth plot of production quantity over time in batch production. Key: T_{su} = setup time, Q_j = batch quantity, T_{ci} = cycle time for part or product j . Production runs vary because batch quantities and production rates vary.

- 3) **Modelo misto** – Neste caso são produzidas diferentes partes e produtos pelo sistema, mas o sistema lida com estas diferenças sem necessitar de alterar o setup e/ou programas. Tal significa que a mistura dos diferentes estilos pode ser produzida continuamente em vez de lotes.

Flexibilidade nos SMs

Flexibilidade designa o atributo que permite que o modelo misto SM lide com um certo nível de variação de estilo de partes ou produtos sem interrupções na produção entre mudanças de modelos.

Os sistemas que possuam esta característica são designados por SMs flexíveis. Eles podem produzir diferentes estilos de partes ou podem rapidamente se adaptar a novos estilos de partes quando os anteriores se tornam obsoletos.

De maneira a ser flexível, um SM deve ter as seguintes capacidades:

- **Identificação de diferentes unidades de trabalho** – O SM deve identificar a peça de maneira a executar a adequada operação sobre ela. Num sistema semi-automatizado ou manual, esta tarefa é efectuada pelo operador. Mas num sistema automatizado, deve ser projectado algum processo para a identificação de peças.
- **Rápida mudança das instruções operacionais.** - As instruções ou programa de partes se forem máquinas de produção controladas por computador, devem corresponder à operação correcta a executar sobre a parte. No caso de um sistema operado manualmente, isto refere-se a trabalhadores capazes de:
 - 1) executar as variedades de operações necessárias para processar ou montar os diferentes estilos de peças, e
 - 2) que saibam que operações executar sobre cada estilo de peça. Em sistemas semi ou automatizados, significa que os programas de partes requeridos devem estar prontos para a unidade de controlo.
- **Rápida mudança do setup físico.** - De modo a que os diferentes estilos de peças sejam processados sem perda de tempo entre as diversas unidades, o SM flexível deve ser capaz de fazer as mudanças necessárias de ferramentas e caixilhos num tempo muito curto. Note-se que a produção não é para lotes.

Estas capacidades são difíceis de projectar.

Nos SMs operados manualmente, os erros humanos podem causar problemas, tais como os operadores não executarem as operações correctas nos diferentes estilos de unidades.

Nos sistemas automatizados, os sistemas com sensores devem ser projectados de forma a permitir a identificação da peça. A mudança de programas de partes é hoje conseguida com relativa facilidade.

A mudança do setup físico é que é mais complicada, e a sua solução é tão mais complexa quanto maior o diferente número de estilos de peças. Permitir flexibilidade a um SM aumenta a sua complexidade. Os sistemas de manuseamento de material ou os caixilhos de paletes têm que ser projectados de modo a permiti uma variedade de formatos. O número necessário de ferramentas aumenta. A inspecção torna-se mais complicada dada a variedade de partes. A logística do sistema é mais complexa, assim como o escalonamento e a coordenação do sistema.

Sistemas de Manufatura Reconfiguráveis

Numa era em que novos estilos de produtos estão a ser introduzidos com ciclos de vida cada vez mais curtos, o custo do projecto, construção e instalação de um novo SM de

cada vez que um novo produto ou parte tem que ser produzido está a tornar-se proibitivo, tanto em termos de custos como de tempo.

Uma alternativa consiste em reutilizar e reconfigurar os componentes do antigo sistema no novo SM.

No projecto actual dos SMs, estes são projectados com características que permitem a sua alteração para novos estilos de produtos se necessário. Estas características incluem:

- 1) **Facilidade de Mobilidade** – As ferramentas e outras máquinas de produção são projectadas com uma base de três pontos que permite que sejam facilmente levantados por uma grua ou um empilhador.
- 2) **Desenho modular de componentes do sistema** – Isto permite que componentes de hardware de diferentes marcas de máquinas sejam conectados juntos.
- 3) **Arquitetura aberta nos controlos de computadores.** Permite intercâmbio de dados entre pacotes de SW de diferentes marcas.
- 4) **Estações de trabalho CNC** – Embora as máquinas de produção no sistema sejam dedicadas a um produto, são pelo menos controláveis por controlo numérico para permitir upgrades no SW, mudanças na peça correntemente a ser produzida e mudança de equipamento quando a produção termina.