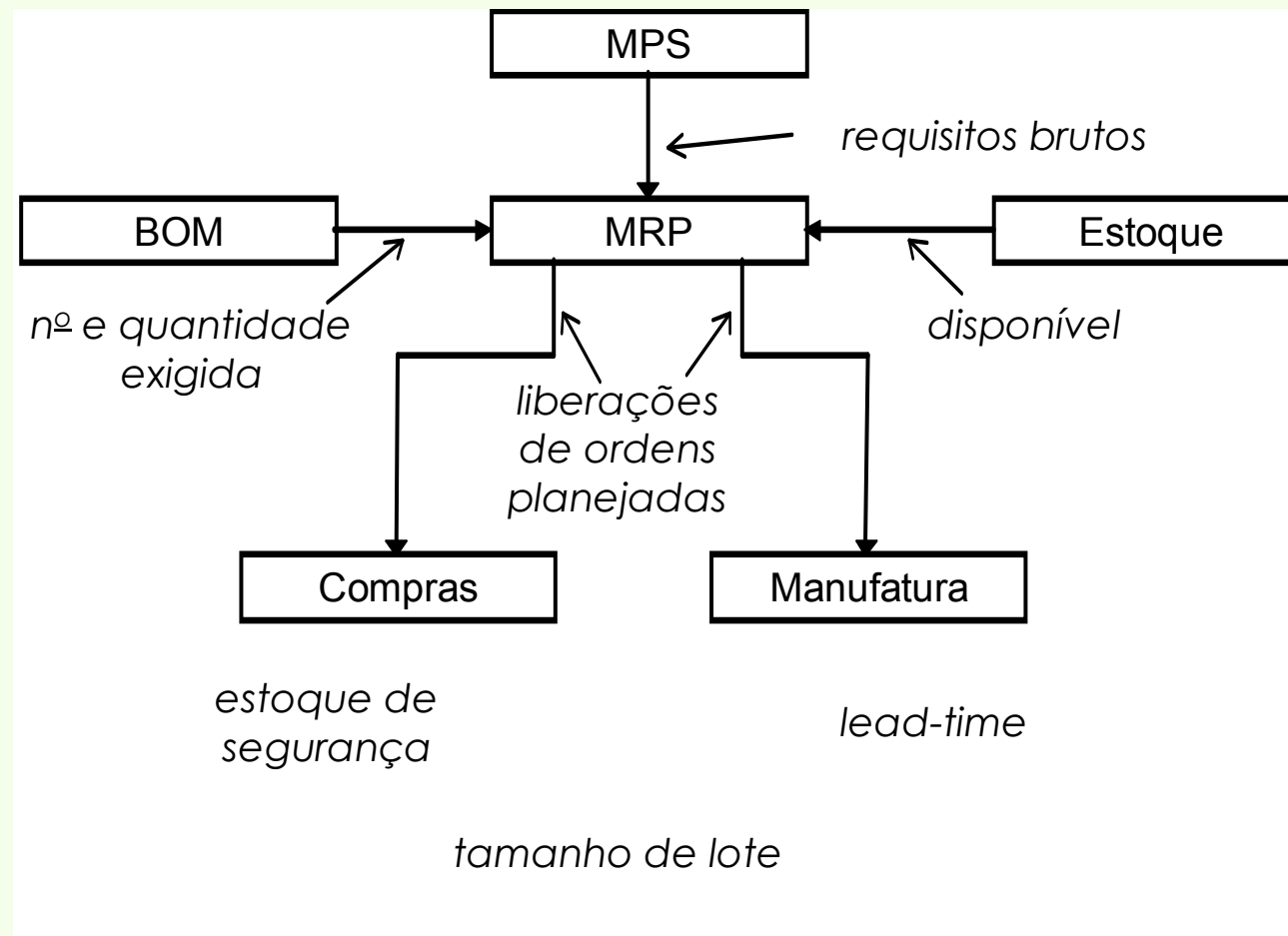


PLANEJAMENTO DE RECURSOS E PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA (MRP II)

- Atividades em MRP II incluem:
 - o plano mestre de produção (MPS),
 - o planejamento de requisitos de materiais (MRP),
 - o planejamento de requisitos de capacidade,
 - o planejamento de liberação de ordens,
 - o seqüenciamento de operações.

PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA (MRP II)



Um modelo operacional de um MRP II

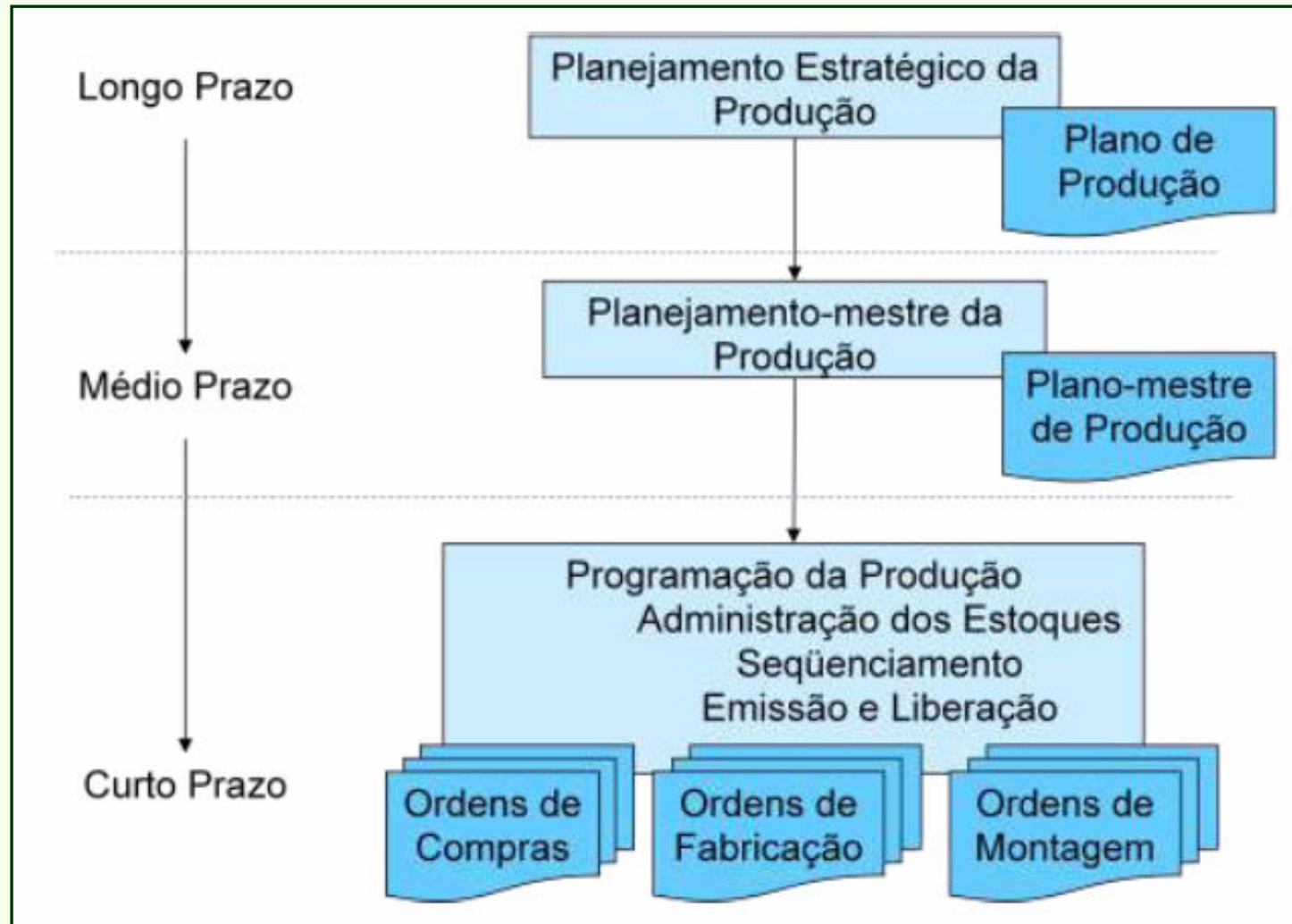
PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA (MRP II)

- Planejamento de recursos → inicia com um **plano de longo prazo** onde as atividades de produção são projetadas no futuro.
- Planejamento de mercado → fornece informações de pesquisa sobre o **mercado potencial**, a **demanda** do consumidor externo, **demografia**, **recursos**, **processos**, novas **invenções**, **competição**, etc.
- Desses planos de longo prazo → **planos de médio e curto prazos** podem ser obtidos.

PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA (MRP II)

- Planos de longo prazo → podem ter um horizonte de **5** anos,
- Planos de médio prazo → horizonte de menos de **12** meses,
- Planos de curto prazo → horizonte de **2** semanas a **1** mês.
- Antes dos planos de médio e curto prazos serem ativados → deve haver uma **liberação da ordem** & o **projeto do produto** deve ser conhecido, bem como os seus métodos e seqüências de manufatura.

PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA (MRP II)



PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Planej. da produção → fornece uma **estrutura** para resolver **conflitos** devido a **mudanças** no **marketing** do produto e nos **recursos** de produção.
- Suponha que o marketing antevê uma oportunidade de expandir para um **novo mercado** → requisita os recursos de produção para um **novo produto**:
 - plano **específico** de produção → os recursos para um novo produto não podem ser alocados sem reduzir a produção de um outro produto.
- Planej. da produção → obriga que o planejamento de recursos seja consistente com a capacidade de produção necessária para o plano de produção.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Depois de resolver questões de **marketing e finanças** & um **plano de produção de médio prazo** estiver pronto → a missão da manufatura para a empresa estará claramente definida.
- Plano de produção:
 - fornece para o planejamento da manufatura e para o chão de fábrica as **ordens necessárias para satisfazer os objetivos da empresa**.
 - normalmente estabelecido em **reais, dólares**, ou em **unidades agregadas por mês**.
 - corresponde à **produção planejada** estabelecida para a qual todos na empresa são responsáveis.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- P.ex. → a demanda prevista pode exceder as unidades agregadas no plano de produção.
- A gerência pode decidir produzir menos do que a demanda prevista. Razões:
 - desejo de ter menor quantidade e maior qualidade,
 - desejo de investir em equipamentos,
 - desejo de alocar os recursos financeiros em outras áreas.
- Plano de produção → fornece um meio para a tomada de decisões importantes quanto aos objetivos da empresa.

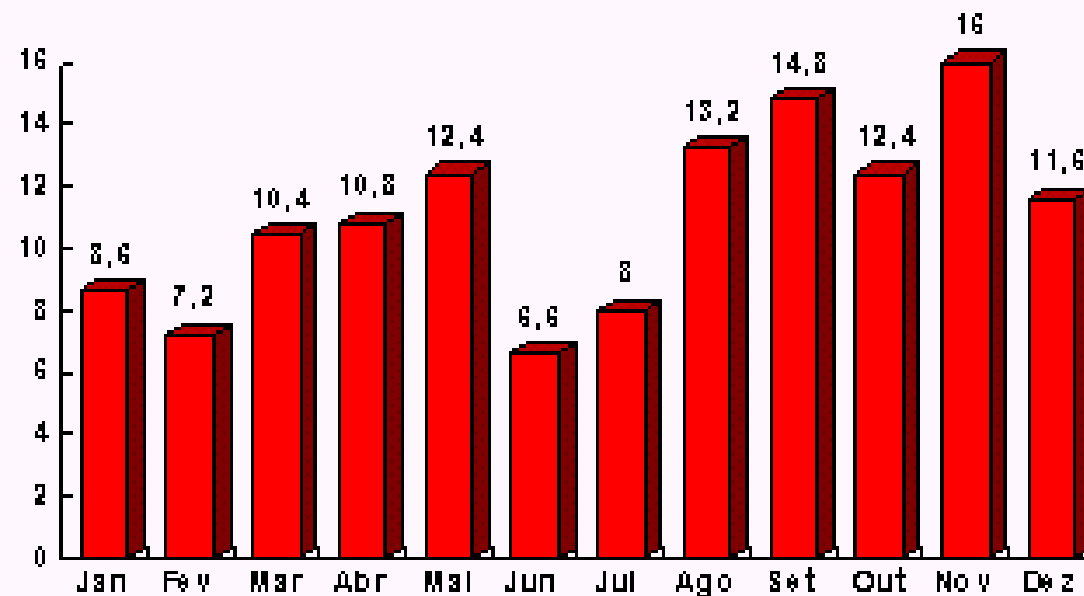
PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- O Processo de Planejamento da Produção

- Planej. da produção → começa com uma boa **previsão** para o ano seguinte que leva em consideração as variáveis de mercado.
- Plano da produção → revisado em intervalos regulares para inclusão de mudanças requisitadas.
 - P.ex. → muitas empresas bem sucedidas freqüentemente revêm o plano de produção **mensalmente** e fazem mudanças **trimestralmente**.
 - **Grade de tempo** → freqüentemente estabelece limites que permitem identificar se mudanças podem ser feitas no ciclo de planejamento.
 - P.ex. → grade de tempo: nenhuma mudança pode ser feita no período atual ou mais próximo & não mais do que 10% de mudanças podem ser feitas no próximo período.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

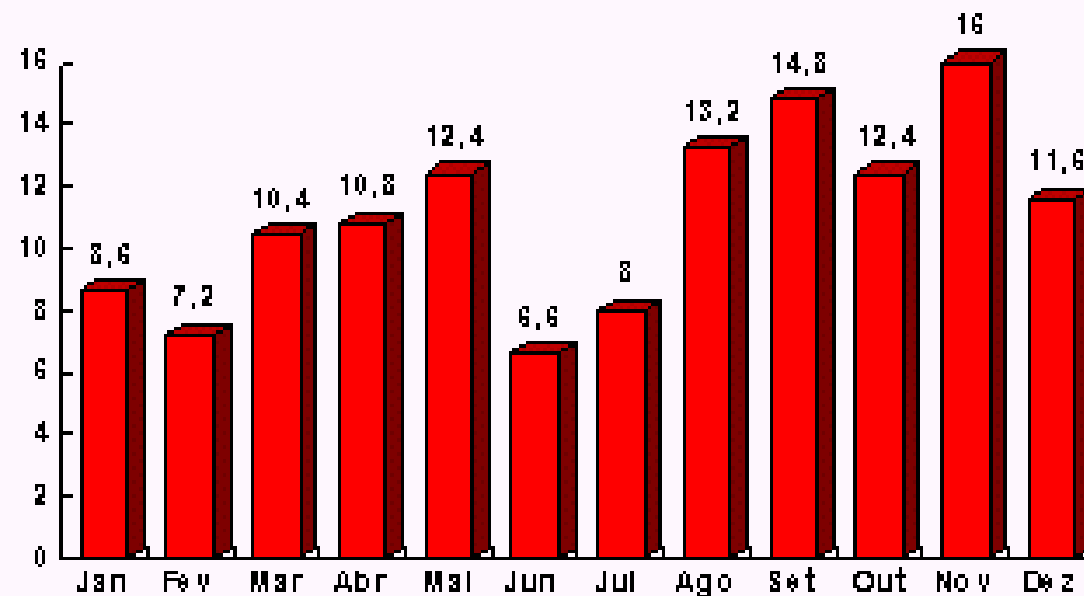
- Planejamento da Produção e Gerenciamento Variável da Manufatura
 - Plano de produção → declara os objetivos da produção para todos os produtos fabricados pela empresa.
 - P.ex. → considere o plano de produção declarado em dólares por mês para uma empresa que chamaremos aqui de XYZ (ver figura)



*Previsões
de vendas
mensais
para a
empresa
XYZ
(milhões de
dólares)*

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Convertendo esta previsão num plano de produção requer uma decisão quanto aos recursos. Fatos:
 - o pico das vendas ocorre em novembro
 - junho é o mês com menores vendas, i.e. \$6,6 milhões
 - 2 picos de vendas ocorrem, na primavera e no outono
 - o total de vendas para o ano é de \$132 milhões



*Previsões
de vendas
mensais
para a
empresa
XYZ
(milhões de
dólares)*

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Objetivo → alocar os **recursos variáveis** para satisfazer este plano de produção.
- Inicialmente → deve-se converter as **vendas em dólares** por período para **horas de mão-de-obra** por período.
- Conversão → usa-se uma **estimativa**, obtida dos registros de contabilidade da empresa, que relaciona o valor em dólares das vendas às horas de mão-de-obra direta.
 - Situação de **produção de baixa tecnologia**, que depende de mão-de-obra manual → p.ex. cada hora de mão-de-obra direta pode corresponder a **\$30 de vendas**.
 - Equipamentos de **alta tecnologia** → pode-se chegar a **\$100 de vendas** resultantes de cada hora de mão-de-obra direta.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

	Vendas (milhões de dólares)	Horas de mão-de-obra	Dias trabalhados	Força de trabalho variável	Semana de trabalho variável
jan	8,6	86.000	21	512	29,72
fev	7,2	72.000	20	450	26,12
mar	10,4	104.000	23	565	32,81
abr	10,8	108.000	20	675	39,19
mai	12,4	124.000	22	705	40,90
jun	6,6	66.000	10	825	47,89
jul	8,0	80.000	21	476	27,64
ago	13,2	132.000	22	750	43,54
set	14,8	148.000	21	881	51,14
out	12,4	124.000	22	705	40,90
nov	16,0	160.000	20	1000	58,05
dez	11,6	116.000	20	725	42,09
	<u>132</u>	<u>1.320.000</u>	<u>242</u>	<u>689</u>	<u>40,00</u>

Dados da estratégia de produção “chase” (“acompanhamento”)

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Exemplo → o fator de conversão de \$100 → próxima tabela.
- Coluna “**Vendas**” → resulta diretamente da previsão.
- Coluna “**Horas de mão-de-obra**” → calculada dividindo-se os dólares de venda pela taxa de conversão (i.e. $\$8.600.000 / 100 = 86.000$ horas de mão-de-obra direta).
- Coluna “**Dias trabalhados**” → número de dias úteis em cada período no mês.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Figura:
 - 160.000 horas de mão-de-obra direta são necessárias em novembro para satisfazer o valor máximo de vendas de \$16 milhões,
 - somente 66.000 horas serão necessárias em junho para satisfazer a demanda do período mais baixo de vendas.
- Grande variação nos requisitos de RH → base para o **planejamento dos recursos variáveis**.
- 3 estratégias de plan. da produção para solucionar essa variação nas horas de mão-de-obra necessárias:
 - “*chase*” (“acompanhamento”),
 - “*level*” (“nivelamento”)
 - **combinada**.

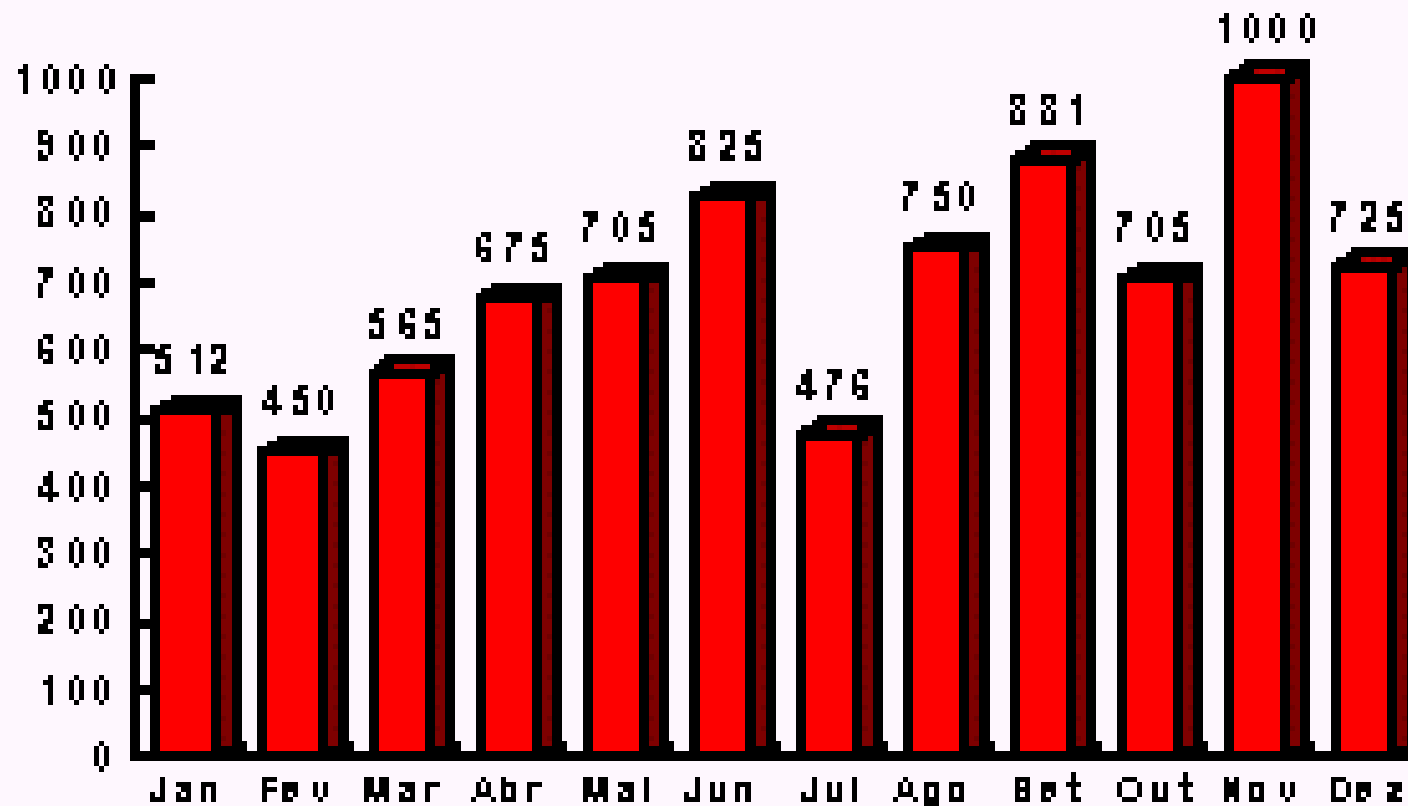
PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Estratégia de Produção “Chase”
(“Acompanhamento”)
 - produção em cada período = produção planejada para aquele período.
 - nível de estoque do produto no começo de cada período = 0, pois toda a produção planejada para aquele período seria produzida durante o período.
 - nº de empregados ou as horas trabalhadas por semana por cada empregado deve mudar para satisfazer a produção planejada para o período.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Próxima figura → gráfico de **emprego mensal**.
- “**Força de trabalho variável**” (figura anterior) → nº de empregados em tempo integral necessários a cada mês para satisfazer exatamente a produção planejada.
- Nº de empregados ?
 - Total de horas trabalhadas por cada empregado no período (21 dias trabalhados vezes 8 horas/dia = 168 horas por período por empregado).
 - Divide-se o total de horas de mão-de-obra para o período (86.000) pelas horas dos empregados (168) por período (86.000 horas de mão-de-obra dividido por 168 horas por empregado = 512 empregados).

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO



Número mensal de empregados em tempo integral na estratégia "chase"

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Análise → a quantidade de empregados varia de **450** em fevereiro até **1.000** em novembro → uma mudança nessa magnitude no nº de empregados em tempo integral ao longo de 12 meses seria **difícil de suportar** → indústrias que podem usar esse tipo de estratégia com sucesso normalmente requerem somente uma **pequena habilidade da mão-de-obra**.
- Outra abordagem dentro da estratégia “chase” → manter nº de empregados constante & alterar as horas trabalhadas por semana (ver coluna “**Semana de trabalho variável**” na figura anterior).
 - Nº médio de empregados necessários para uma produção anual (689) → indicada na parte inferior desta coluna.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Manter força de trabalho = **689** & alterar as horas trabalhadas por semana para satisfazer exatamente a produção planejada.
 - Carga semanal de trabalho varia de **26,12** em fevereiro até **58,05** em novembro.
- Horas necessárias por semana de trabalho?
 - Horas por mês por empregado (86.000 horas de m.d.o./mês dividido por 689 empregados = 124,8 horas de m.d.o./empregados/mês).
 - Divide-se o valor acima pelos dias úteis no mês → horas trabalhadas/dia/empregado ($124,8 / 21 = 5,94$ horas trabalhadas/dia/empregado).
 - Multiplica-se as horas diárias pelos 5 dias → total de horas semanais para cada empregado = 29,72 horas em janeiro.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- **Estratégia de Produção “Level” (“Nivelamento”)**
 - Requer que a produção em cada período seja igual à produção média mensal calculada a partir dos valores totais da produção para o ano.
 - Força de trabalho e horas de trabalho semanal são **constantes**, e a **produção é aproximadamente a mesma** a cada mês.
 - Em alguns meses → produtos produzidos não são vendidos & **estoque** de peças ↑ para cobrir os meses em que a demanda de mercado é maior do que a produção.
 - Ver próxima figura (colunas “**Produção mensal**” e “**Balanço de estoque**”):
 - força de trabalho = 689 empregados,
 - semana de trabalho = 40 horas.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

	Vendas (milhões de dólares)	Horas de mão-de-obra	Dias trabalhados	Força de trabalho nivelada	Produção mensal (milhões de dólares)	Balanço de estoque (milhões de dólares)
jan	8,6	86.000	21	689	11,58	2,98
fev	7,2	72.000	20	689	11,02	6,80
mar	10,4	104.000	23	689	12,68	9,08
abr	10,8	108.000	20	689	11,02	9,30
mai	12,4	124.000	22	689	12,13	9,03
jun	6,6	66.000	10	689	5,51	7,94
jul	8,0	80.000	21	689	11,58	11,52
ago	13,2	132.000	22	689	12,13	10,44
set	14,8	148.000	21	689	11,58	7,22
out	12,4	124.000	22	689	12,13	6,95
nov	16,0	160.000	20	689	11,02	1,97
dez	11,6	116.000	20	689	11,02	1,40
	<u>132</u>	<u>1.320.000</u>	<u>242</u>	<u>689</u>	<u>11,12</u>	<u>7,05</u>

Estratégia de produção “level”

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Produção mensal ?
 - Multiplica-se o número de empregados (689) por 8 horas por dia por dias trabalhados (21) pelo fator de conversão dólar-vendas (\$100) por hora trabalhada.
 - Balanço de estoque (em dólares) → diferença entre os dólares de vendas e os dólares de produção.
 - Estratégia “level” é ilustrada graficamente na próxima figura.
 - Produção não é nivelada exatamente porque o nº de dias trabalhados por mês varia um pouco de mês para mês.
 - Balanço de estoque → aumentou inicialmente, atingiu um máximo em julho, em preparação para a alta demanda no outono.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

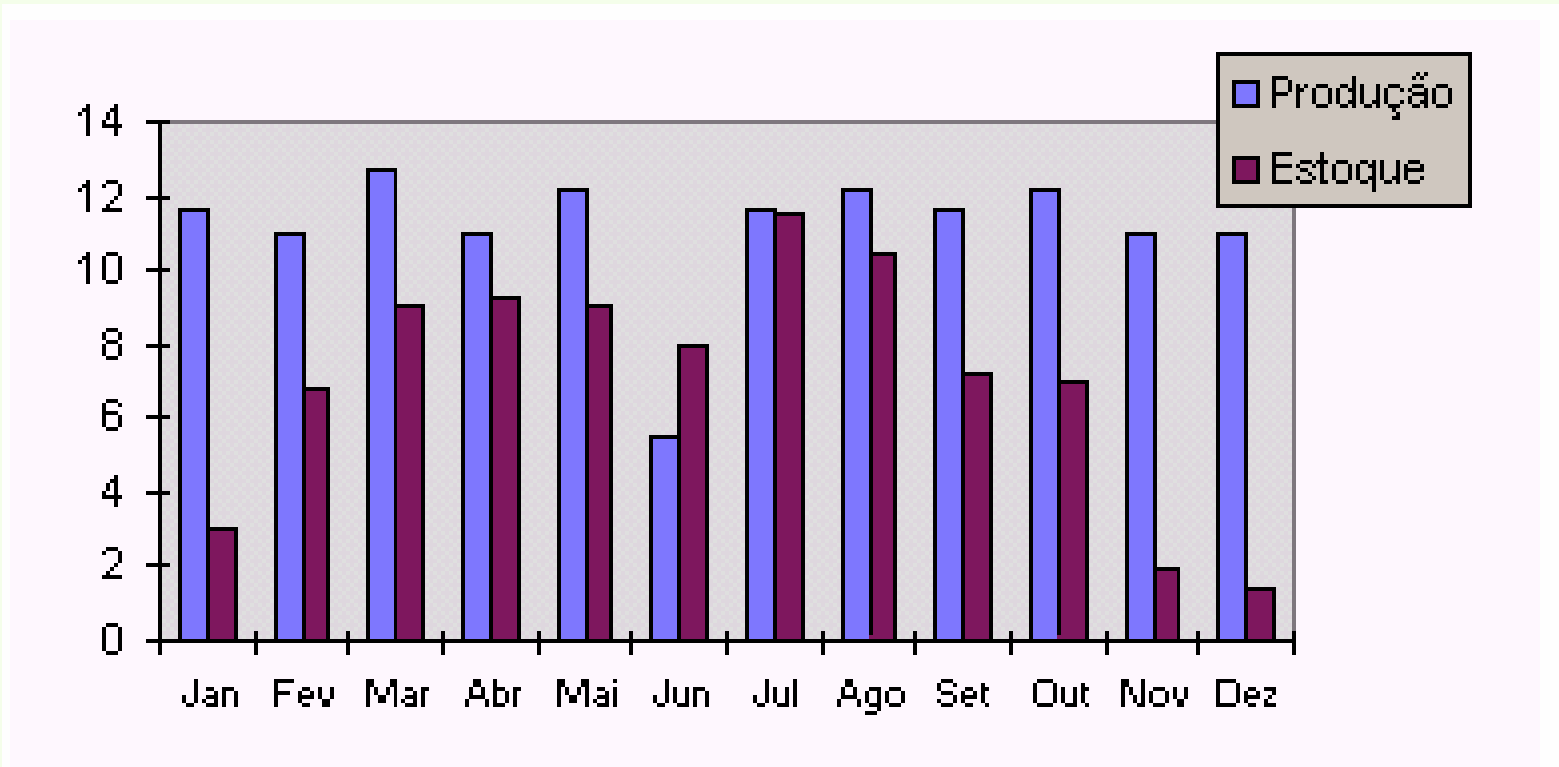


Gráfico resultante da implementação da estratégia “level”

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Vantagem da estratégia “*chase*” ?
 - Não há estoque;
- Desvantagem da estratégia “*chase*” ?
 - Há uma variação da força de trabalho, que representa um alto custo na contratação e demissão de empregados.
 - Semana variável → custo de turnos extras e da implementação de semanas mais curtas.
- Vantagem da estratégia “*level*” ?
 - Força de trabalho e a semana → constantes
- Desvantagem da estratégia “*level*” ?
 - Custo de estoque.
- Conseqüência → muitas empresas usam uma **combinação das duas estratégias**

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- **Estratégia de Produção Combinada**
 - Usa as melhores qualidades das estratégias “*chase*” e “*level*”.

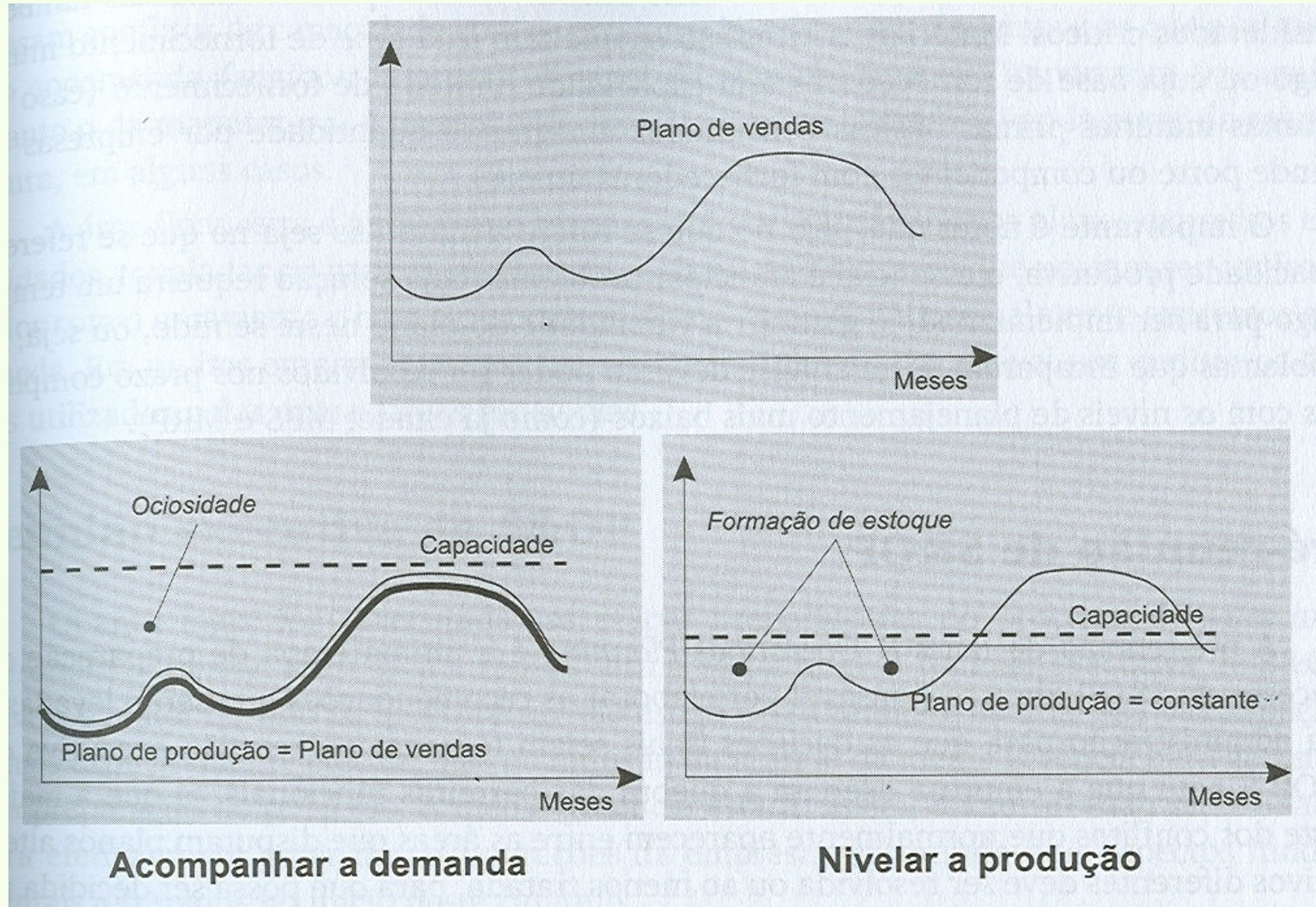
	Vendas (milhões de dólares)	Dias trabalhados	Força de trabalho nivelada	Produção mensal (milhões de dólares)	Balanco de estoque (milhões de dólares)
jan	8,6	21	610	10,25	1,65
fev	7,2	20	610	9,76	4,21
mar	10,4	23	610	11,22	5,03
abr	10,8	20	610	9,76	3,99
mai	12,4	22	610	10,74	2,33
jun	6,6	10	610	4,88	0,61
jul	8,0	21	610	10,25	2,86
ago	13,2	22	809	14,24	3,89
set	14,8	21	809	13,59	2,69
out	12,4	22	809	14,24	4,52
nov	16,0	20	809	12,94	1,47
dez	11,6	20	809	12,94	2,81
	<u>132</u>	<u>242</u>	<u>689</u>	<u>11,23</u>	<u>3,00</u>

Estratégia de produção combinada

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Força de trabalho → mantida nivelada em **610** empregados para os primeiros **7** meses, e então aumenta para **809** empregados para os últimos **5** meses.
- Semana constante de **40** horas para todos os períodos.
- Estoque médio → reduzido de **\$6,31** milhões para **\$3** milhões.
- Recursos economizados com o estoque → devem ser superiores aos custos de mudanças na força de trabalho 2 vezes no ano.

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO



PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

EXERCÍCIO: Preencha a tabela abaixo, que corresponde ao planejamento da produção de uma certa indústria metal-mecânica. Assumir que cada hora de mão-de-obra direta corresponde a **\$110,00** de vendas.

		<i>Períodos</i>					
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>Vendas (\$ 10⁶)</i>		3,4	3,0	4,1	4,7	5,2	3,9
<i>Dias Trabalhados</i>		10	20	23	20	22	21
<i>LEVEL (NIVELAMENTO)</i>	<i>Mão-de-obra nivelada</i>						
	<i>Produção mensal (\$ 10⁶)</i>						
	<i>Estoque acumulado (\$ 10⁶)</i>						
<i>CHASE (ACOMPANHAMENTO)</i>	<i>Mão-de-obra variável</i>						
	<i>Semana variável de trabalho</i>						

- Haverá problemas de suprimento da demanda no período? Caso tais problemas ocorram, faça seus cálculos de maneira a evitar tal ocorrência.

- Assumir que cada semana corresponde a 5 dias, e cada dia corresponde a 8 horas.

PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- **Plano Mestre de Produção (MPS)** → produzido considerando-se as encomendas do cliente & a previsão baseada na pesquisa de mercado ou histórico do desempenho do produto no mercado.
- MPS → lista de produtos finais a serem fabricados, as quantidades encomendadas e as datas de entrega.
 - Contém uma matriz que lista o número de produtos a serem completados numa dada escala de tempo (ver próxima figura).
 - Normalmente é utilizado como entrada para o MRP I.

PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

	<i>Nº do período</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Previsão</i>										
<i>Disponível depois</i>										
<i>MPS</i>										
<i>Disponível antes</i>										

Um plano mestre de produção

PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- MRP II → começa com a concepção do MPS.
 - Horizonte para o agendamento aqui → normalmente 1 ou vários anos → usado para tomar decisões de **capacidade para a planta, novos processos de manufatura, equipamentos e mão-de-obra.**

PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Método normalmente usado para representar dados de **MPS** → registro de períodos

	<i>Nº do período</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Previsão</i>	5	5	5	5	5	5	20	20	20	20
<i>Disponível depois</i>	26	32	38	44	50	56	47	38	29	20
<i>MPS</i>	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
<i>Disponível antes</i>	20									

Um registro de períodos num MPS

PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Registro → usado para mostrar a relação entre a **taxa de saída, previsão de vendas, e o balanço de estoque esperado**.
 - Nº de períodos → função da empresa específica & do produto.
 - Previsão → nº de **itens-fim** que a gerência antevê que será vendida naquele período.
 - Dependendo da estratégia de produção, as unidades mostradas na linha de previsão serão:
 - números do produto (no caso de produção para estoque), ou
 - informações do BOM (no caso de produção por encomenda).

PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Linha “**Disponível depois**” → balanço de estoque no fim do período ou o nº de unidades disponíveis para venda no próximo período.
- Linha “**MPS**” → nº de unidades agendadas para a produção durante o período e disponível para satisfazer a previsão para o período.
- Linha “**Disponível antes**” → nº de unidades presentes no estoque no início do primeiro período.

PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Agendador MPS → começa com o registro que possui valores na linha de “previsão” e “disponível antes”.
- Dependendo da política da empresa e recursos disponíveis, decide-se aplicar uma das 3 estratégias descritas anteriormente → registro da figura anterior → estratégia “level”.

PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Nº de unidades de MPS por período ?
 - Soma-se a previsão para **10** períodos (**110** unidades),
 - Divide-se pelo número de períodos, chegando-se à taxa de produção no período (**11**).
 - O estoque aumenta nos primeiros 6 períodos para cobrir a maior taxa de vendas nos últimos 4 períodos.
 - Com os valores na linha MPS inseridos no registro → o agendador calcula a linha disponível começando no período 1.
 - O valor disponível no fim do período 1 = balanço + unidades produzidas no período 1 - vendas previstas para o período (**20 + 11 - 5 = 26**).
 - Processo repete-se para o período 2, exceto que o valor disponível no período 1 torna-se o valor disponível para o período 2 (**26 + 11 - 5 = 32**).

PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Produção em lotes ?
 - Hipótese → no registro de MPS mostrado na figura anterior → tamanho de lote econômico para o produto = **11** unidades.
 - Se tamanho de lote para a fabricação econômica do produto for diferente? → isto deve-se refletir no registro de MPS.
 - Assumir tamanho de lote = 30 unidades (estratégia “level”) → ilustrado na figura abaixo.

	<i>Nº do período</i>									
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
<i>Previsão</i>	5	5	5	5	5	5	20	20	20	20
<i>Disponível depois</i>	45	40	35	60	55	50	60	40	20	0
<i>MPS</i>	30			30			30			
<i>Disponível antes</i>	20									

Um registro de períodos num MPS com tamanhos de lote

PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- MPS → produção de **30** unidades nos períodos **1, 4 e 7**.
- Tamanhos de lote $\uparrow \Rightarrow$ Níveis de estoque \uparrow
- Não há estoque de segurança \Rightarrow estoque **0** para o período **11**
- Se nenhum tamanho de lote for necessário \Rightarrow sistema de produção produz lote a lote, ou apenas o que for necessário
 - entretanto, devido ao **tempo de setup e outras operações** que adicionam custo à manufatura do produto \Rightarrow muitas operações de manufatura estabelecem um **tamanho de lote mínimo** para a produção.

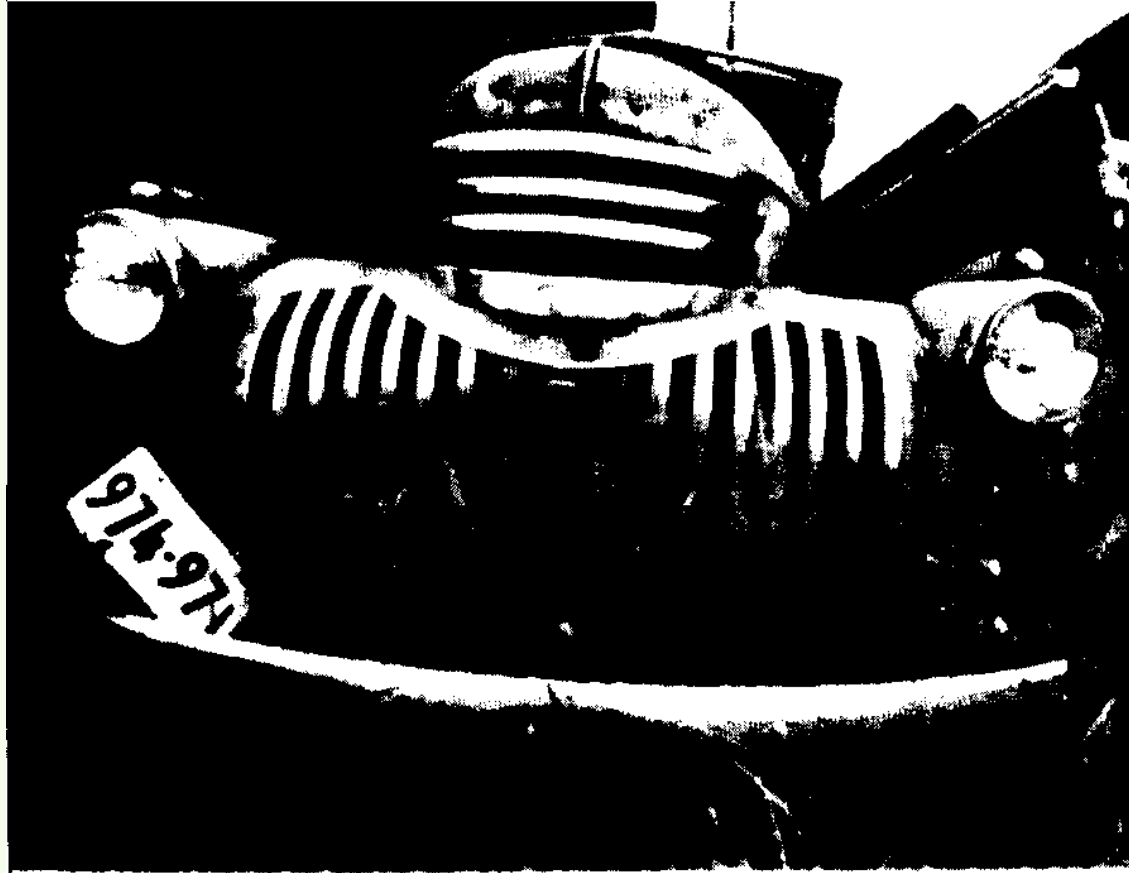
PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- **Estoque é muito caro** \Rightarrow ele amarra recursos financeiros que poderiam ser usados por outras áreas da manufatura \Rightarrow em **estruturas de manufatura modernas**, uma tentativa é feita para trabalhar sem estoque ou para reduzi-lo ao mínimo.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)



PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

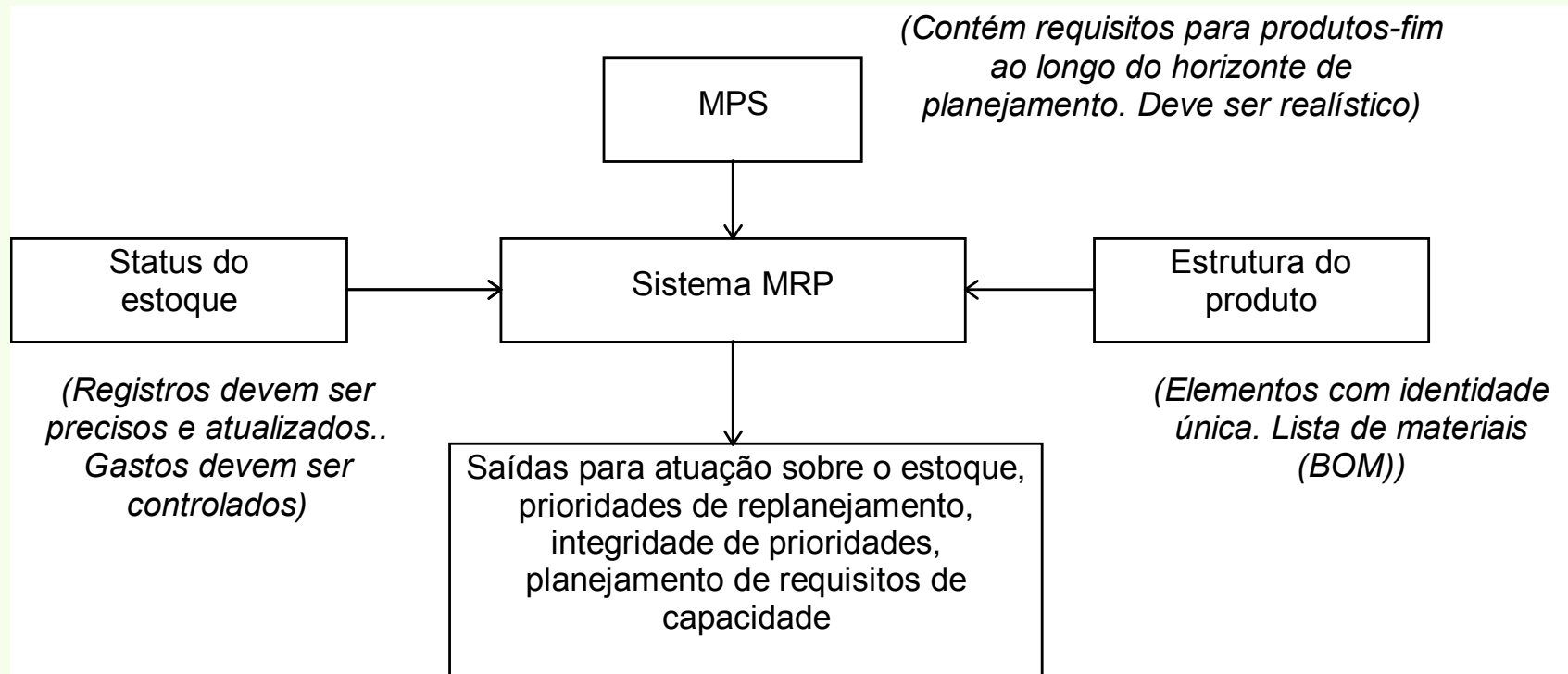


Estoque:
Quanto mais tempo ele permanece,
mais difícil fica para retirá-lo

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Entretanto \Rightarrow freqüentemente o fornecedor é exigido a estocar e usar as peças quando há a necessidade.
- Na maioria das funções da manufatura, necessita-se algum estoque ou estoque de segurança.
- O MRP I é um tipo de sistema de gerenciamento de estoque (ver próxima figura).

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)



Relação do sistema MRP com outros sistemas de planejamento

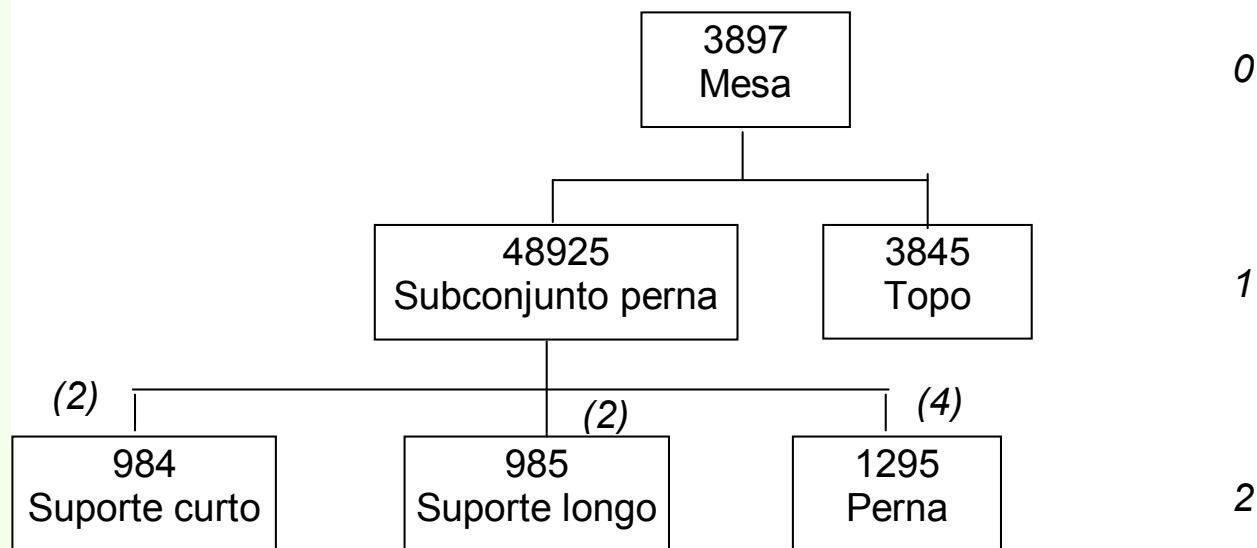
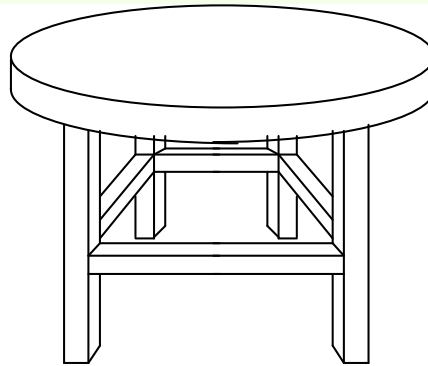
PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- 2 entradas tradicionais fornecem informações críticas para um sistema MRP efetivo:
 - BOM;
 - estoque atual.
- Os dados destas 2 fontes devem ser **sincronizados e precisos** para um sistema formal de MRP funcionar.
- Atualizações do sistema de controle de estoque (manufatura ou compras) devem ser contínuas.
 - P.ex. em algumas operações de manufatura, peças de **fornecedores** chegam diariamente \Rightarrow controle de estoque é atualizado quando as peças chegam, visando fornecer informações sincronizadas para os planejadores.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Maioria das instalações de MRP exige-se:
 - precisão do BOM de pelo menos **95%**,
 - precisão de localização e contagem de peças acima de **98%**.
- BOM \Rightarrow fornece para o MRP o nº da peça & a quantidade de todas as peças necessárias para construir e montar o produto.
- Sistemas de **controle de estoque** \Rightarrow fornecem para o MRP o balanço de **peças disponíveis** e dos **materiais** listados no BOM.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)



Um exemplo de lista de materiais (BOM)

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Saída de um MRP (**liberações de ordens planejadas**) ⇒ direcionadas para **compras** ou para a **manufatura interna**, baseado em estudos sobre **comprar ou fazer**.
- Cálculos de MRP que geram as ordens planejadas são afetadas por outras 3 variáveis:
 - estoque de segurança,
 - tamanho de lote,
 - “lead time” (= tempo de atravessamento).
- Registro de MRP ⇒ usado para registrar manualmente os dados associados aos cálculos do MRP (ver próxima figura)

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

N ^o da peça	Número do Período									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requisitos brutos										
Recebimentos agendados										
Disponível antes										
Recebimentos de ordens planejadas										
Liberações de ordens planejadas:										
Lead time =										
Tamanho de lote =										
Estoque de segurança =										

Um registro de MRP

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Cálculos de MRP

- Registro do MRP na figura abaixo ⇒ ilustra os valores presentes no registro antes dos cálculos.

N ^o da peça	Número do Período									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requisitos brutos	16		8	15	21		12	15		28
Recebimentos agendados	15									
Disponível antes	4									
Recebimentos de ordens planejadas										
Liberações de ordens planejadas: Lead time = 1 Tamanho de lote = 5 Estoque de segurança = 0										

Registro básico de MRP com valores iniciais

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- **Cálculos de MRP**

- ***Requisitos Brutos*** (16 unidades) \Rightarrow podem advir tanto do próximo nível mais elevado do diagrama da estrutura do produto ou do MPS.
- ***Recebimentos Agendados*** (3 vezes o tamanho de lote de 5, i.e. 15 unidades) \Rightarrow são liberações de ordens planejadas que tornaram-se ordens firmadas quando estas foram liberadas para a manufatura ou para o fornecedor no último período do registro anterior.
- ***Estoque Disponível para o início do primeiro período*** (4 unidades mostradas na caixa) \Rightarrow determinado a partir do registro do MRP referente ao último período; é freqüentemente verificado por uma contagem do estoque de peças.
- ***Lead Time, Tamanho de Lote e o Estoque de Segurança*** \Rightarrow estabelecidos pelos departamentos de compras e manufatura.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Cálculos de MRP

- Cálculos do registro \Rightarrow iniciam com o primeiro período e prosseguem até o último.
- Cálculos determinam o balanço projetado disponível e a necessidade de uma liberação de ordem planejada.
 - Se o balanço de estoque projetado for **positivo** e acima do nível de estoque de segurança, nenhuma ação é necessária para aquele período.
 - Entretanto, se o balanço for **negativo** ou menor do que o estoque de segurança exigido \Rightarrow uma liberação de ordem é necessária e deve ser incluída nos cálculos do balanço de estoque.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Cálculos de MRP

Cálculos no Período 1:

Estoque inicial + recebimentos agendados - requisitos brutos = balanço projetado disponível

$$4 + 15 - 16 = 3 \text{ unidades}$$

- O balanço projetado disponível de 3 unidades estaria disponível no início do segundo período.

Cálculos no Período 2:

Estoque inicial + recebimentos agendados - requisitos brutos = balanço projetado disponível

(ou recebimentos de ordens planejadas)

$$3 + 0 - 0 = 3 \text{ unidades}$$

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Cálculos de MRP

- Estoque inicial para o período 2 = estoque final para o período 1.
- Período 2 \Rightarrow poderia ter ou um recebimento agendado ou um recebimento de ordem planejada, dependendo das necessidades da produção e do lead time.
- Nessa situação não houve necessidade de nenhum dos dois.
- As equações para todos os períodos subseqüentes serão as mesmas que a equação do período 2.

Cálculos no Período 3: $3 + 5 - 8 = 0$ unidades

Cálculos no Período 4: $0 + 15 - 15 = 0$ unidades

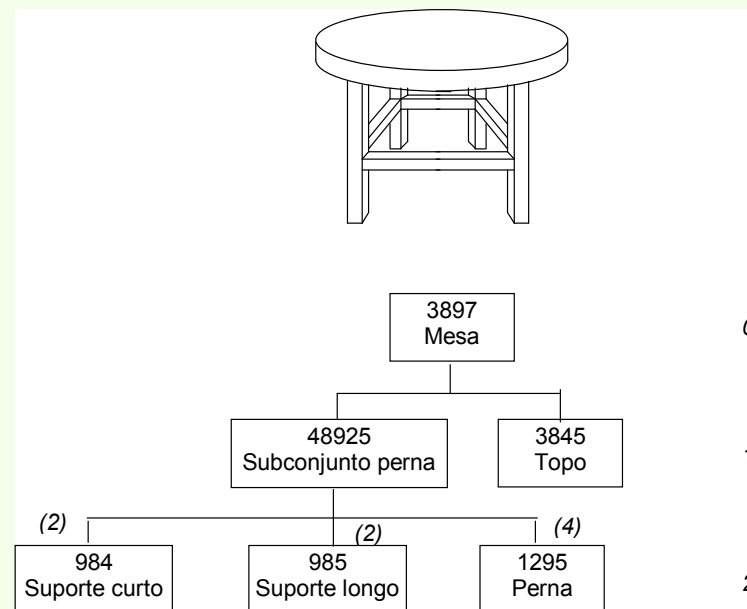
Cálculos no Período 5: $0 + 25 - 21 = 4$ unidades

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

Nº da peça	Número do Período									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requisitos brutos	16		8	15	21		12	15		28
Recebimentos agendados	15									
Disponível antes	4	3	3	0	0	4	4	2	2	4
Recebimentos de ordens planejadas			5	15	25		10	15		30
Liberações de ordens planejadas: Lead time = 1 Tamanho de lote = 5 Estoque de segurança = 0		5	15	25		10	15		30	

Registro de MRP completado

	Número do Período									
<i>Produto 48925 (subconjunto Perna)</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Previsão	10	10	10	20	10	10	20	20	20	20
Disponível depois	25	15	5	30	20	10	65	45	25	5
MPS	(30)			(45)			(75)			
Disponível antes	5									
		2x			2x			2x		
<i>Peça nº 948 (suporte curto)</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requisitos brutos	(60)			(90)			(150)			
Recebimentos agendados	40									
Disponível antes	23	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Recebimentos de ordens planejadas				90			150			
Liberações de ordens planejadas:		90				150				
Lead time = 2										
Tamanho de lote = 5										
Estoque de segurança = 0										



Interface entre registro de MRP e MPS para peças da mesa ilustrada anteriormente

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

	Número do Período									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Previsão	10	10	10	20	10	10	20	20	20	20
Disponível depois	25	15	5	30	20	10	65	45	25	5
MPS	30			45			75			
Disponível antes	5									
			1x			1x			1x	
<i>Peça no 3887 (mesa)</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requisitos brutos	30			45			75			
Recebimentos agendados	40									
Disponível antes	5	15	15	15	10	10	10	15	15	15
Recebimentos de ordens planejadas				40			80			
Liberações de ordens planejadas:		40				80				
Lead time = 3										
Tamanho de lote = 20										
Estoque de segurança = 0										

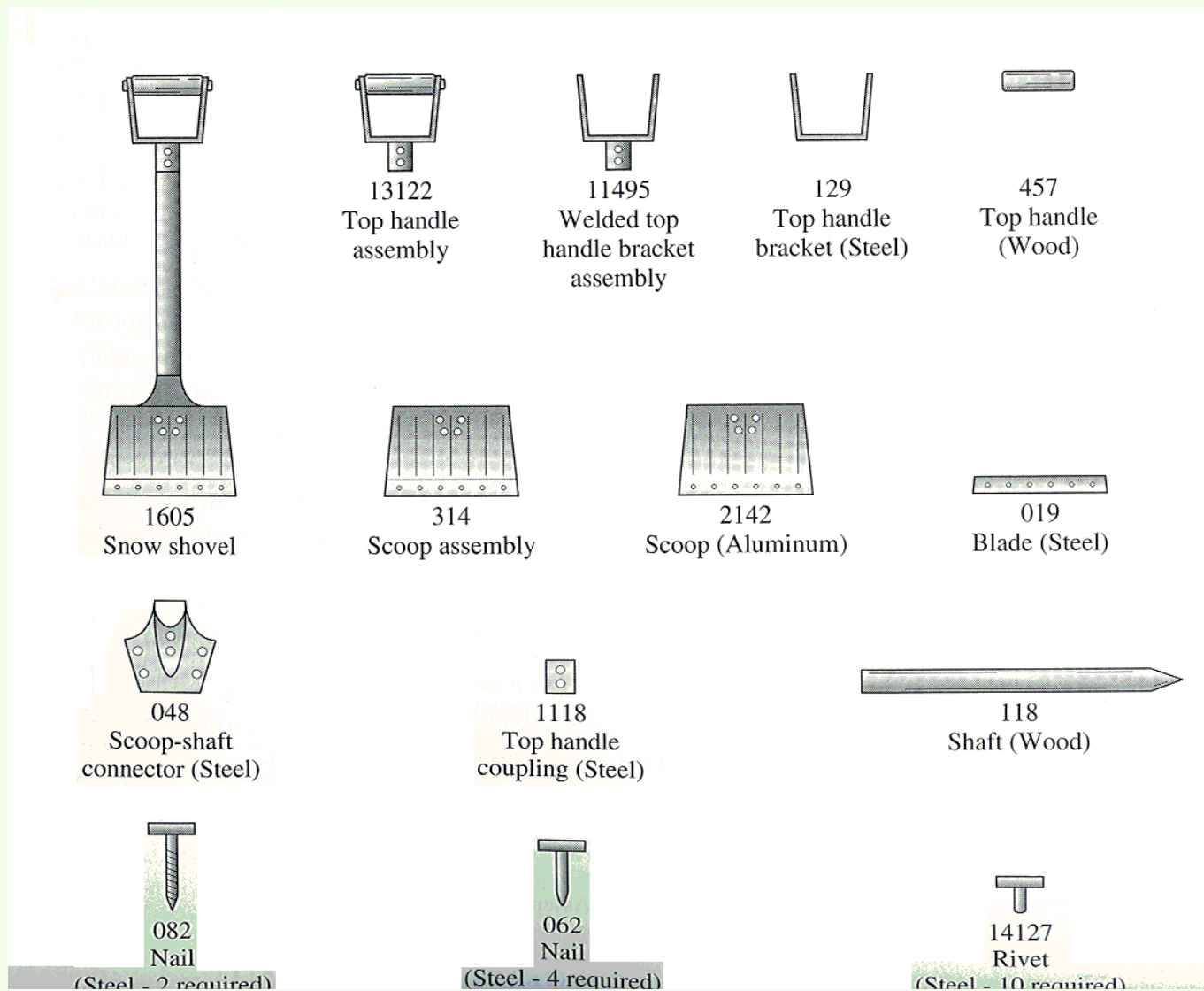
Interface entre registro de MRP e MPS para peças da mesa ilustrada anteriormente

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

EXERCÍCIO: Preencha a tabela abaixo, referente ao MRP para uma determinada peça

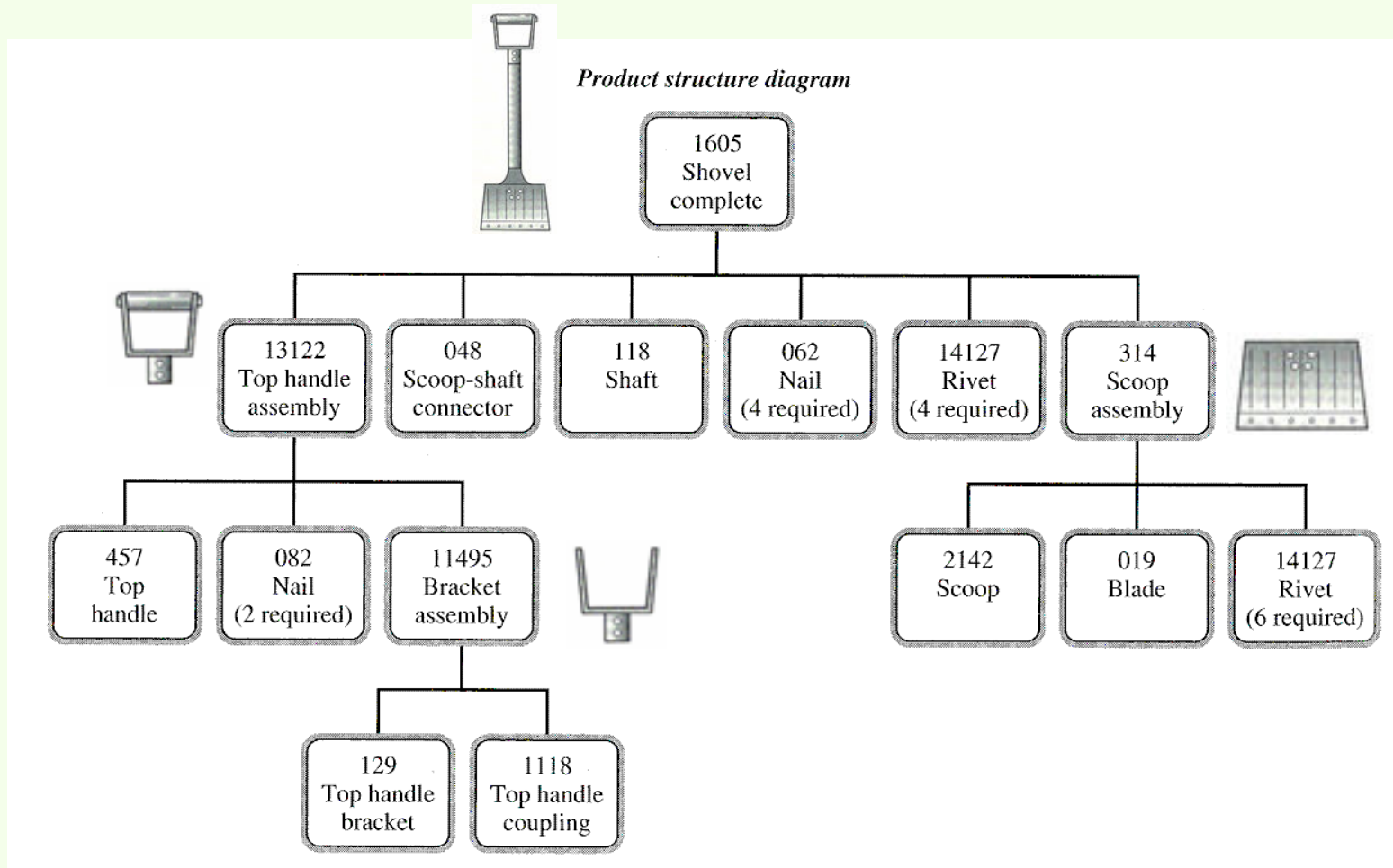
<i>Período</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
<i>Requisitos brutos</i>		28	19	23	20	22	17	15	11	31	21	38	26
<i>Recebimentos agendados</i>		20		20									
<i>Disponível antes</i>	22												
<i>Recebimento de ordens planejadas</i>													
<i>Liberação de ordens planejadas</i>													
<i>Lead-Time = 2 períodos; Tamanho de lote = 5; Estoque de segurança = 5</i>													

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO



*Exemplo:
Componentes e
Submontagens
de uma pá para
neve
(código 1605)*

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO



Lista de Materiais de uma pá para neve (código 1605)

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

Part Description	Part Number	Inventory	Scheduled Receipts	Gross Requirements	Net Requirements
Top handle assembly	13122	25	—	100	75
Top handle	457	22	25	75	28
Nail (2 required)	082	4	50	150	96
Bracket assembly	11495	27	—	75	48
Top handle bracket	129	15	—	48	33
Top handle coupling	1118	39	15	48	—

Cálculo de requisitos de materiais para a pá para neve

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

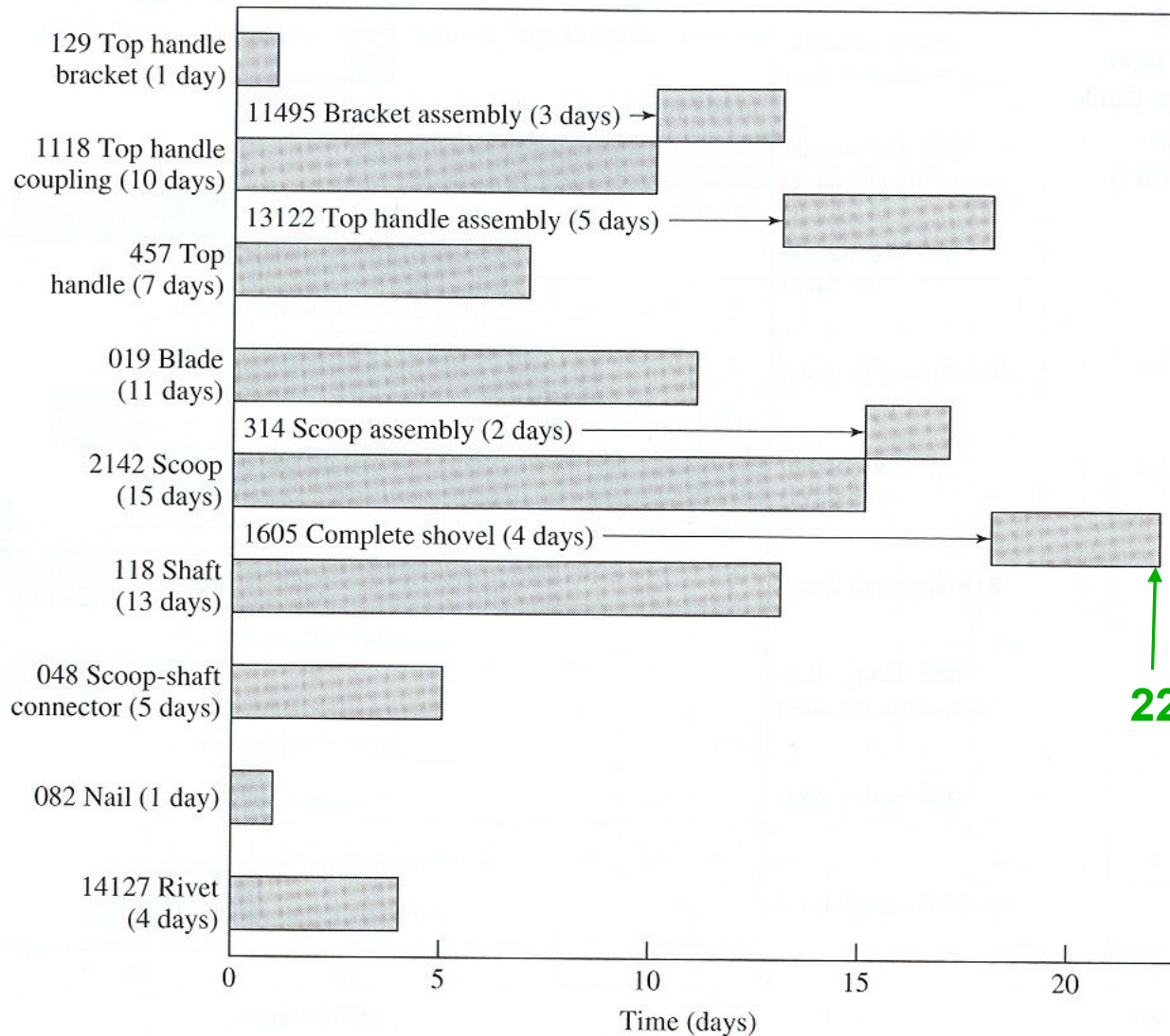


Gráfico de Gantt resultante da abordagem progressiva aplicada à pá para neve

(usada normalmente no caso de prioridade máxima do produto)

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

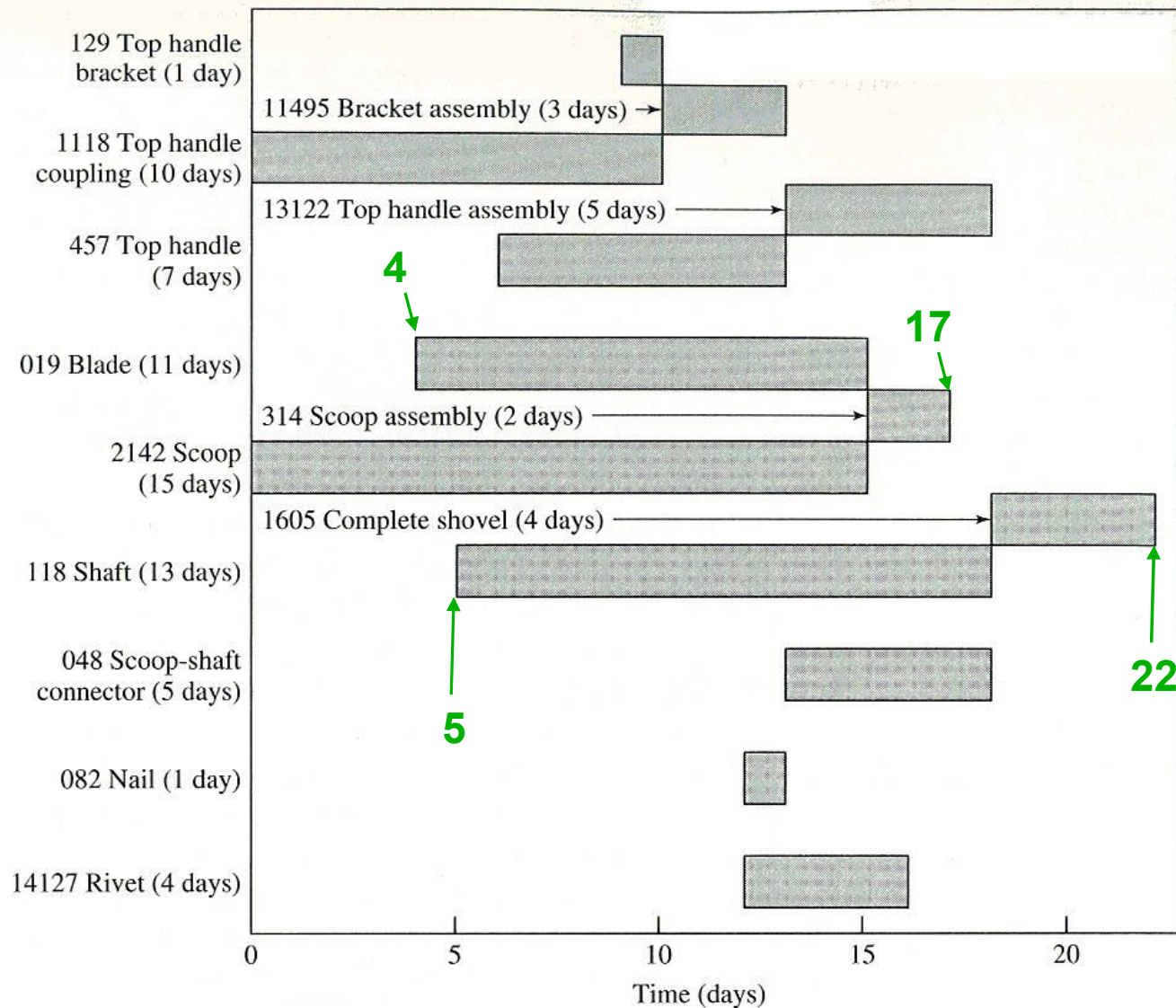


Gráfico de Gantt resultante da abordagem regressiva aplicada à pá para neve

		Week										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
13122 Top handle assembly Lead time = 2	Gross requirements			20		10		20	5		35	10
	Scheduled receipts											
	Projected available balance	25	25	5	5	0	0	0	0	0	0	0
	Planned order releases			5		20	5		35	10		
457 Top handle Lead time = 2	Gross requirements			5		20	5		35	10		
	Scheduled receipts				25							
	Projected available balance	22	22	17	42	22	17	17	0	0	0	0
	Planned order releases						18	10				
082 Nail (2 required) Lead time = 1 Lot size = 50	Gross requirements			10		40	10		70	20		
	Scheduled receipts		50									
	Projected available balance	4	54	44	44	4	44	44	24	4	4	4
	Planned order releases					50		50				
11495 Bracket assembly Lead time = 2	Gross requirements			5		20	5		35	10		
	Scheduled receipts											
	Projected available balance	27	27	22	22	2	0	0	0	0	0	0
	Planned order releases				3		35	10				
129 Top handle bracket Lead time = 1	Gross requirements			3		35	10					
	Scheduled receipts											
	Projected available balance	15	15	15	12	12	0	0	0	0	0	0
	Planned order releases					23	10					
1118 Top handle coupling Lead time = 3 Safety stock = 20	Gross requirements			3		35	10					
	Scheduled receipts			15								
	Projected available balance	39	39	54	51	51	20	20	20	20	20	20
	Planned order releases			4	10							

Registros de MRP para a submontagem “alça” da pá para neve

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- CRP:
 - agenda a capacidade para cada peça independentemente
 - então soma a capacidade planejada para cada centro de trabalho para cada peça processada.
- Se um centro de trabalho é usado por muitas peças → é possível que a capacidade planejada exceda as horas disponíveis no período.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O processo inicia com um **MPS teórico** que é convertido em **liberações de ordens planejadas** através do MRP.
- Usando os roteamentos para identificar os centros de trabalho necessários → requisitos de materiais são convertidos em **mão-de-obra** e **carga-máquina** nos centros de trabalho.
- As carga-máquinas são agendadas através do CRP e verifica-se a capacidade planejada junto com a capacidade disponível.
- **Ordens** são liberadas para os centros de trabalho com horas suficientes para produzir as peças.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Entretanto → centros de trabalho com cargas ↑ que a capacidade disponível → requerem uma **mudança**:
 - ou nos roteamentos
 - ou no MPS para satisfazer a capacidade existente,
 - ou um aumento na capacidade através de horas extras, uso de máquinas adicionais,
 - ou subcontratação.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

Master production schedule (in units):

End Product	Period													Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
A	33	33	33	40	40	40	30	30	30	37	37	37	37	457
B	17	17	17	13	13	13	25	25	25	27	27	27	27	273

Direct labor time per end product unit:

End Product	Total Direct Labor in Standard Hours/Unit
A	0.95 hours
B	1.85

Estimated Capacity Requirements Using Overall Factors (in standard direct labor-hours)

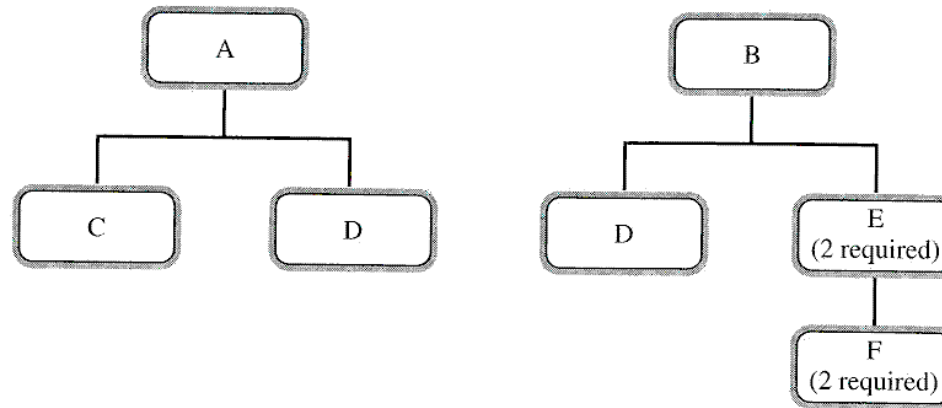
Work Center	Historical Percentage	Period													Total Hours
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
100	60.3	37.87	37.87	37.87	37.41	37.41	37.41	45.07	45.07	45.07	51.32	51.32	51.32	51.32	566.33
200	30.4	19.09	19.09	19.09	18.86	18.86	18.86	22.72	22.72	22.72	25.87	25.87	25.87	25.87	285.49
300	9.3	5.84	5.84	5.84	5.78	5.78	5.78	6.96	6.96	6.96	7.91	7.91	7.91	7.91	87.38
Total required capacity		62.80*	62.80	62.80	62.05	62.05	62.05	74.75	74.75	74.75	85.10	85.10	85.10	85.10	939.20

*62.80 = (

$$62,80 = (0,95 \times 33) + (1,85 \times 17)$$

CP com Fatores Globais: entrada direta do MPS

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)



CP com Fatores Globais : considera a Estrutura do Produto
Slide 1

Routing and Standard Time Data

	Lot Sizes	Operation	Work Center	Standard Setup Hours	Standard Setup Hours per Unit	Standard Run Time Hours per Unit	Total Hours per Unit
End Products							
A	40	1 of 1	100	1.0	0.025*	0.025	0.05†
B	20	1 of 1	100	1.0	0.050	1.250	1.30
Components							
C	40	1 of 2	200	1.0	0.025	0.575	0.60
		2 of 2	300	1.0	0.025	0.175	0.20
D	60	1 of 1	200	2.0	0.033	0.067	0.10
E	100	1 of 1	200	2.0	0.020	0.080	0.10
F	100	1 of 1	200	2.0	0.020	0.0425	0.0625

0,025 = tempo de setup / tamanho de lote = 1,0 / 40

0,05 = tempo de setup padrão por unidade + tempo de processamento padrão por unidade

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

Work Center	A	B
	Total Time/Unit	Total Time/Unit
100	0,05	1,30
200	0,70 [‡]	0,55 [§]
300	0,20	0,00
Total time/unit	0,95	1,85

0,70 = 0,60 + 0,10 para um C e um D

0,55 = 0,10 + 2(0,10) + 4(0,0625) para um D, dois E, quatro F

CP com Fatores Globais :
considera a Estrutura do Produto

Slide 2

Work Center	Period													Total Hours	Projected Work Center Percentage
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
100	23,75	23,75	23,75	18,90	18,90	18,90	34,00	34,00	34,00	36,95	36,95	36,95	36,95	377,75	40%
200	32,45	32,45	32,45	35,15	35,15	35,15	34,75	34,75	34,75	40,75	40,75	40,75	40,75	470,05	50%
300	6,60	6,60	6,60	8,00	8,00	8,00	6,00	6,00	6,00	7,40	7,40	7,40	7,40	91,40	10%
Total	62,80	62,80	62,80	62,05	62,05	62,05	74,75	74,75	74,75	85,10	85,10	85,10	85,10	939,20	100%

23,75 = (33 x 0,05) + (17 x 1,30)

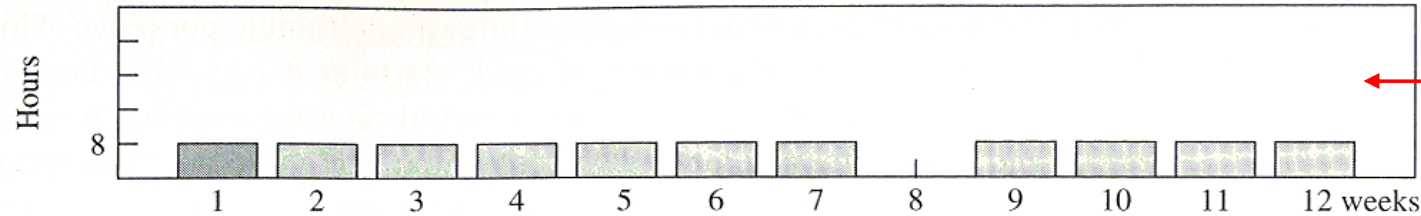
PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

	Period												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Product A MPS	33	33	33	40	40	40	30	30	30	37	37	37	37
Component C													
Lot size = 40													
Lead time = 2													
Gross requirements	33	33	33	40	40	40	30	30	30	37	37	37	37
Scheduled receipts		40											
Projected available balance	37	4	11	18	18	18	28	38	8	11	14	17	20
Planned order releases	40	40	40	40	40	40		40	40	40	40		
Work center 300 Capacity Requirements Using CRP													
	Period												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Hours of capacity*	8	8	8	8	8	8	8	0	8	8	8	8	
Total = 88													

8 horas de capacidade exigidas = tempo de setup (=1,0) + 40 unidades X tempo para fabricar uma unidade de C na máquina (centro de trabalho) 300, que é igual a 0,175

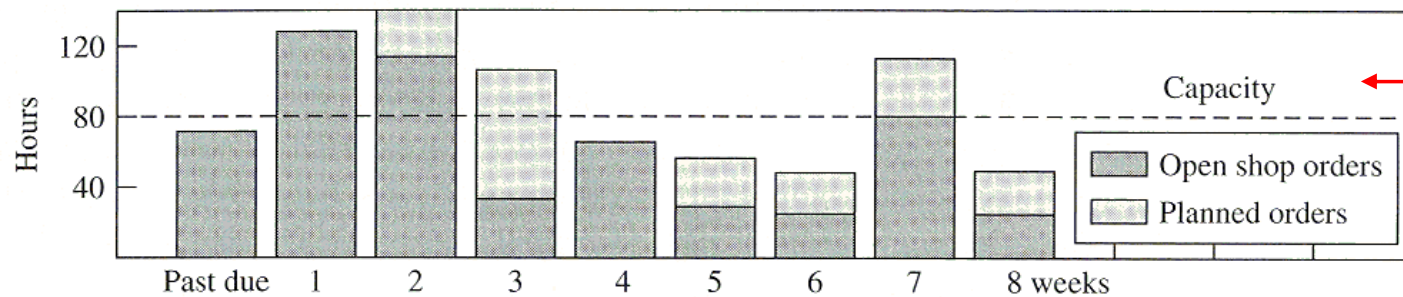
PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

Capacity requirements for work center 300—from product A



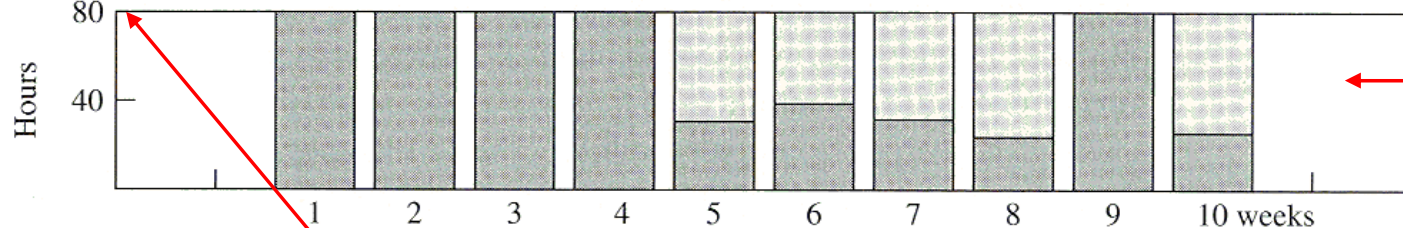
CRP para o centro de trabalho 300 (somente produto A)

CRP profile for work center 300—from all products



CRP para o centro de trabalho 300 (todos os produtos)

Finite load capacity profile for work center 300



FCS – Programação com Capacidade Finita - para o centro de trabalho 300

Limite de capacidade (independe do agendamento das ordens)

FCS → determina quais tarefas serão completadas, baseando-se em como as tarefas são agendadas

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

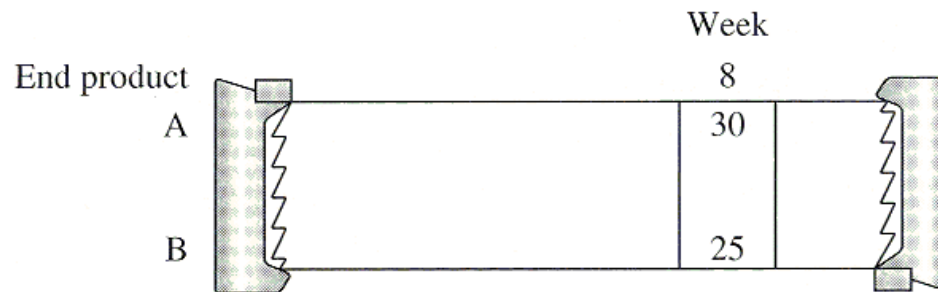
- FCS → o resultado é um conjunto de datas de início e fim para cada operação em cada centro de trabalho.
- Ele é utilizado em curto prazo (previsões são menos confiáveis a longo prazo).

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

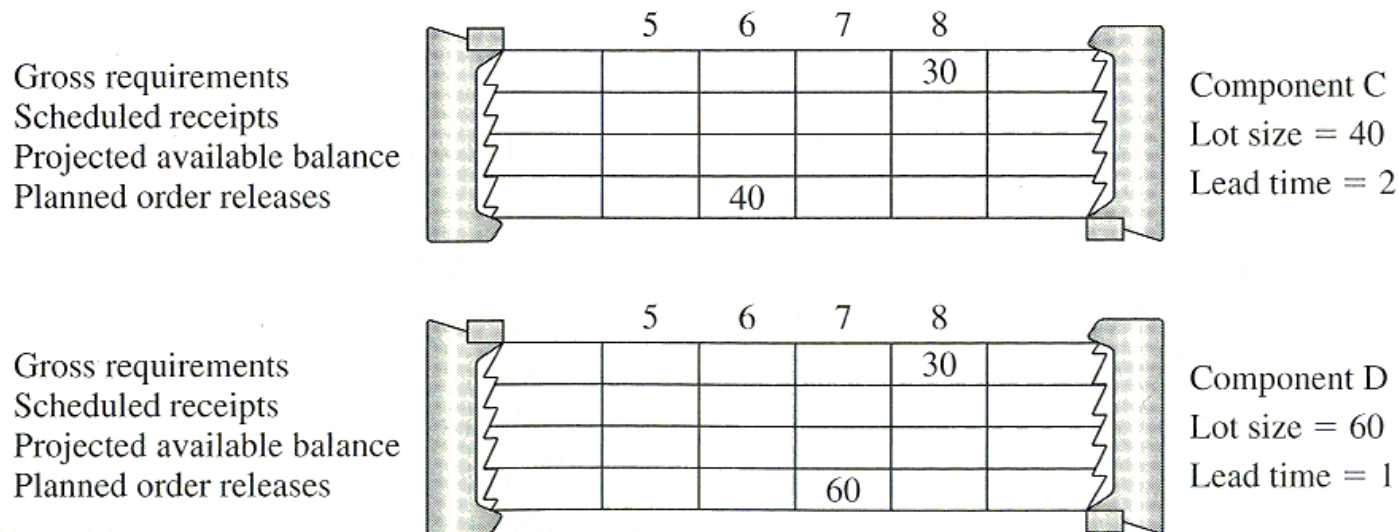
- Exemplo de simulação (minuto-a-minuto):
 - Centro de trabalho 300
 - 2ª-feira de manhã, na 1ª semana
 - Uma tarefa já está sendo processada, e 150 peças permanecem com um tempo padrão de um minuto por peça.
 - Esta ordem consome os primeiros 150 minutos de capacidade: começa às 8:00h, a máquina fica ocupada até 10:30h.
 - O software selecionaria a próxima tarefa para este centro de trabalho, levando em conta os tempos de setup e processamento.
 - O processo é repetido ao longo de todo o dia, e depois no dia seguinte, etc.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

Master production schedule



MRP records for components C and D



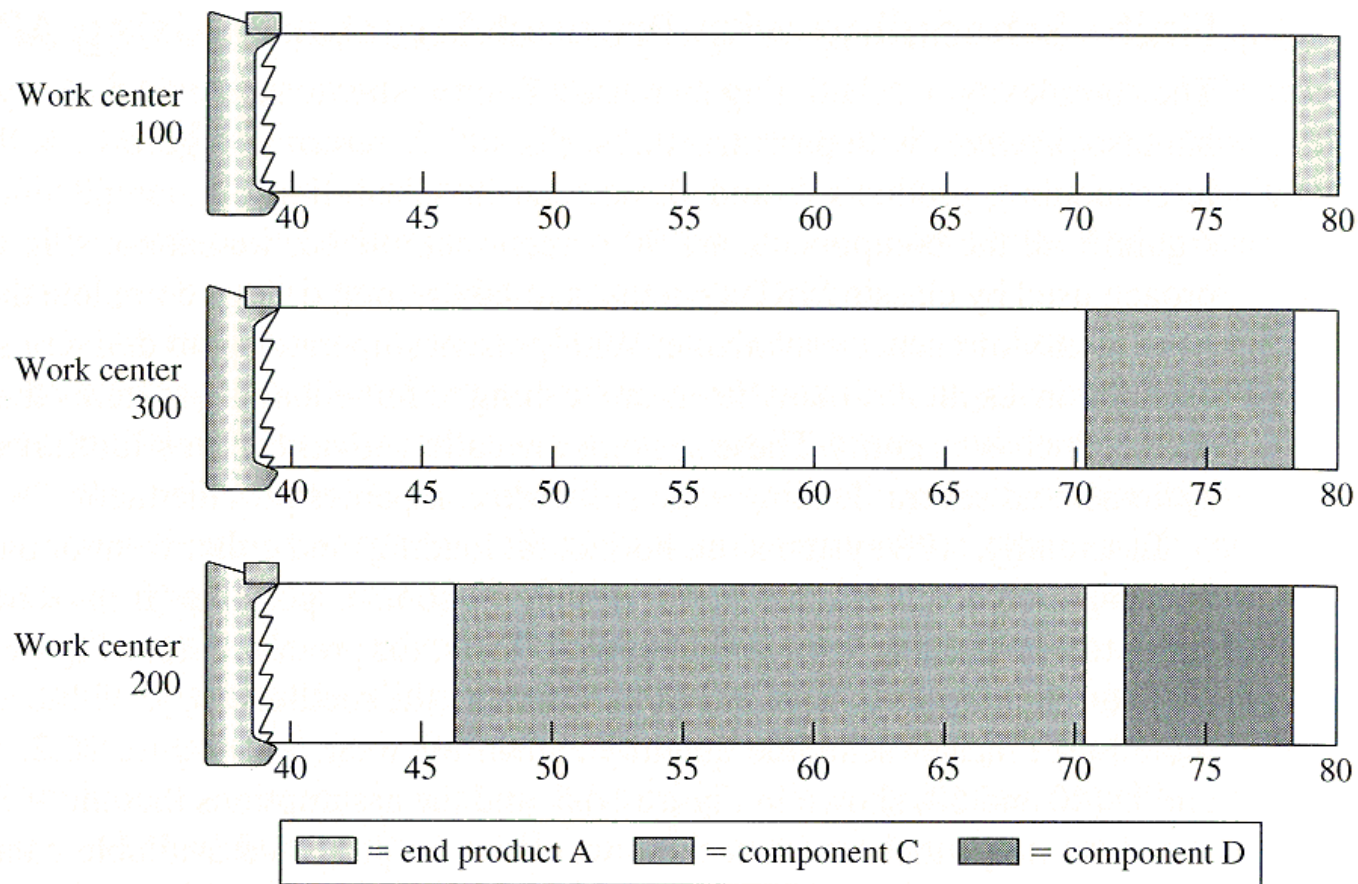
Dados para a abordagem APS (Advanced Production Scheduling) para o produto final A



Programação da produção de todo o produto como uma só entidade

Slide 1

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)



**Agenda
Regressiva
para os
centros de
trabalho 100,
200 e 300**

Slide 2

Centro de Trabalho 100: requisito de capacidade = $1,5 h = 0,05h/unid \times 30$

Peça C requer 24 horas de capacidade no centro de trabalho 200 ($0,6 h/unid \times 40$)

8 horas de capacidade no centro de trabalho 300 ($0,2 h/unid \times 40$)

Peça D requer 6 horas de capacidade no centro de trabalho 200 ($0,1 h/unid \times 60$)

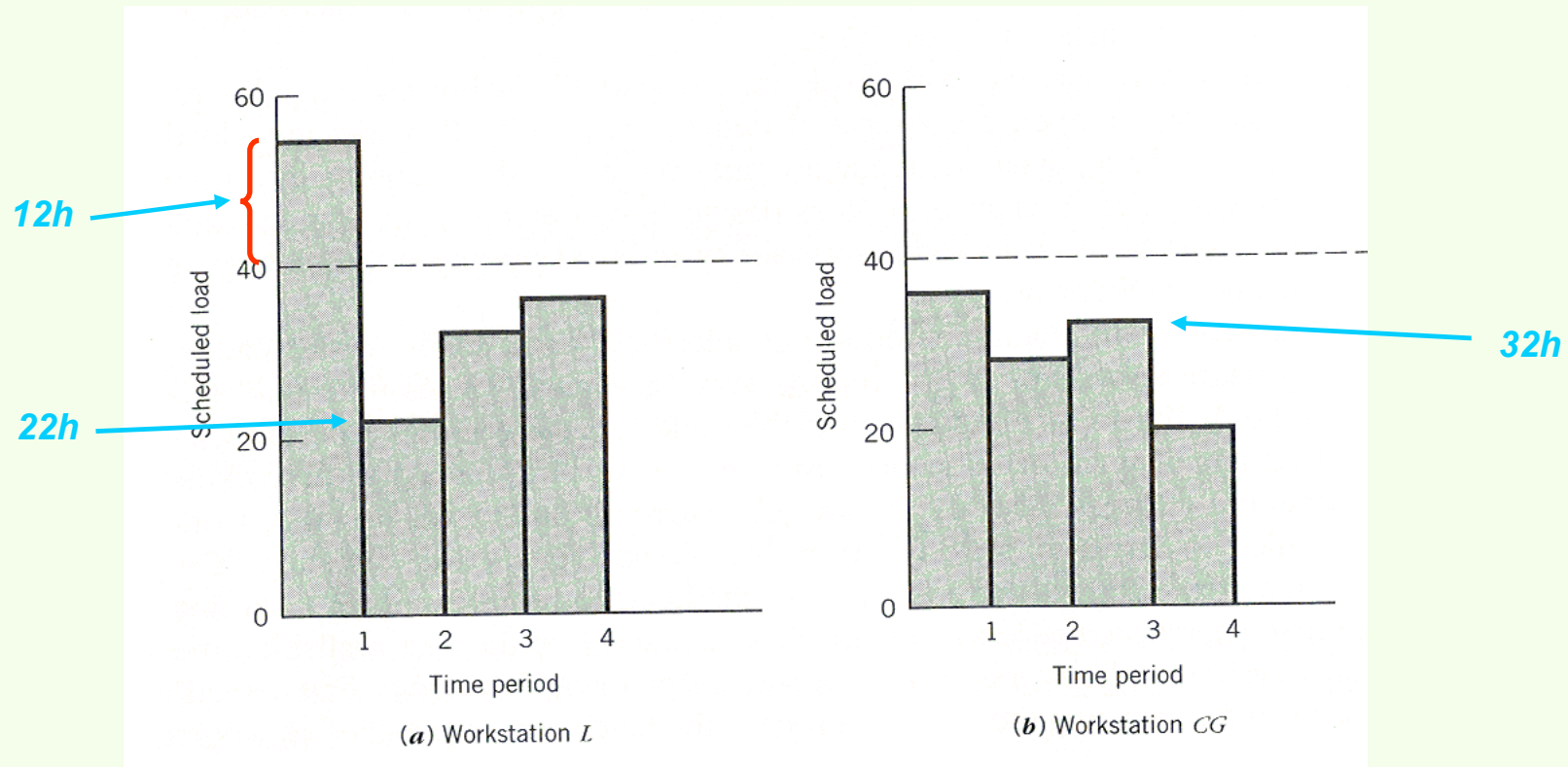
PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Vantagem de APS:
 - Todo o MPS completado em menos de 0,5 semana ($33,5h / 80 = 0,41$ semana)
 - Tempo esperado das abordagens padrão de MRP = 3 semanas (86% de redução de lead time) → WIP ↓; tempo de resposta às condições do mercado ↓

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Aparente problema de APS:
 - A programação acima pode deixar pessoas nervosas!
 - Possível solução → superestimar os tempos usados para a programação APS → O problema é resolvido?
 - Tendência consistente que degrada o processo de programação.
 - Uma abordagem melhor:
 - focar na melhoria das estimativas de tempo
 - Execução com um mínimo de falhas
 - Recuperação imediata de falhas
 - Reprogramação freqüente → erros são refletidos e compensados nos programas (seqüências) atualizados

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)



Job shop: FIFO

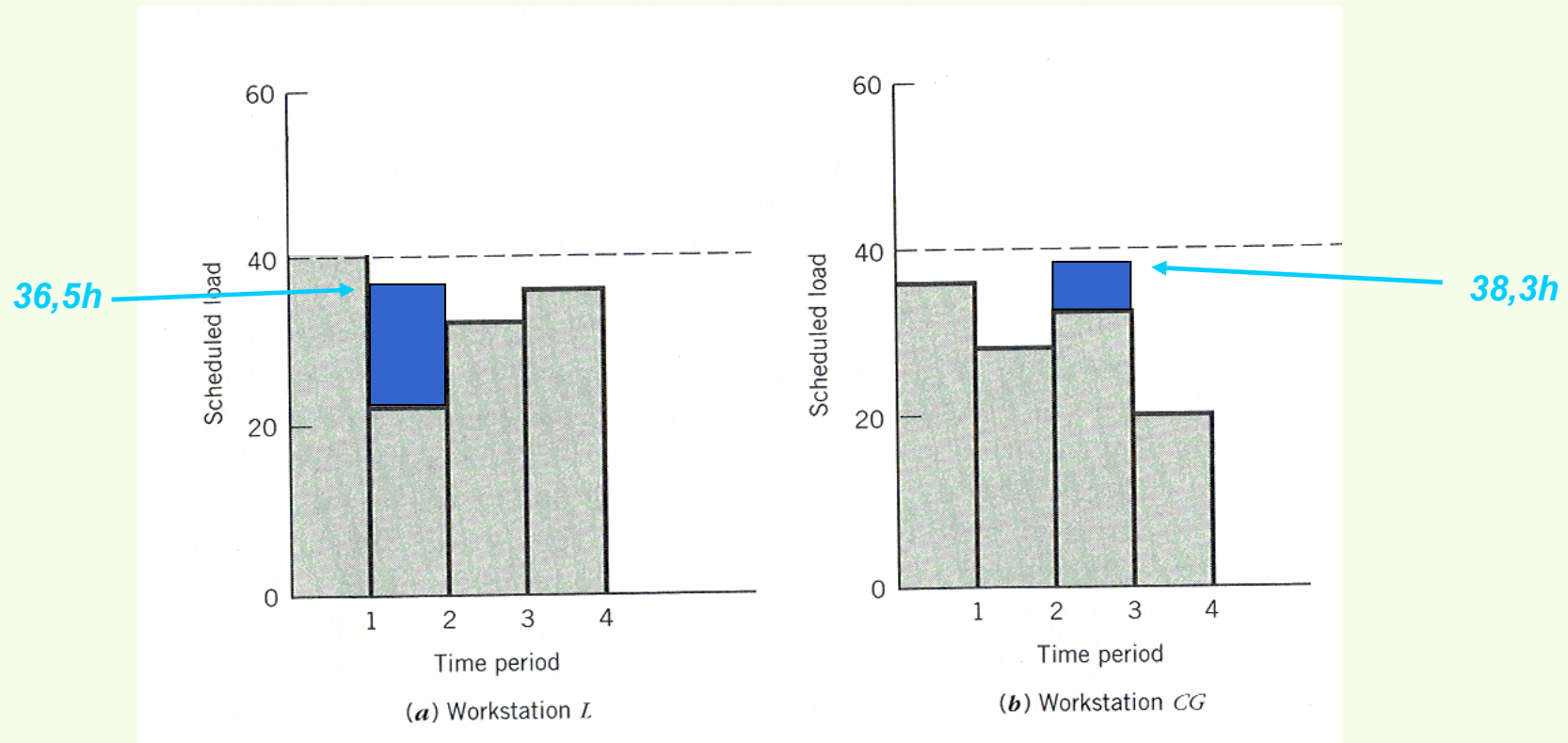
Problema: Liberar a ordem que requer 2,5 h na estação L, seguida de 6,3 h na estação CG.

Todas as estações devem ser programadas para um máximo de 40h/semana

Data de entrega da ordem = 3 semanas

Pergunta: quando eu devo liberar a ordem?

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)



Job shop: FIFO

Problema: Liberar a ordem que requer 2,5 h na estação L, seguida de 6,3 h na estação CG.

Todas as estações devem ser programadas para um máximo de 40h/semana

Data de entrega da ordem = 3 semanas

Pergunta: quando eu devo liberar a ordem?

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- **Determinação do “makespan”**
 - Tempos de Manufatura de um Grupo de Peças num Sistema de Manufatura "Flow Shop"
 - <http://www.grima.ufsc.br:8080/programasgrima/makespan/>

Cálculo dos Tempos de Manufatura de um Grupo de Peças num Sistema de Manufatura "Flow Shop" - Página 1

Número de Peças:

Número de Estações:

(assumir que as peças chegam na 1ª estação imediatamente após o término do processamento da peça anterior)

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- **“Makespan” – página de entrada de dados**

Cálculo dos Tempos de Manufatura de um Grupo de Peças num Sistema de Manufatura "Flow Shop" - Página 2

Entre com os tempos de processamento (use ponto para decimal em vez de vírgula):

Peças/Estçs	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 1:	5	8	2	7
Peça 2:	4	5	7	2
Peça 3:	6	4	9	8
Peça 4:	3	1	7	6
Peça 5:	5	4	3	7

Escolha dentre as opções abaixo sobre a seqüência das peças:

- Calcular o makespan para a seqüência 1 => 2 => 3 => 4 => 5
- Calcular o makespan para a seqüência que reduz o makespan ao mínimo (busca completa, que pode ser demorada)
- Calcular o makespan para uma outra seqüência a ser introduzida

Submeter

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para seq. 1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 3 \Rightarrow 4 \Rightarrow 5

<i>Tempos de Estação Parada</i>				
Peças/Estçs	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 1:	0.00	0.00	0.00	0.00
Peça 2:	0.00	0.00	3.00	3.00
Peça 3:	0.00	0.00	0.00	7.00
Peça 4:	0.00	0.00	0.00	0.00
Peça 5:	0.00	0.00	0.00	0.00

<i>Tempos de Espera</i>				
Peças/Estçs	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 1:	0.00	0.00	0.00	0.00
Peça 2:	0.00	4.00	0.00	0.00
Peça 3:	0.00	3.00	3.00	0.00
Peça 4:	0.00	4.00	11.00	1.00
Peça 5:	0.00	0.00	14.00	4.00

Tempo total de manufatura ("makespan") = 55.0

Makespan mínimo possível (considerando que não ocorre nenhum atraso) = 41.0

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para seq. 1 ⇒ 2 ⇒ 3 ⇒ 4 ⇒ 5

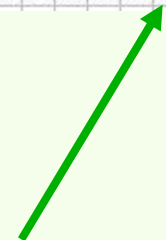
ção



Planejamento de Recursos e Program.
Prof. João C. E. Ferreira - UFSC

Peças/Estçs	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 1:	5	8	2	7
Peça 2:	4	5	7	2
Peça 3:	6	4	9	8
Peça 4:	3	1	7	6
Peça 5:	5	4	3	7

Makespan



• “Makespan” – Resposta para seq. 1 ⇒ 2 ⇒ 3 ⇒ 4 ⇒ 5

Cálculo do “lower bound”:

$$\text{Máquina 1: } LB_1 = (5+4+6+3+5) + \min \{8+2+7; 5+7+2; 4+9+8; 1+7+6; 4+3+7\} = 23 + \min \{17; 14; 21; 14; 14\} = 37$$

$$\text{Máquina 2: } LB_2 = \min \{5; 4; 6; 3; 5\} + (8+5+4+1+4) + \min \{2+7; 7+2; 9+8; 7+6; 3+7\} = 3 + 22 + \min \{9; 9; 17; 13; 10\} = 34$$

$$\text{Máquina 3: } LB_3 = \min \{5+8; 4+5; 6+4; 3+1; 5+4\} + (2+7+9+7+3) + \min \{7; 2; 8; 6; 7\} = \min \{13; 9; 10; 4; 9\} + 28 + 2 = 34$$

$$\text{Máquina 4: } LB_4 = \min \{5+8+2; 4+5+7; 6+4+9; 3+1+7; 5+4+3\} + (7+2+8+6+7) = \min \{15; 16; 19; 11; 12\} + 30 = 41$$

Peças/Estqs	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 1:	5	8	2	7
Peça 2:	4	5	7	2
Peça 3:	6	4	9	8
Peça 4:	3	1	7	6
Peça 5:	5	4	3	7

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para melhor seqüência

<i>Tempos de Estação Parada</i>				
Peças/Estçs	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 4:	0.00	0.00	0.00	0.00
Peça 1:	0.00	4.00	5.00	1.00
Peça 5:	0.00	0.00	2.00	0.00
Peça 3:	0.00	0.00	1.00	1.00
Peça 2:	0.00	0.00	0.00	0.00

<i>Tempos de Espera</i>				
Peças/Estçs	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 4:	0.00	0.00	0.00	0.00
Peça 1:	0.00	0.00	0.00	0.00
Peça 5:	0.00	3.00	0.00	2.00
Peça 3:	0.00	1.00	0.00	0.00
Peça 2:	0.00	1.00	4.00	1.00

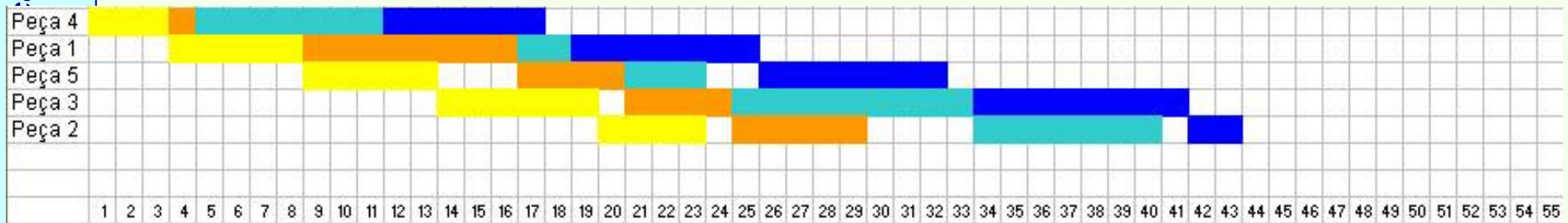
Tempo total de manufatura ("makespan") = 43.0

Makespan mínimo possível (considerando que não ocorre nenhum atraso) = 41.0

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para melhor seqüência

ção



Planejamento de Recursos e Programação
Prof. João C. E. Ferreira - UFSC

Peças/Estços	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 1:	5	8	2	7
Peça 2:	4	5	7	2
Peça 3:	6	4	9	8
Peça 4:	3	1	7	6
Peça 5:	5	4	3	7

Makespan

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para outra seqüência escolhida

Entre com a seqüência das peças:

1ª Peça:

2ª Peça:

3ª Peça:

4ª Peça:

5ª Peça:

Submeter

Tempos de Estação Parada

Peças/Estçs	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 3:	0.00	0.00	0.00	0.00
Peça 4:	0.00	0.00	0.00	0.00
Peça 1:	0.00	3.00	0.00	0.00
Peça 5:	0.00	0.00	0.00	0.00
Peça 2:	0.00	0.00	0.00	0.00

Tempos de Espera

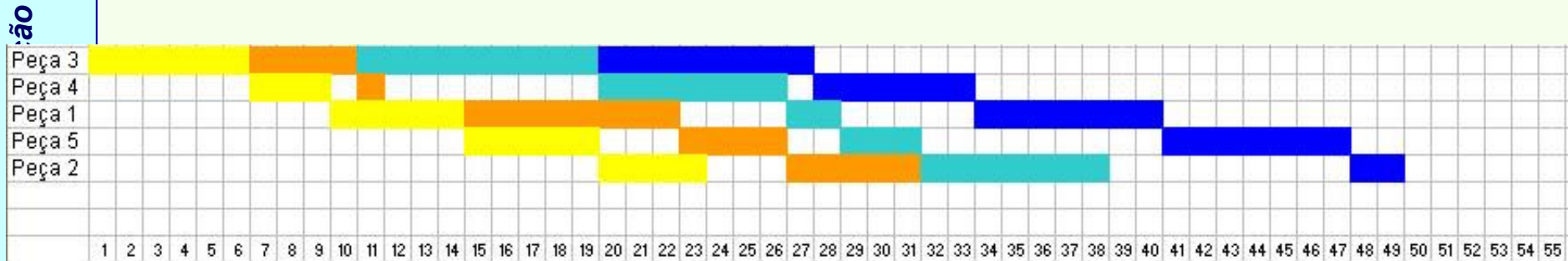
Peças/Estçs	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 3:	0.00	0.00	0.00	0.00
Peça 4:	0.00	1.00	8.00	1.00
Peça 1:	0.00	0.00	4.00	5.00
Peça 5:	0.00	3.00	2.00	9.00
Peça 2:	0.00	3.00	0.00	9.00

Tempo total de manufatura ("makespan") = 49.0

Makespan mínimo possível (considerando que não ocorre nenhum atraso) = 41.0

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para outra seqüência escolhida



Peças/Estçs	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4
Peça 1:	5	8	2	7
Peça 2:	4	5	7	2
Peça 3:	6	4	9	8
Peça 4:	3	1	7	6
Peça 5:	5	4	3	7

Makespan

- Algoritmo de Johnson aplicado à tabela abaixo:

Família	Fabricação das Peças	Montagem
1	6	4
2	10	8
3	4	9
4	7	2
5	6	3
6	5	6

Makespan mínimo (*lower bound*) = 40

Sequência 1,2,3,4,5,6: makespan = 44

- **Algoritmo de Johnson:**

Passo 0: Todas as peças estão disponíveis: $A = \{1,2,3,4,5,6\}$

Passo 1: Selecionar peça. Tempo mínimo de processamento: $p_{42} = 2$
 \Rightarrow selecionar peça 4.

Passo 2: Alocar peça. Como o tempo selecionado corresponde à segunda operação (montagem), a peça selecionada é colocada por último. A sequência ótima fica: $S = \{ , , , , 4\}$. As peças disponíveis ficam: $A = \{1,2,3,5,6\}$.

Passo 1: Selecionar peça. O tempo mais curto desta vez é $p_{52} = 3$.

Passo 2: Alocar peça. Como o tempo selecionado corresponde à segunda operação (montagem), a peça selecionada é colocada na antepenúltima posição. A sequência ótima fica: $S = \{ , , , 5,4\}$. As peças disponíveis ficam: $A = \{1,2,3,6\}$.

...

Sequência final: $S = \{3,6,2,1,5,4\}$

Makespan = 40

- Algoritmo de Johnson aplicado à tabela abaixo (4 estações):

	<i>Tempos de Processamento</i>			
<i>Peça</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	2	3	1	5
2	4	2	6	9
3	1	4	8	5
4	6	3	5	2
5	4	2	3	7

- Algoritmo de Johnson aplicado à tabela abaixo (4 estações):

	<i>Combinações de Máquinas</i>					
<i>Peças</i>	1	4	1,2	3,4	1,2,3	2,3,4
1	2	5	5	6	6	9
2	4	9	6	15	12	17
3	1	5	5	13	13	17
4	6	2	9	7	14	10
5	4	7	6	10	9	12

$$S_1 = \{3, 1, 5, 2, 4\}$$

Makespan = 41

$$S_2 = \{1, 3, 5, 2, 4\}$$

Makespan = 40

$$S_3 = \{1, 5, 2, 3, 4\}$$

Makespan = 34

Makespan mínimo (*lower bound*) = 34

- **EXERCÍCIO:** Pretende-se fabricar um produto composto por quatro peças, e cada uma destas peças será fabricada num chão de fábrica composto por quatro máquinas. A tabela abaixo contém os dados referentes ao tempo de processamento de cada peça em cada máquina.

<i>Seqüência de fabricação</i>		→			
↓		<i>Máquina A</i>	<i>Máquina B</i>	<i>Máquina C</i>	<i>Máquina D</i>
	<i>Peça 1</i>	5	3	4	7
	<i>Peça 2</i>	3	4	2	4
	<i>Peça 3</i>	6	3	4	5
	<i>Peça 4</i>	5	7	3	2

Tempo de processamento em minutos; Tempo de montagem do produto = 4,0 minutos
Considerar Tempo de movimentação = Tempo de preparação = 0,0 minutos

- Com base nestes dados, após quanto tempo ter-se-á o produto montado?
- Qual o tempo total de espera de cada peça?
- Qual o tempo total de parada (“não utilização”) de cada máquina?
- Se for possível fabricar as peças na seqüência $4 \Rightarrow 3 \Rightarrow 2 \Rightarrow 1$, o tempo para a obtenção do produto montado será mais curto ou mais longo que a seqüência anterior?

Cálculo do “lower bound”:

$$\text{Máquina A: } LB_A = (5+3+6+5) + \min \{3+4+7; 4+2+4; 3+4+5; 7+3+2\} = 19 + \min \{14; 10; 12; 12\} = 29$$

$$\text{Máquina B: } LB_B = \min \{5; 3; 6; 5\} + (3+4+3+7) + \min \{4+7; 2+4; 4+5; 3+2\} = 3 + 17 + \min \{11; 6; 9; 5\} = 25$$

$$\text{Máquina C: } LB_C = \min \{5+3; 3+4; 6+3; 5+7\} + (4+2+4+3) + \min \{7; 4; 5; 2\} = \min \{8; 7; 9; 12\} + 13 + 2 = 22$$

$$\text{Máquina D: } LB_D = \min \{5+3+4; 3+4+2; 6+3+4; 5+7+3\} + (7+4+5+2) = \min \{12; 9; 13; 15\} + 18 = 27$$

	<i>Máquina A</i>	<i>Máquina B</i>	<i>Máquina C</i>	<i>Máquina D</i>
<i>Peça 1</i>	5	3	4	7
<i>Peça 2</i>	3	4	2	4
<i>Peça 3</i>	6	3	4	5
<i>Peça 4</i>	5	7	3	2

- **Sequenciamento para Máquina Única incluindo Data de Entrega:**

Peça	Tempo de Processamento (dias)	Data de Entrega (dia)
1	2.4	11
2	5.0	8
3	4.2	5
4	1.5	12
5	0.9	13

O programador reconhece que pelo menos uma das tarefas não poderá ser entregue dentro do prazo. Há alguma sequência na qual nenhuma tarefa será entregue com atraso maior do que 2 dias?

- **Sequenciamento para Máquina Única incluindo Data de Entrega:**

Passo 0: Inicializar. Tempo total de processamento: $\tau = 2.4 + 5.0 + 4.2 + 1.5 + 0.9 = 14.0$. As datas de entrega são ajustadas para (13., 10., 7., 14., 15.) respectivamente, adicionando-se os dois dias extras.

Passo 1: Selecionar peça. As peças selecionáveis são aquelas com datas de entrega iguais a 14 ou mais. Isto inclui as peças 4 e 5. Como $p_4 > p_5$, $s_5 =$ peça 4.

Passo 2: Atualizar. $S = \{ , , , 4\}$, $A = \{1,2,3,5\}$, e $\tau = \tau - 1.5 = 12.5$.

Passo 1: Selecionar peça. Peças selecionáveis possuem datas de entrega iguais a 12.5 ou mais. Portanto, tem-se peças 1 e 5. Como $p_1 > p_5$, $s_4 = 1$.

Passo 2: Atualizar. $S = \{ , , , 1,4\}$, $A = \{2,3,5\}$, e $\tau = \tau - 2.4 = 10.1$.



- **Sequenciamento para Máquina Única incluindo Data de Entrega:**

Passo 1: Selecionar peça. Somente a peça 5 está selecionável.

Passo 2: Atualizar. $S = \{ , 5, 1, 4 \}$, $A = \{ 2, 3 \}$, e $\tau = \tau - 0.9 = 9.2$.

Passo 1: Selecionar peça. Somente a peça 2 está selecionável.

Passo 2: Atualizar. $S = \{ , 2, 5, 1, 4 \}$, $A = \{ 3 \}$, e $\tau = \tau - 5.0 = 4.2$.

Passo 1: Selecionar peça. Somente a peça 3 está selecionável.

Passo 2: Atualizar. $S = \{ 3, 2, 5, 1, 4 \}$.

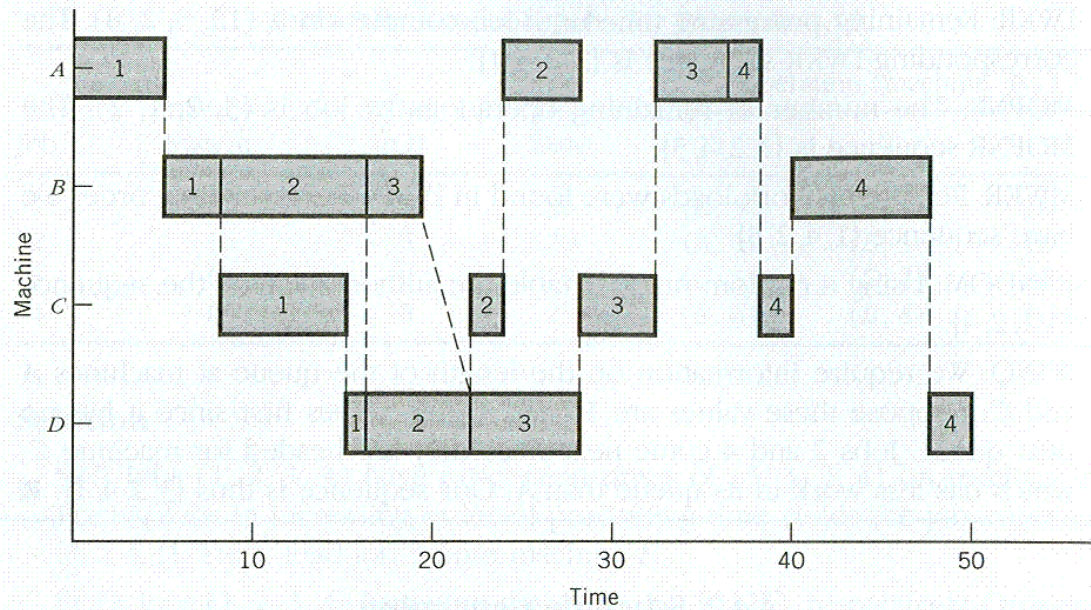
$$\bar{F}(\text{Tempo médio de fluxo}) = \frac{4.2 + 9.2 + 10.1 + 12.5 + 14.0}{5} = 10.0$$

- **Sequenciamento para Máquina Única incluindo Data de Entrega:**

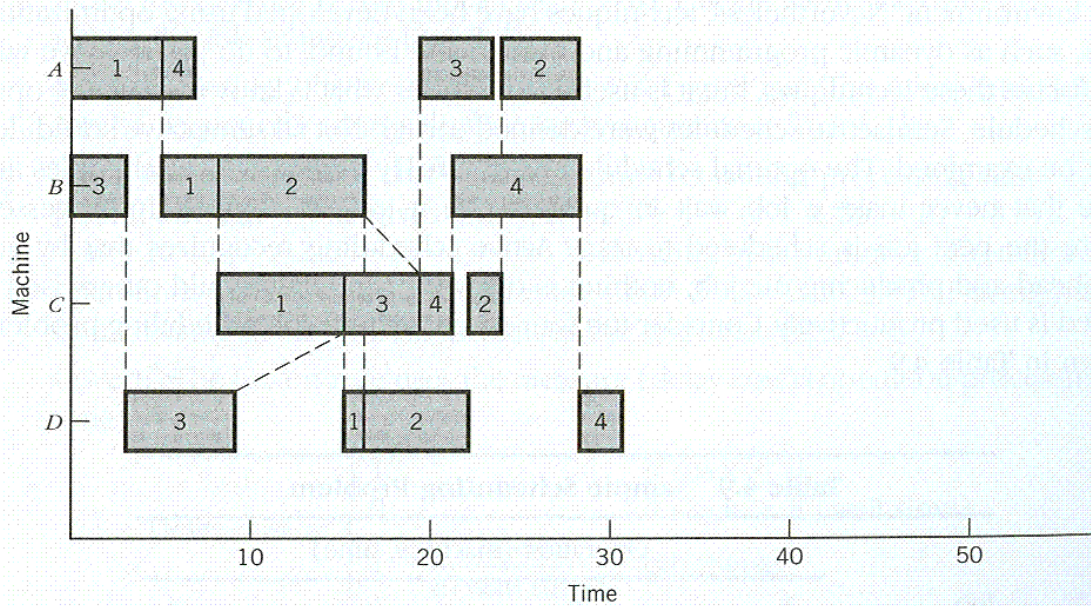
<i>Peça</i>	<i>Data de Entrega (dia)</i>	<i>Tempo Acumulado</i>	<i>Atraso</i>
3	5.0	4.2	
2	8.0	9.2	1.2
5	13.0	10.1	
1	11.0	12.5	1.5
4	12.0	14.0	2.0
	Total =	50.0	4.7

- **Sequenciamento para Máquina Única incluindo Data de Entrega: Solução EDD (Data de Entrega Mais Próxima)**

<i>Solução EDD</i>	<i>Data de Entrega (dia)</i>	<i>Tempo Acumulado</i>	<i>Atraso</i>
3	5.0	4.2	
2	8.0	9.2	1.2
1	11.0	11.6	0.6
4	12.0	13.1	1.1
5	13.0	14.0	1.0
	Total =	52.1	3.9



(a) Permutation schedule (1, 2, 3, 4)



	Operação (Máquina, Tempo)			
Ordem	1	2	3	4
1	(A, 5)	(B, 3)	(C, 7)	(D, 1)
2	(B, 8)	(D, 6)	(C, 2)	(A, 5)
3	(B, 3)	(D, 6)	(C, 4)	(A, 4)
4	(A, 2)	(C, 2)	(B, 7)	(D, 3)

HEURÍSTICA PARA GERAR SEQUÊNCIA JOB SHOP COM FLEXIBILIDADE LIMITADA

	<i>Operação (máquina, p_{ij})</i>			
<i>Pedido</i>	1	2	3	4
1	(A,5)	(B,3)	(C,7)	(D,1)
2	(B,8)	(D,6)	(C,2)	(A,5)
3	(B,3)	(D,6)	(C,4)	(A,4)
4	(A,2)	(C,2)	(B,7)	(D,3)

Gerar uma sequência para os dados acima de maneira a reduzir atrasos. Quando houver escolhas entre operações, o pedido 1 terá maior prioridade. Do contrário, escolher com base em SPT.

Passo 0: Inicializar. $t = 1$, $S_1 = 0$, e $A_1 = \{O_{11}, O_{21}, O_{31}, O_{41}\}$ (Obs: A_1 contém as primeiras operações de cada pedido).

Passo 1: Selecionar operação. O tempo de início para todas as primeiras operações é 0. Pedido 1 tem maior prioridade, portanto selecionar máquina da operação O_{11} , que implica $m^* = A$. Nesse caso, as operações O_{11} e O_{41} são selecionáveis. Escolhe-se O_{11} devido à prioridade do pedido.

Passo 2: Incrementar. $t = 2$, $S_2 = \{O_{11}\}$, e $A_2 = \{O_{12}, O_{21}, O_{31}, O_{41}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_2 são agora (5,0,0,5). Note que a operação O_{41} foi movida para trás, porque decidiu-se colocar a operação O_{11} na sua frente.

Passo 1: Selecionar operação: Deve-se selecionar entre operações O_{21} e O_{31} , pois elas têm o tempo mais reduzido de início. Escolhe-se a máquina da operação O_{21} , que resulta em $m^* = B$. Ambas as operações são selecionáveis, pois ambas requerem máquina B. Nenhuma destas operações é do pedido 1. Invocando o SPT para desempate, escolhe-se O_{31} e coloca-se este pedido na frente da máquina B.

Passo 2: Incrementar. $t = 3$, $S_3 = \{O_{31}\}$, e $A_3 = \{O_{12}, O_{21}, O_{32}, O_{41}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_3 são agora (5,3,3,5).



Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é O_{21} , pois ela tem o tempo mais reduzido de início. $m^* = B$.

Passo 2: Incrementar. $t = 4$, $S_4 = \{O_{21}\}$, e $A_4 = \{O_{12}, O_{22}, O_{32}, O_{41}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_4 são agora (11,11,3,5). O tempo do pedido 1 também tornou-se igual a 11 porque a próxima operação deste pedido requer a máquina B.

Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é O_{32} , pois ela tem o tempo mais reduzido de início. $m^* = D$.

Passo 2: Incrementar. $t = 5$, $S_5 = \{O_{32}\}$, e $A_5 = \{O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{41}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_5 são agora (11,11,9,5).

Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é O_{41} , pois ela tem o tempo mais reduzido de início. $m^* = A$.

Passo 2: Incrementar. $t = 6$, $S_6 = \{O_{41}\}$, e $A_6 = \{O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{42}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_6 são agora (11,11,9,7).



Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é O_{42} , pois ela tem o tempo mais reduzido de início. $m^* = C$.

Passo 2: Incrementar. $t = 7$, $S_7 = \{O_{42}\}$, e $A_7 = \{O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{43}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_7 são agora (11,11,9,11). O tempo de início para o início da quarta operação foi igual a 11 porque a operação seguinte vai requerer a máquina B.

Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é O_{33} , pois ela tem o tempo mais reduzido de início. $m^* = C$.

Passo 2: Incrementar. $t = 8$, $S_8 = \{O_{33}\}$, e $A_8 = \{O_{12}, O_{22}, O_{34}, O_{43}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_8 são agora (11,11,13,11).

Passo 1: Selecionar operação: três operações são selecionáveis, pois todas têm o mesmo tempo de início. Escolhe-se O_{12} pois ela corresponde ao pedido 1. $m^* = B$.

Passo 2: Incrementar. $t = 9$, $S_9 = \{O_{12}\}$, e $A_9 = \{O_{13}, O_{22}, O_{34}, O_{43}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_9 são agora (14,11,13,14).



Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é O_{22} , pois ela tem o tempo mais reduzido de início. $m^* = D$.

Passo 2: Incrementar. $t = 10$, $S_{10} = \{O_{22}\}$, e $A_{10} = \{O_{13}, O_{23}, O_{34}, O_{43}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_{10} são agora (14,17,13,14).

Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é O_{34} , pois ela tem o tempo mais reduzido de início. $m^* = C$.

Passo 2: Incrementar. $t = 11$, $S_{11} = \{O_{34}\}$, e $A_{11} = \{O_{13}, O_{23}, -, O_{43}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_{11} são agora (14,17,-,14).

Passo 1: Selecionar operação: duas operações são selecionáveis: (O_{13} e O_{43}), pois elas têm o mesmo tempo de início. Escolhe-se O_{13} pois ela corresponde ao pedido 1. $m^* = C$.

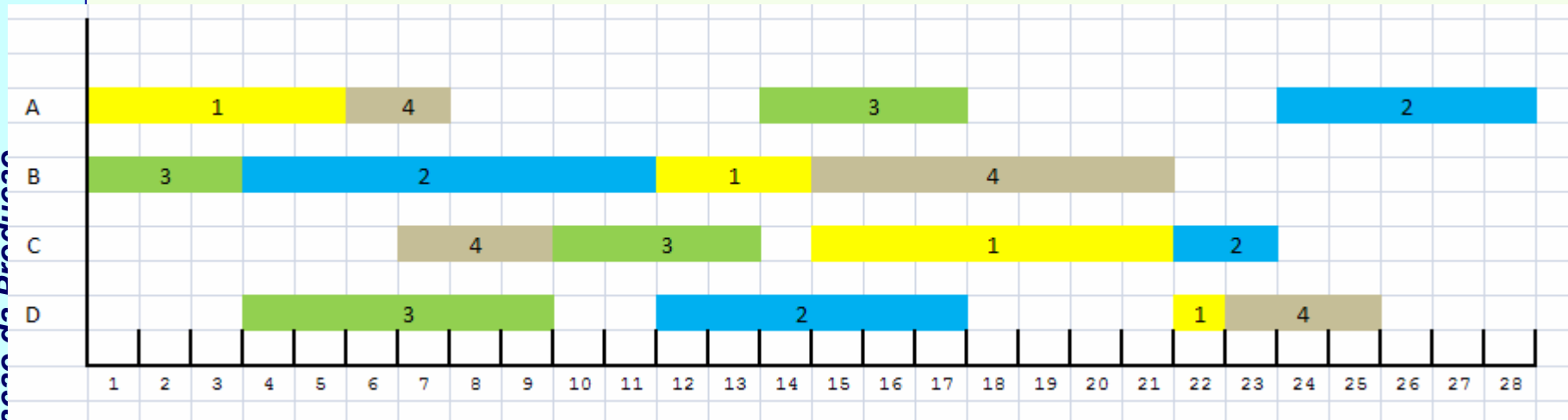
Passo 2: Incrementar. $t = 12$, $S_{12} = \{O_{13}\}$, e $A_{12} = \{O_{14}, O_{23}, -, O_{43}\}$. Os tempos de início das quatro operações em A_{12} são agora (21,21,-,14).

...

O processo continua até que todas as 16 operações sejam alocadas.

Makespan = 28.

<i>Passo t</i>	<i>Operações seleccionáveis A_t</i>	<i>Tempo mais inicial em que a operação k pode ser seleccionada e_k</i>	<i>Máquina m^*</i>	<i>Operação k</i>
1	$O_{11}, O_{21}, O_{31}, O_{41}$	0,0,0,0	A	O_{11}
2	$O_{12}, O_{21}, O_{31}, O_{41}$	5,0,0,5	B	O_{31}
3	$O_{12}, O_{21}, O_{32}, O_{41}$	5,3,3,5	B	O_{21}
4	$O_{12}, O_{22}, O_{32}, O_{41}$	11,11,3,5	D	O_{32}
5	$O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{41}$	11,11,9,5	A	O_{41}
6	$O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{42}$	11,11,9,7	C	O_{42}
7	$O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{43}$	11,11,9,11	C	O_{33}
8	$O_{12}, O_{22}, O_{34}, O_{43}$	11,11,13,11	B	O_{12}
9	$O_{13}, O_{22}, O_{34}, O_{43}$	14,11,13,14	D	O_{22}
10	$O_{13}, O_{23}, O_{34}, O_{43}$	14,17,13,14	C	O_{34}
11	$O_{13}, O_{23}, -, O_{43}$	14,17,-,14	C	O_{13}
12	$O_{14}, O_{23}, -, O_{43}$	21,21,-,14	B	O_{43}
13	$O_{14}, O_{23}, -, O_{44}$	21,21,-,21	D	O_{14}
14	$-, O_{23}, -, O_{44}$	-,21,-,22	C	O_{23}
15	$-, O_{24}, -, O_{44}$	-,23,-,22	D	O_{44}
16	$-, O_{24}, -, -$	-,23,-,-	A	O_{24}



Gantt chart referente à sequência gerada para o Job Shop acima (makespan = 28).

- **Regras de Prioridades**

- Figura abaixo \Rightarrow exemplo de dados usados para o cálculo das prioridades de agendamentos.
- Datas de entrega e datas de hoje \Rightarrow expressas como o número de dias desde o primeiro dia do ano (p.ex. data de entrega 7/2 seria mostrada como 38 (isto é, 31 + 7) para esses cálculos).

Nº da ordem	1A	2A	3A
Data de chegada	117	115	116
Data de entrega	125	120	130
Lead time restante (LTR)	8	5	10
Tempo de processamento restante (PTR)	6	4	5
Operações restantes (OR)	1	2	8
Tempo da próxima operação	6	3	1

Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117

Dados de ordens para o cálculo de prioridades

<i>Nº da ordem</i>	1A	2A	3A
Data de chegada	117	115	116
Data de entrega	125	120	130
Lead time restante (LTR)	8	5	10
Tempo de processamento restante (PTR)	6	4	5
Operações restantes (OR)	1	2	8
Tempo da próxima operação	6	3	1

Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117

- Data de entrega mais próxima:



Prioridade	Data de entrega mais próxima	Nº da ordem
1	120	2A
2	125	1A
3	130	3A

<i>Nº da ordem</i>	1A	2A	3A
Data de chegada	117	115	116
Data de entrega	125	120	130
Lead time restante (LTR)	8	5	10
Tempo de processamento restante (PTR)	6	4	5
Operações restantes (OR)	1	2	8
Tempo da próxima operação	6	3	1

Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117

- Próxima operação com tempo mais curto:



Prioridade	Tempo da próxima operação	Nº da ordem
1	1	3A
2	3	2A
3	6	1A

*Essa regra ignora as informações sobre a data de entrega e o tempo de processamento restante porque ela processa ordens baseadas na **velocidade de execução**. Essa regra maximiza o número de ordens de serviço processadas e minimiza o número de espera em fila*

Nº da ordem	1A	2A	3A
Data de chegada	117	115	116
Data de entrega	125	120	130
Lead time restante (LTR)	8	5	10
Tempo de processamento restante (PTR)	6	4	5
Operações restantes (OR)	1	2	8
Tempo da próxima operação	6	3	1

Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117

- Regra do quociente crítico:



$$CR = \frac{\text{data de entrega} - \text{data de hoje}}{\text{lead time restante}}$$

$$\text{Ordem 1A: } CR = \frac{125-117}{8} = 1$$

$$\text{Ordem 2A: } CR = \frac{120-117}{5} = 0,6$$

$$\text{Ordem 3A: } CR = \frac{130-117}{10} = 1,3$$

Prioridade	Quociente crítico	Nº da ordem
1	0,6	2A
2	1,0	1A
3	1,3	3A

Essa regra baseia-se no quociente do **tempo restante** sobre o **serviço restante**. Se o quociente for igual a 1, a tarefa está no tempo certo; se for maior que 1, a tarefa está adiantada; e se for menor que 1, a tarefa está atrasada. A agenda resultante assegura que as **ordens atrasadas são executadas primeiro**.

<i>Nº da ordem</i>	1A	2A	3A
Data de chegada	117	115	116
Data de entrega	125	120	130
Lead time restante (LTR)	8	5	10
Tempo de processamento restante (PTR)	6	4	5
Operações restantes (OR)	1	2	8
Tempo da próxima operação	6	3	1

Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117


- Regra baseada na folga (“slack”) da ordem:

folga = data de entrega - data de hoje - tempo de processamento restante

Ordem 1A: Folga = 125 - 117 - 6 = 2

Ordem 2A: Folga = 120 - 117 - 4 = -1

Ordem 3A: Folga = 130 - 117 - 5 = 8



Prioridade	Folga	Nº da ordem
1	-1	2A
2	2	1A
3	8	3A

Essa regra baseia-se no tempo de folga, que é a diferença entre o tempo restante para a produção (data de entrega - data de hoje) e a soma do tempo de setup e do tempo de processamento. A maior prioridade é atribuída à peça com o menor tempo de folga. Um valor positivo da folga indica uma peça adiantada; um valor negativo, uma peça atrasada; e um valor igual a zero, uma peça no tempo certo. A agenda resultante assegura que as ordens com menor folga serão executadas primeiro.

Nº da ordem	1A	2A	3A
Data de chegada	117	115	116
Data de entrega	125	120	130
Lead time restante (LTR)	8	5	10
Tempo de processamento restante (PTR)	6	4	5
Operações restantes (OR)	1	2	8
Tempo da próxima operação	6	3	1

Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117

- Regra baseada no quociente da folga da ordem sobre as operações restantes:



Prioridade	Folga/Operação	Nº da ordem
1	-0,5	2A
2	1,0	3A
3	2,0	1A

$$\text{folga/operação} = \frac{\text{tempo de folga}}{\text{operações restantes}}$$

Ordem 1A: $\text{Folga/OR} = 2/1 = 2,0$

Ordem 2A: $\text{Folga/OR} = -1/2 = -0,5$

Ordem 3A: $\text{Folga/OR} = 8/8 = 1$

Essa regra baseia-se no quociente do tempo de folga e o número total de operações restantes. Um valor positivo indica uma peça com folga nas operações, enquanto um valor negativo indica uma peça com operações insuficientes para satisfazer a agenda, e um valor igual a 1 indica que os tempos das operações estão dentro do previsto. A prioridade maior é atribuída à peça com o menor valor agregado. A agenda resultante assegura que as ordens com folga por operações insuficiente serão executadas primeiro.

Tempo atual é 10. Máquina B acabou de terminar um pedido, e é necessário selecionar um novo pedido (há 4 pedidos, conforme a tabela abaixo):

<i>Pedido</i>	<i>Chegada no Sistema</i>	<i>Chegada em B</i>	<i>Data de Entrega</i>	<i>Operação (máquina, p_{ij})</i>		
				<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1	10	10	30	(B,5)	(A,1)	(D,6)
2	0	5	20	(A,5)	(B,3)	(C,2)
3	0	9	10	(C,3)	(D,2)	(B,2)
4	0	8	25	(E,6)	(B,4)	(C,4)

- SPT: (5,3,2,4) foco na máquina B \Rightarrow {3,2,4,1}
- EDD: (30,20,10,25) \Rightarrow {3,2,4,1}
- FIFO: (10,5,9,8) \Rightarrow {2,4,3,1}
- Folga/OR: {3,2,1,4}
 - Folga 1: $30-10-(5+1+6)=8$ PTR OR=3
 - Folga 2: $20-10-(3+2)=5$ OR=2
 - Folga 3: $10-10-(2) = -2$ OR=1
 - Folga 4: $25-10-(4+4)=7$ OR=2
 - $(8/3=2.67; 5/2=2.5; -2/1=-2.0; 7/2=3.5)$

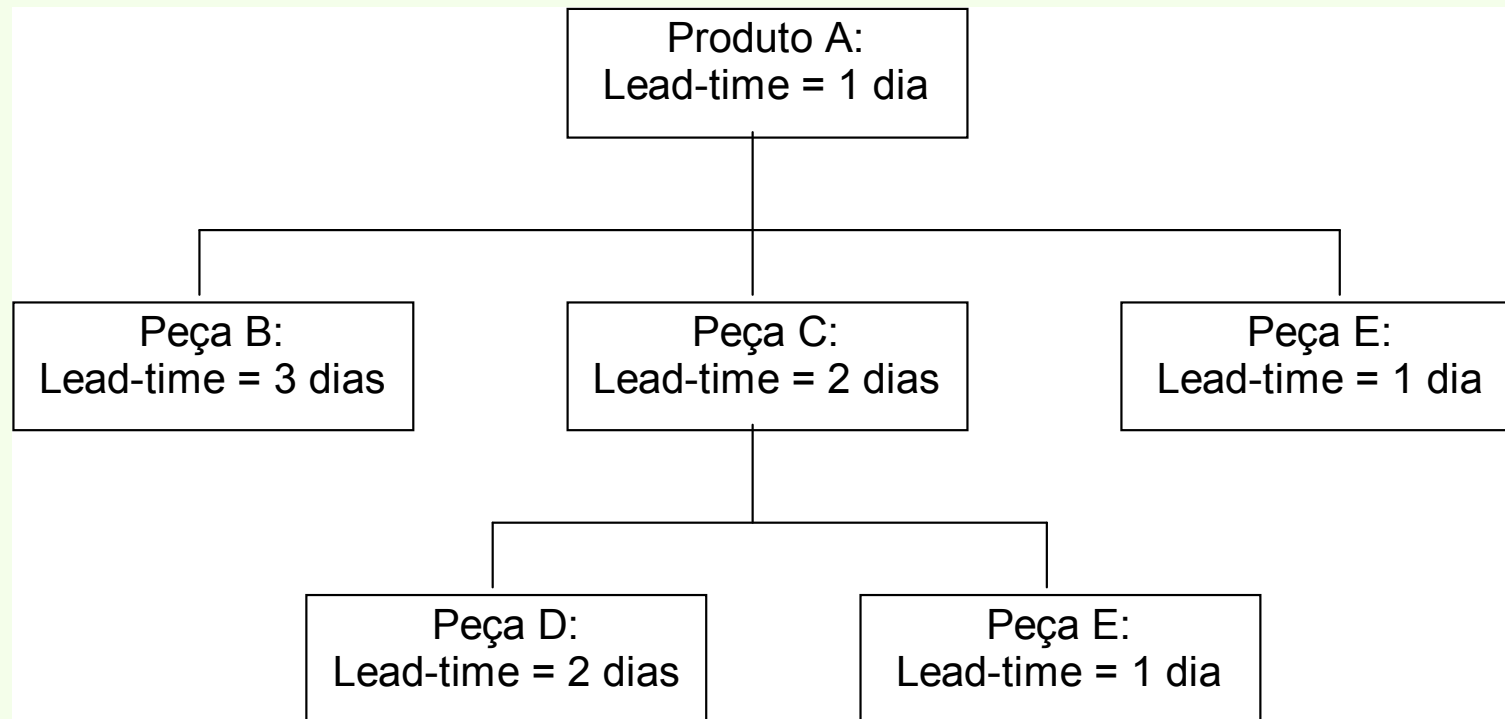


- LTWK (*Least Total Work* – Mínimo Trabalho Total): $(12, 10, 7, 14) \Rightarrow \{3, 2, 1, 4\}$
- LWKR (*Least Work Remaining* – Mínimo Trabalho Restante): $(12, 5, 2, 8) \Rightarrow \{3, 2, 4, 1\}$
- MWKR (*Most Work Remaining* – Máximo Trabalho Restante): $\{1, 4, 2, 3\}$ (inverso do LWKR)
- MOPNR (*Most Operations Remaining* – Mais Operações Restantes): $(3, 2, 1, 2) \Rightarrow \{1, 2, 4, 3\}$

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- **Diagrama da Estrutura do Produto**

- praticamente o mesmo que uma BOM; representa graficamente o produto final em termos de todos os componentes exigidos.



Exemplo de um diagrama da estrutura de um produto

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- **Roteamento de Peças e Lead times**
 - Essenciais para um sistema de controle da produção.
 - Folha de roteamento:
 - preparada manualmente pelo Dep. de Engenharia Industrial ou gerado por um software de PCP,
 - especifica cada operação de produção e a localização da estação de trabalho.

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

Roteamento para a peça D (horas)

Operação	Centro de Trabalho	Tempo de Processamento	Tempo de Setup	Tempo de Movimentação	Tempo de Espera	Tempo Total	Tempo Aproximado
1	201	1,6	0,5	0,4	2,6	5,1	5,0
2	208	1,5	0,3	0,2	2,8	4,8	5,0
3	204	0,1	0,1	0,3	0,6	1,1	1,0
4	209	1,2	0,8	0,3	2,3	4,6	5,0

Lead time total = 16 horas (2 dias)

Roteamento para a peça E (horas)

Operação	Centro de Trabalho	Tempo de Processamento	Tempo de Setup	Tempo de Movimentação	Tempo de Espera	Tempo Total	Tempo Aproximado
1	201	1,1	0,4	0,3	1,8	3,6	4,0
2	204	0,2	0,3	0,2	0,5	1,2	1,0
3	205	1,2	0,1	0,4	1,5	3,2	3,0

Lead time total = 8 horas (1 dia)

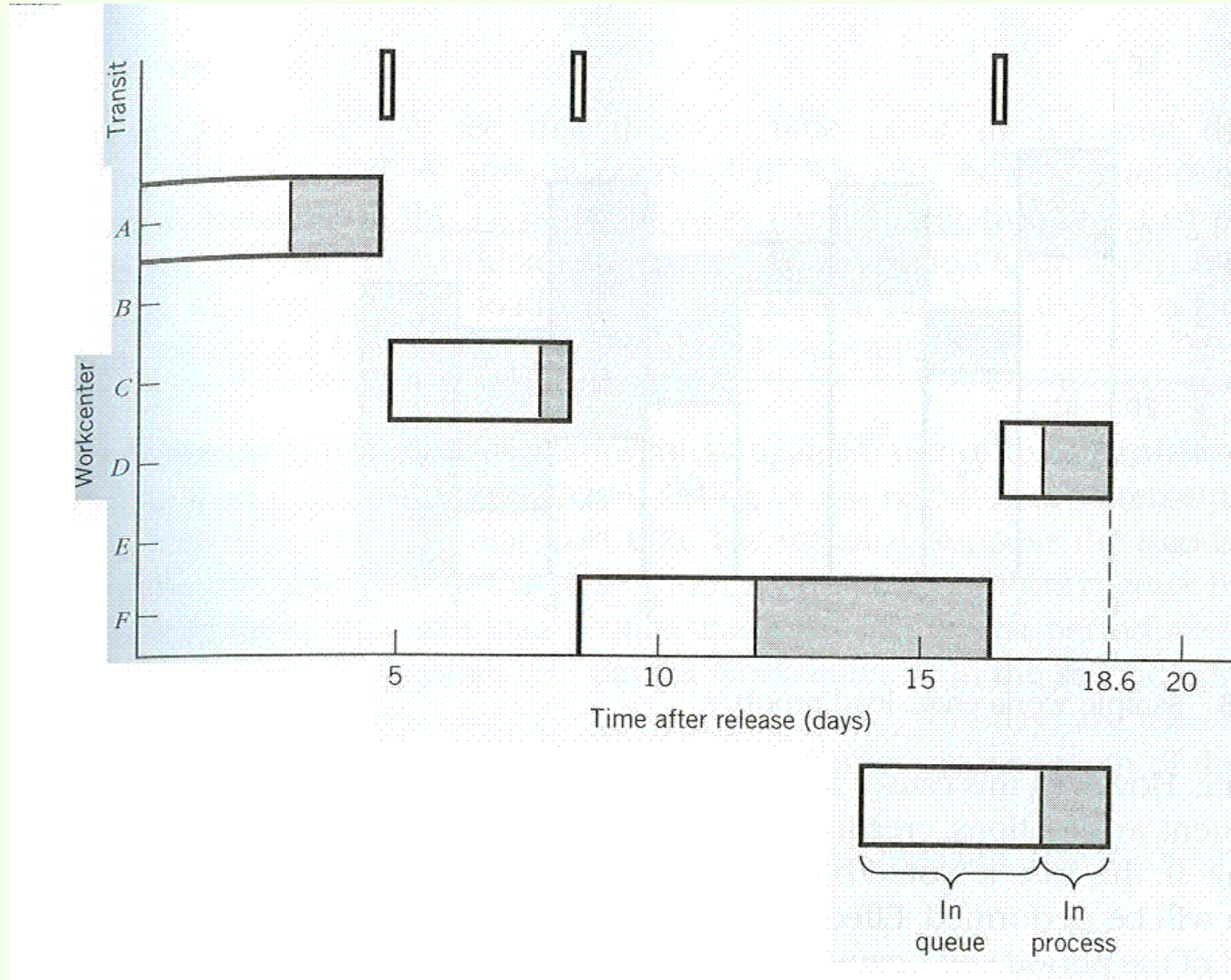
Roteamento de peças

MOVIMENTAÇÃO ⇒ FILA ⇒ SETUP ⇒ PROCESSAMENTO

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- Lead time inclui os seguintes elementos:
 - Tempo de movimentação: tempo necessário para mover um lote de peças ou matéria-prima do centro de trabalho anterior para o centro de trabalho atual.
 - Tempo de espera em fila: tempo de espera para processamento no centro de trabalho.
 - Tempo de setup: o tempo para preparar o centro de trabalho independentemente do tamanho de lote agendado.
 - Tempo de processamento: o produto do tamanho de lote pela operação ou tempo de processamento da máquina por peça.

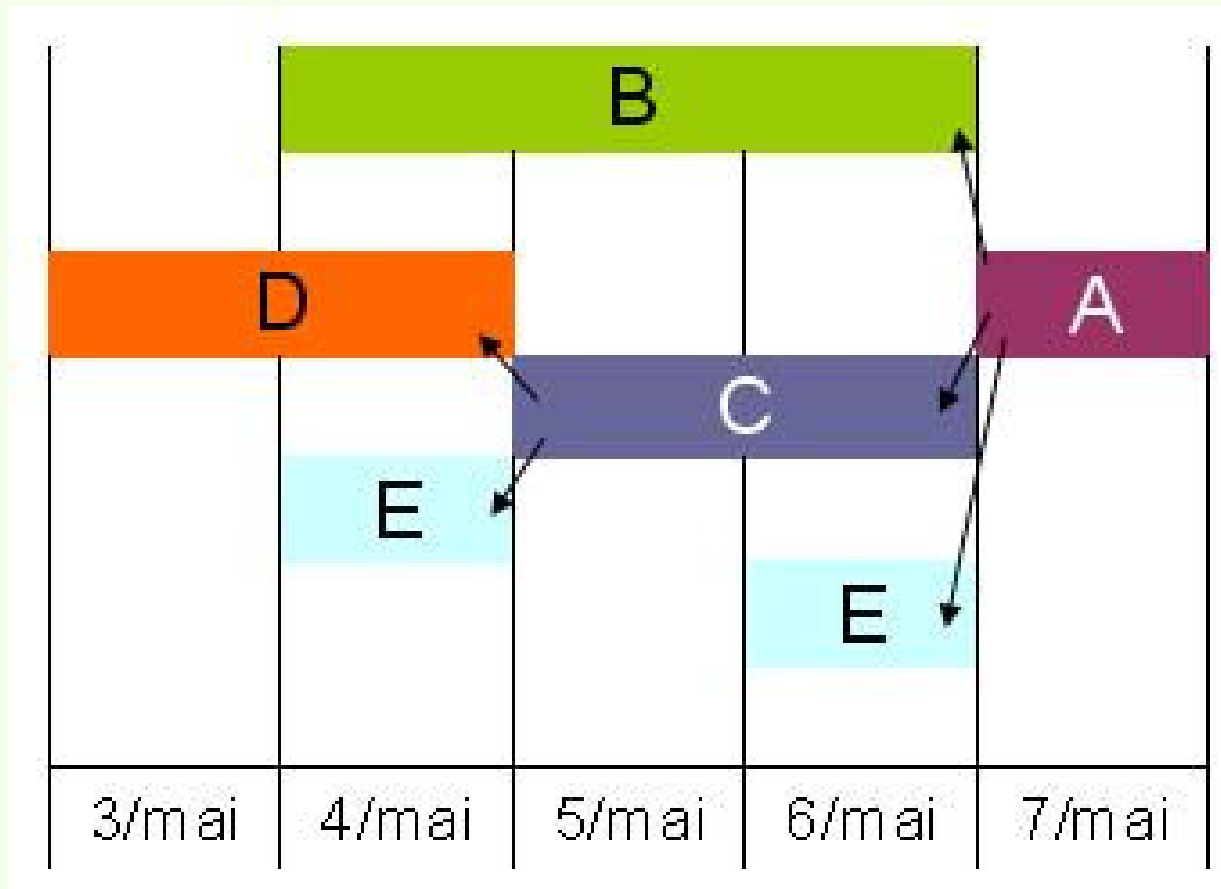
PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)



INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- **Tempos de setup, movimentação e espera em fila** \Rightarrow adicionam custo ao produto, mas não valor \Rightarrow redução ou eliminação destes tempos deve ser uma parte do processo de melhoria contínua na fábrica.
 - Tempo de espera \Rightarrow contribui significativamente para o lead time, e oferece uma grande oportunidade para melhoria do lead time.
 - Tamanhos de lote \downarrow não são econômicos quando os tempos de setup e movimentação são \uparrow comparados com o tempo de processamento \Rightarrow eles aumentam o custo de cada peça.

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO



*Roteamento
de peças -
gráfico
regressivo*

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- 2 situações que dificultam o controle do chão de fábrica são visíveis nesse exemplo:
 - centros de trabalho comuns;
 - sobreposição das agendas de produção.
- Ambas as peças usam o centro de trabalho **201** como a primeira operação e o centro de trabalho **204** para uma operação posterior.
- Além disso:
 - a produção das peças **D** e **E** sobrepõem-se no dia **4/5**;
 - a peça **E** é agendada para produção em 2 dias diferentes.

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- Usando o gráfico regressivo e dados da folha de roteamento para cada peça \Rightarrow elaborou-se o gráfico de Gantt na figura abaixo (para o centro de trabalho 201)

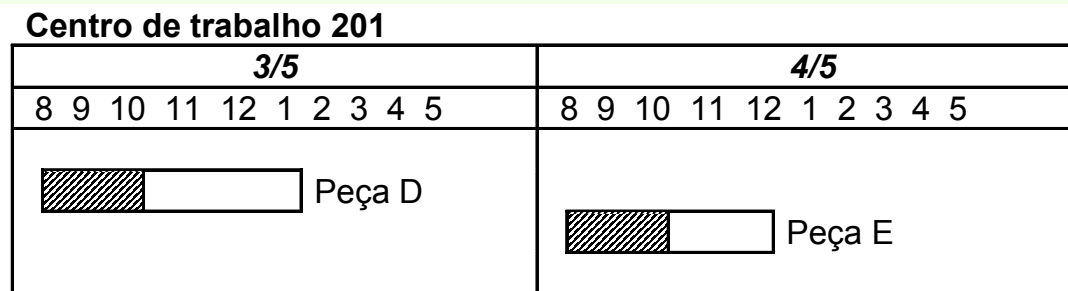


Gráfico de Gantt para o centro de trabalho 201: peças D e E

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- O gráfico inclui o lead time total e indica que o centro de trabalho **201** pode manusear ambas as peças.
- Nenhum conflito ocorre entre as agendas para as peças **D** e **E**.
- **Área hachurada** na barra \Rightarrow indica que há uma componente de **espera** no lead time total.
- Se um **conflito** ocorre no centro de trabalho durante o agendamento de outras peças \Rightarrow os agendadores do centro de trabalho podem usar o tempo de espera para ajustar as agendas da peça encurtando o tempo de espera e processando as peças mais cedo.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)
 - Métodos tradicionais de **reabastecimento de estoque** → têm por objetivo fazê-lo até o seu estado de capacidade original.
 - Porém estoques de manufatura não devem ser enchidos até a sua capacidade total.
 - Princípio de reabastecimento de estoque requer que os itens de estoque estejam disponíveis todo o tempo.
 - Esta abordagem compensa a inabilidade de determinar-se a **quantidade precisa** e o **tempo de necessidade** num futuro próximo.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- **Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)**
 - Controle de estoque → deve ter como objetivo fornecer itens no momento em que forem necessários → portanto, é necessário determinar-se a **quantidade de estoque**, no qual um novo suprimento deve ser encomendado, para trazer estoque ao seu nível desejado.
 - Esse ponto é chamado de “**ponto de reabastecimento**”.
 - Técnicas de determinação do ponto de reabastecimento → representam a implementação da noção de reabastecimento do estoque → quase todas elas tentam fornecer algum **estoque de segurança** para compensar flutuações na demanda.
 - Um dos problemas associados a essas técnicas são as **hipóteses falsas** sobre a demanda externa observada → consequência: pode existir um nível elevado de estoque, estoque baixo e também falta de estoque.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

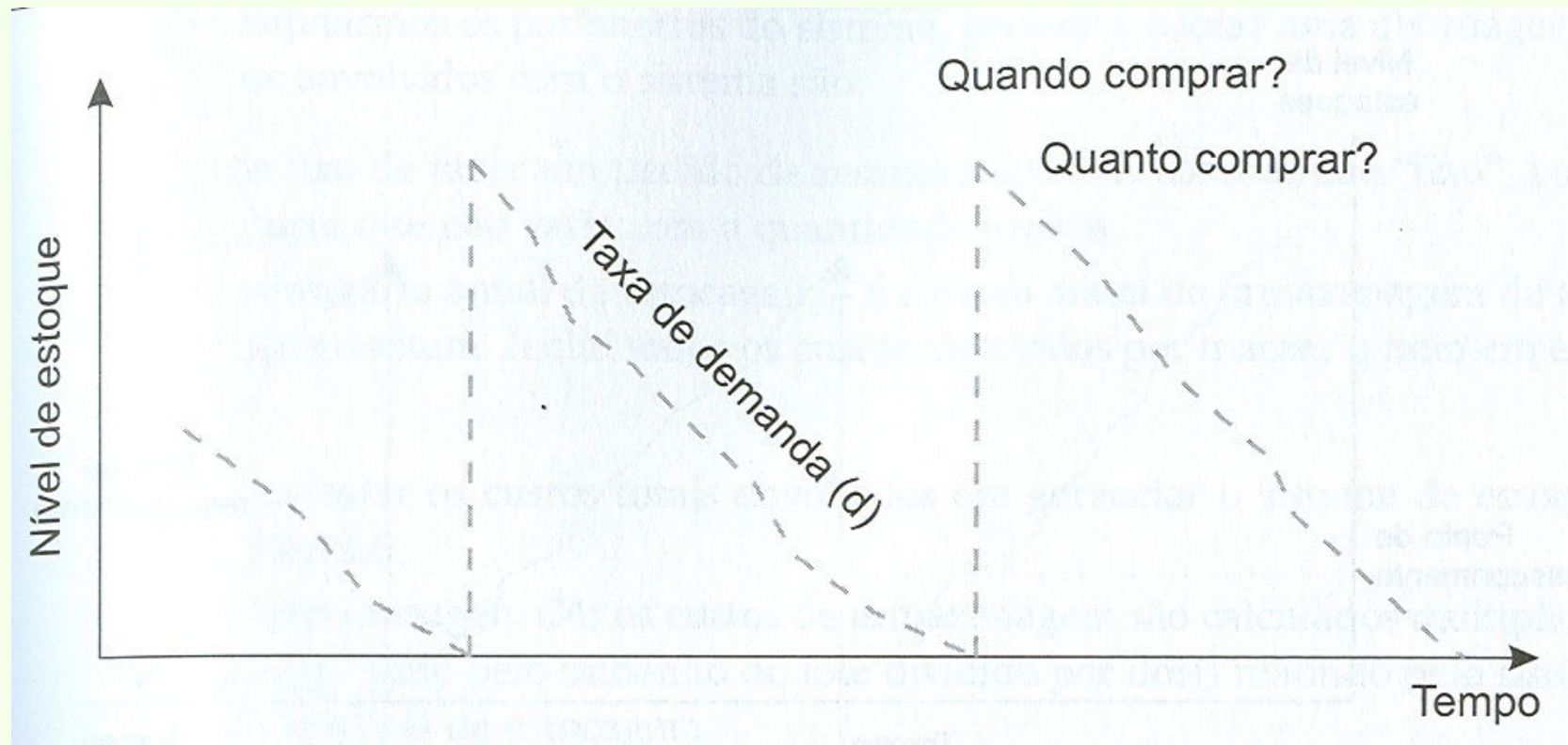
- **Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)**
 - Em vista disso → ponto de reabastecimento é um conjunto de procedimentos, regras de decisão e registros que objetivam assegurar a **disponibilidade física contínua** de todos os itens de estoque em face de uma **demanda incerta**.
 - Quando o fornecimento alcança o ponto de reabastecimento, o estoque é **preenchido**.
 - Para assegurar disponibilidade contínua de fornecimento → ponto de reabastecimento corresponde a um valor constante para evitar perdas de vendas.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- **Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)**
 - Momento de expedição de ordens de reencomenda sob a regra de ponto de reabastecimento é determinado pelo uso de **níveis de “disparo”**.
 - Nível de estoque é monitorado continuamente, e uma ordem de reabastecimento para uma quantidade fixa é expedida quando a contagem de peças cai a um nível especificado.

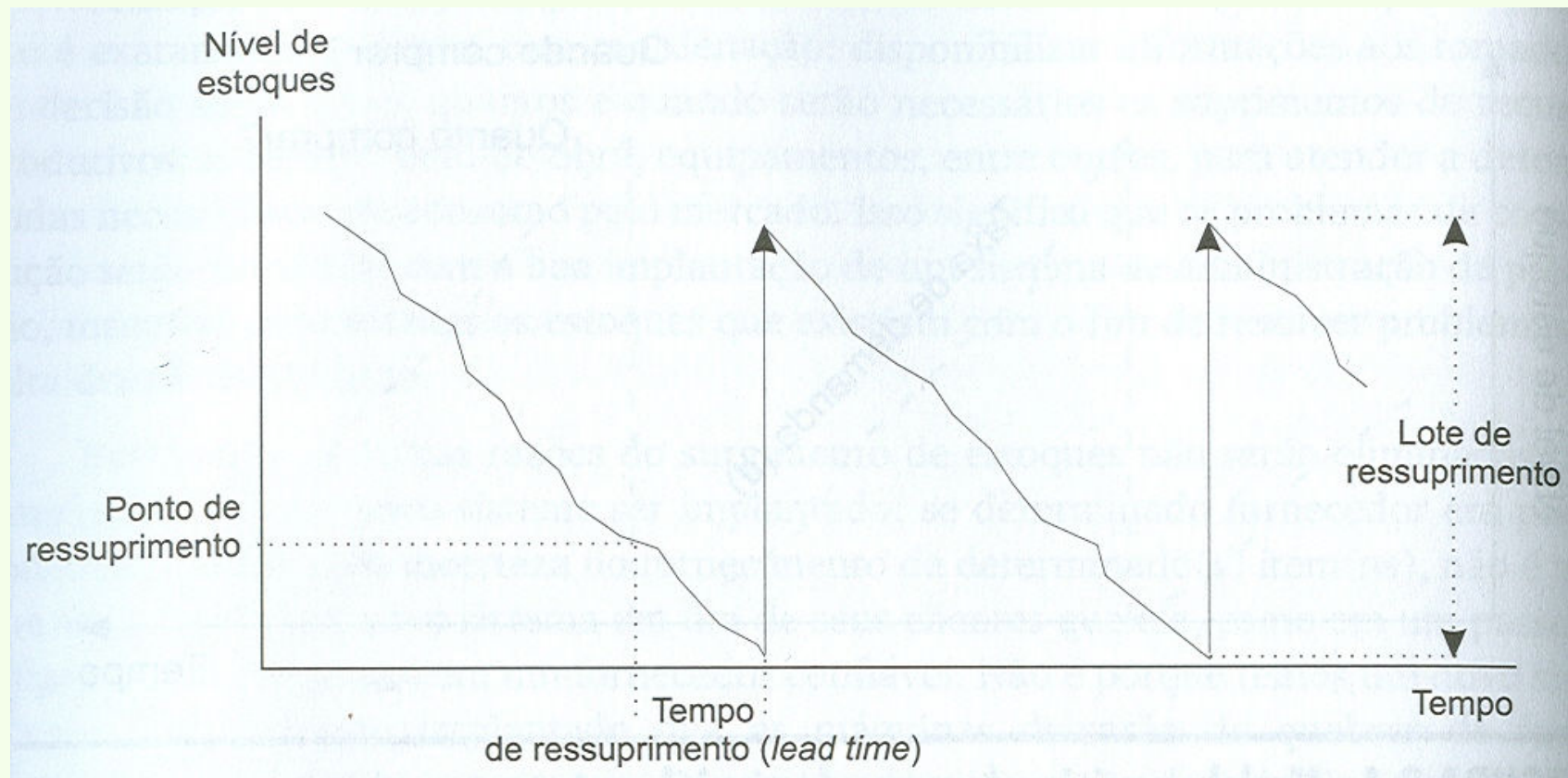
PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



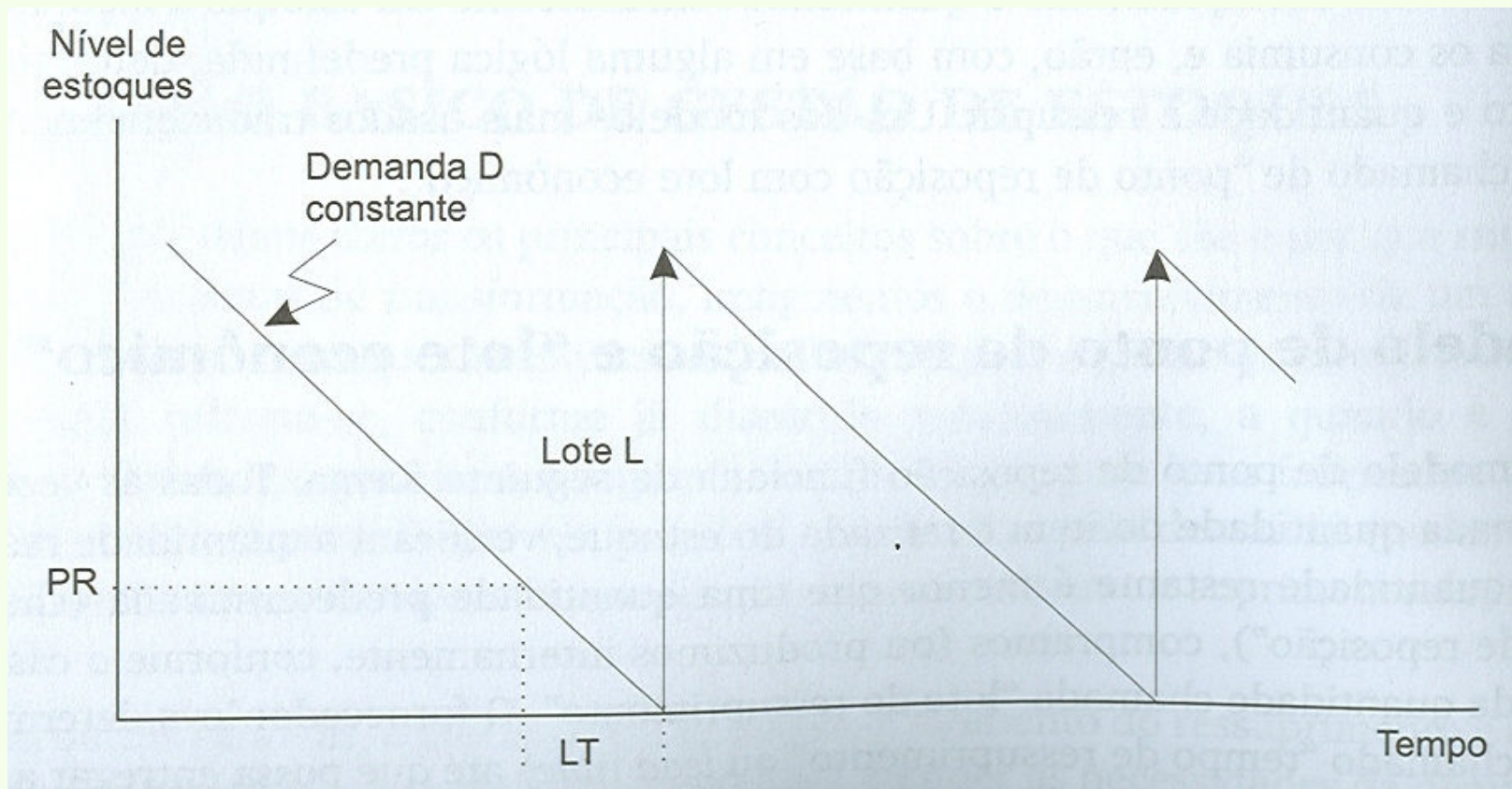
PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



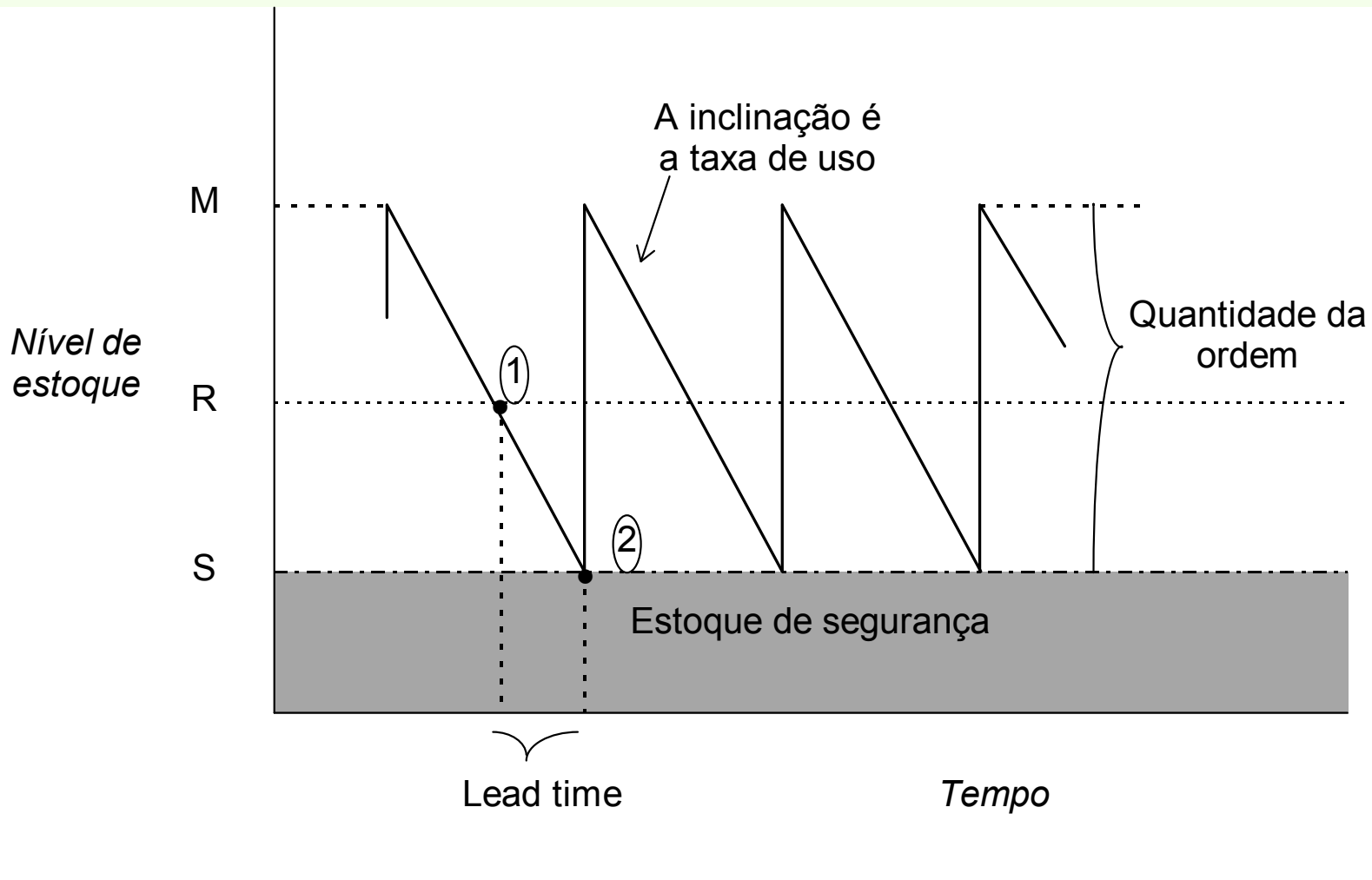
PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

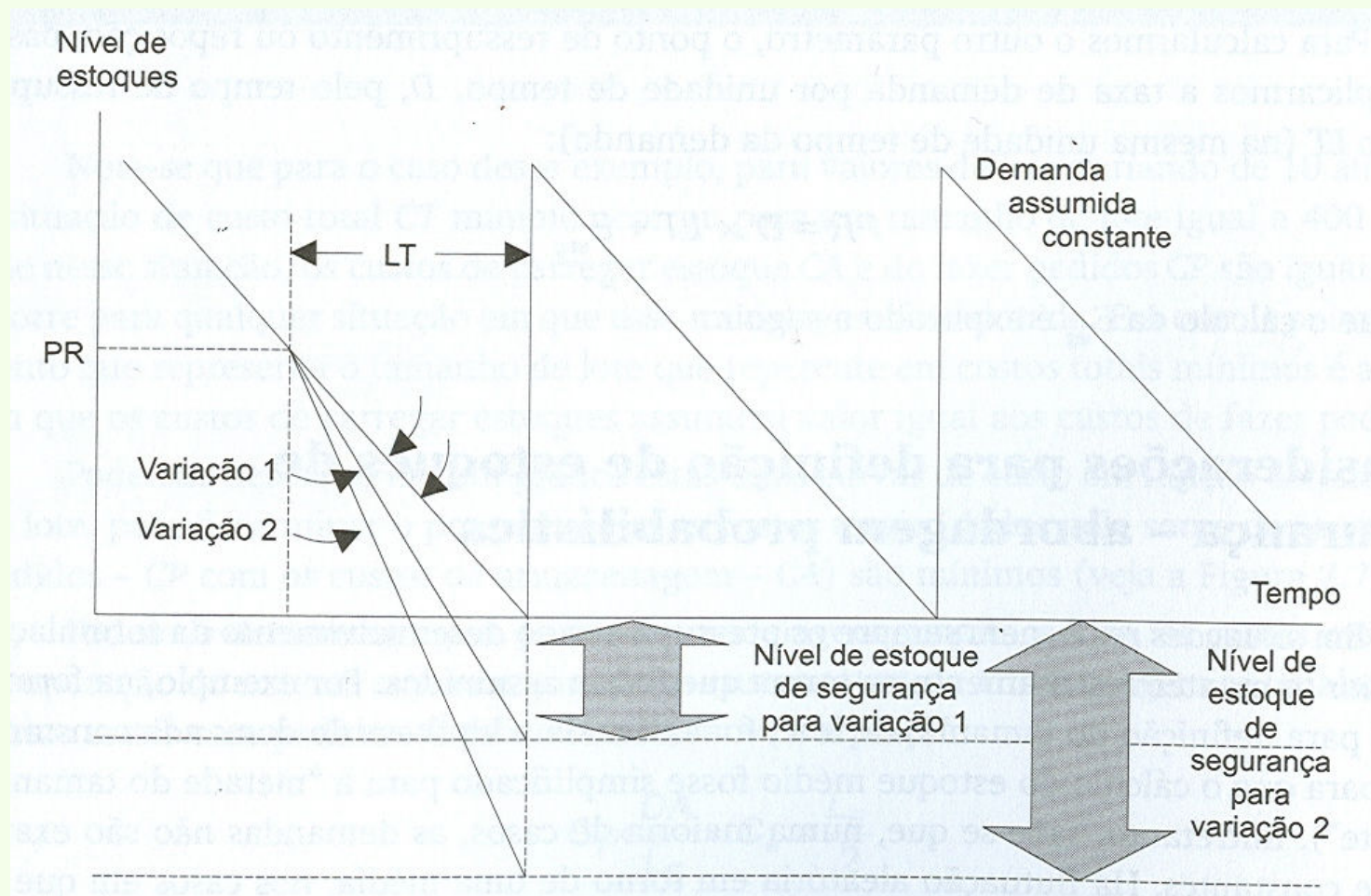
- **Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)**
 - Seleção do ponto de reabastecimento → influenciada por 4 fatores:
 - taxa de demanda da produção,
 - lead time necessário para reabastecer o estoque,
 - grau de incerteza na taxa de demanda e do lead time,
 - política da empresa referente à escassez de estoque.
 - Se a taxa de demanda e o lead time têm uma elevada certeza → não há necessidade de estoque de segurança → ponto de reabastecimento é facilmente estabelecido.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)
 - Entretanto → na maioria das operações de manufatura a demanda é raramente constante, e o lead time, especialmente dos fornecedores externos, é afetada pelas condições de mercado
 - Portanto → houve a necessidade de um sistema mais **responsivo** à demanda real e a prevista, não somente baseado em dados históricos → esse foi um dos motivos do desenvolvimento do **MRP I**.

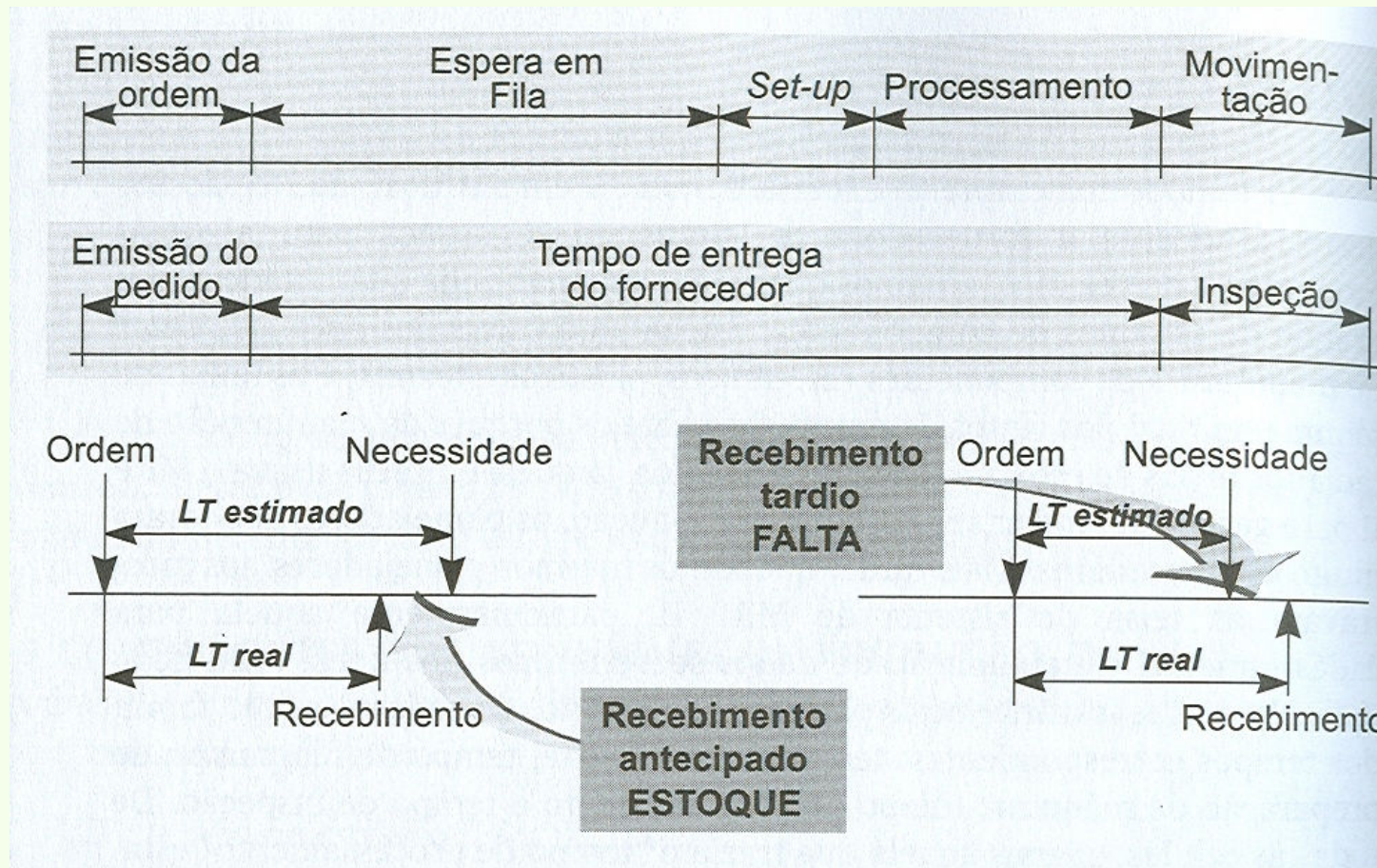
PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- **O Estoque ABC**
 - Alguns gerentes → **gerenciamento de estoque** = técnica que assegura que os materiais estão disponíveis quando necessitados e que não resultam em custos excessivos.
 - Método que pode ser aplicado → advém da **Lei de Pareto** (1897) → simples & possui a capacidade de classificar os estoques para um melhor gerenciamento.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O Estoque ABC

- Pareto → refere-se à **distribuição de riqueza e dinheiro** → descobriu que o dinheiro estava concentrado numa pequena porcentagem da população → acreditava que isto representava uma tendência universal → formulou um **axioma**, que diz:

“itens significativos num dado grupo normalmente constituem uma pequena porcentagem dos itens totais no grupo e a maioria dos itens no total vão ter uma menor importância.”

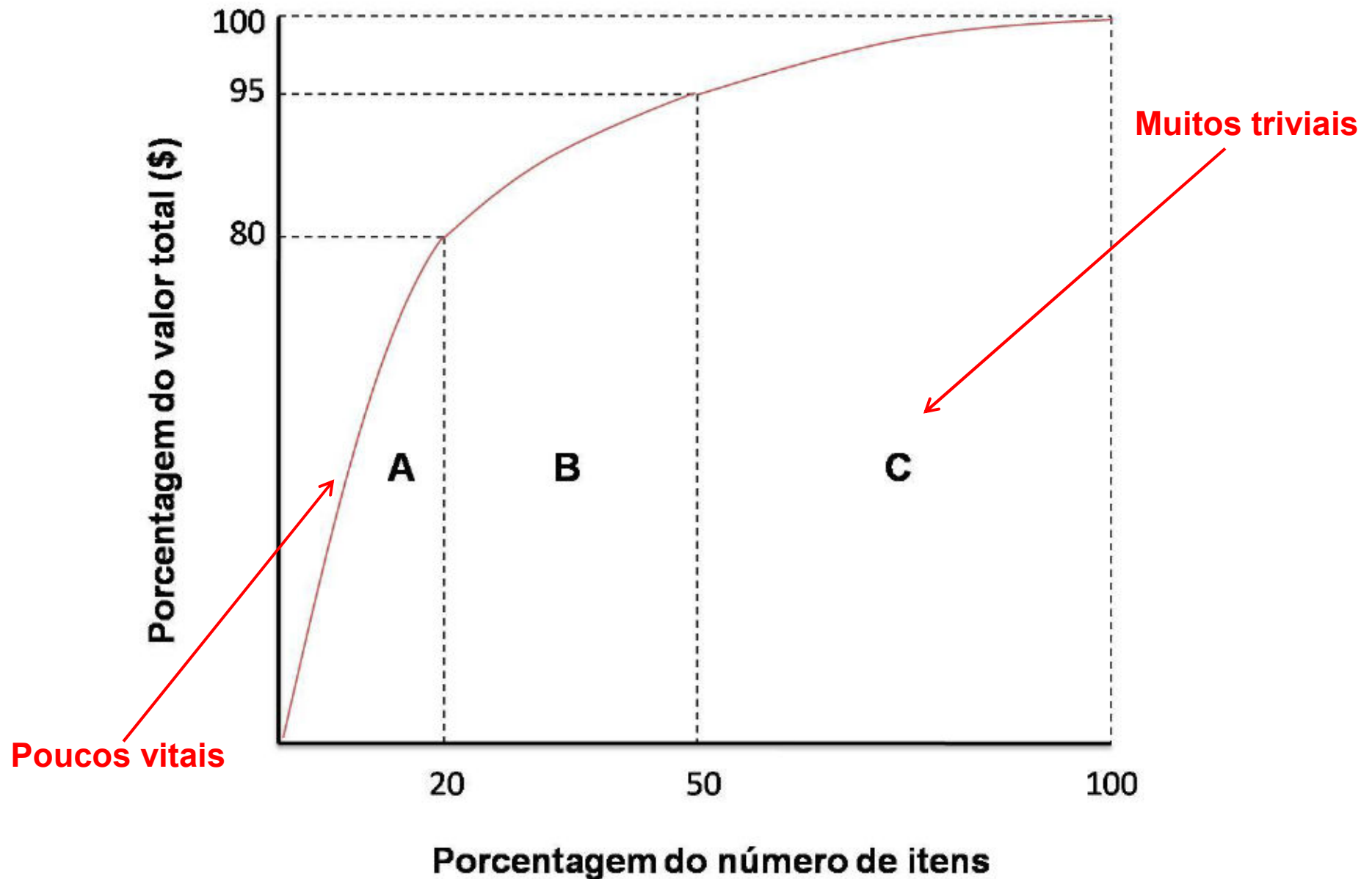
- Padrão aproximado da Lei de Pareto → expressa numa **relação matemática empírica** → **80%** da distribuição corresponde a **20%** dos membros.
 - O mesmo padrão se aplica a estoque. Aproximadamente **20%** dos itens correspondem a **80%** do custo total.

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O Estoque ABC

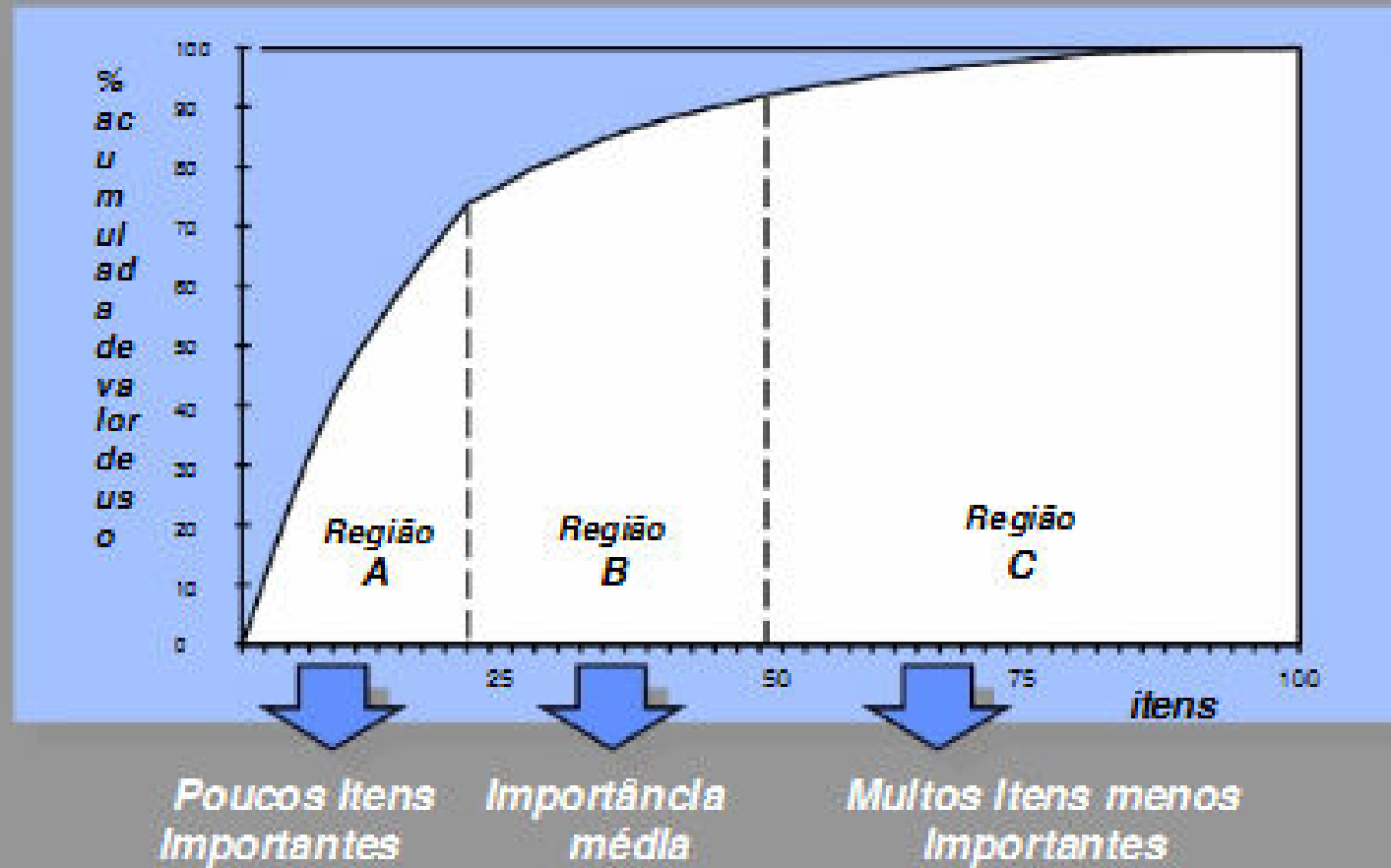
- Lei de Pareto → origina o que se chama “**Estoque ABC**”.
 - 20% correspondem aos itens A, e representam 80% do custo;
 - 30% serão os itens B e correspondem a 15% do custo;
 - 50% dos itens são classificados como itens C e representam apenas 5% do custo total.

Variedade de Produtos e Estratégia de Produção

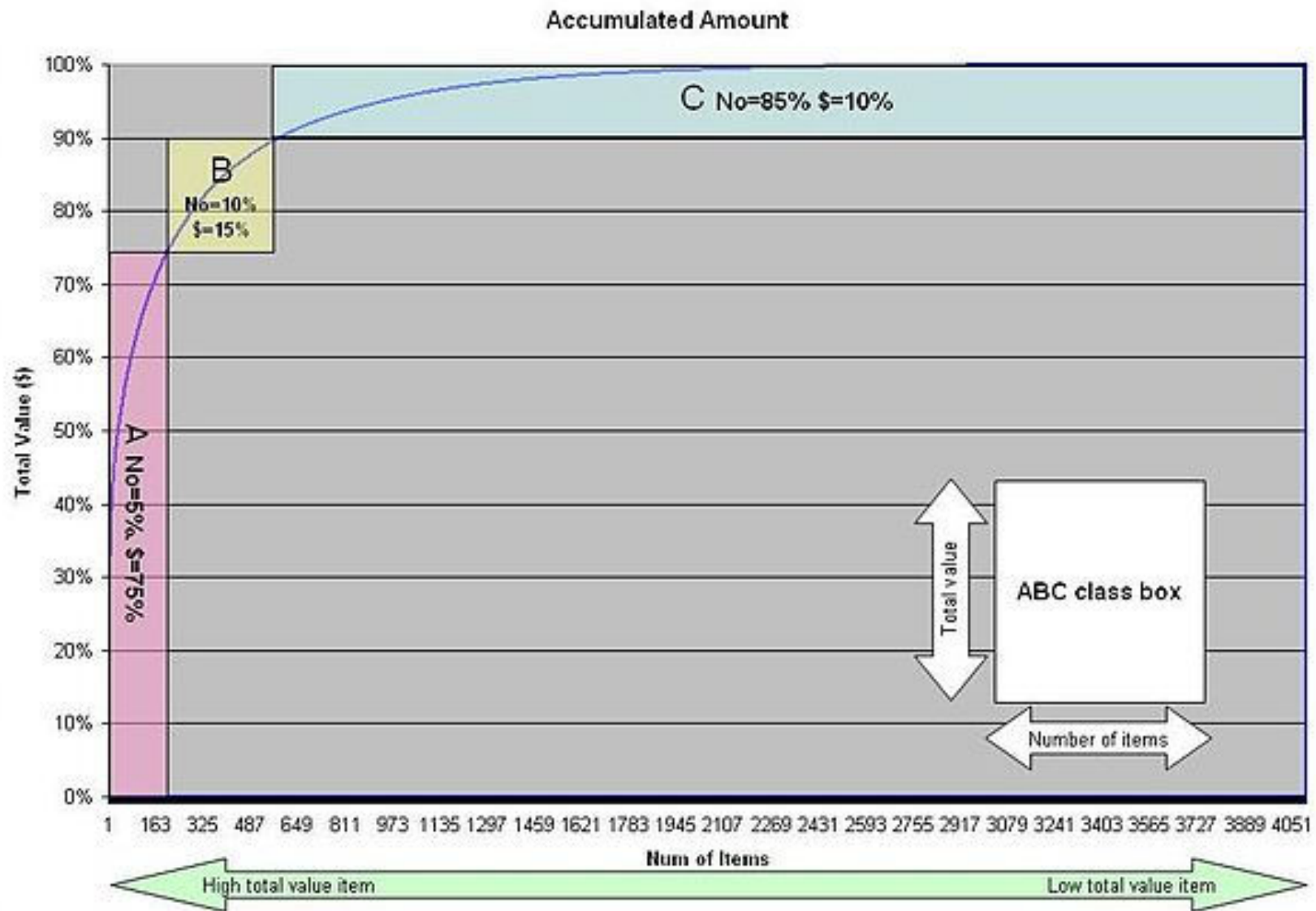


Curva ABC construída

Curva de Pareto ou curva **ABC** ou curva 80-20

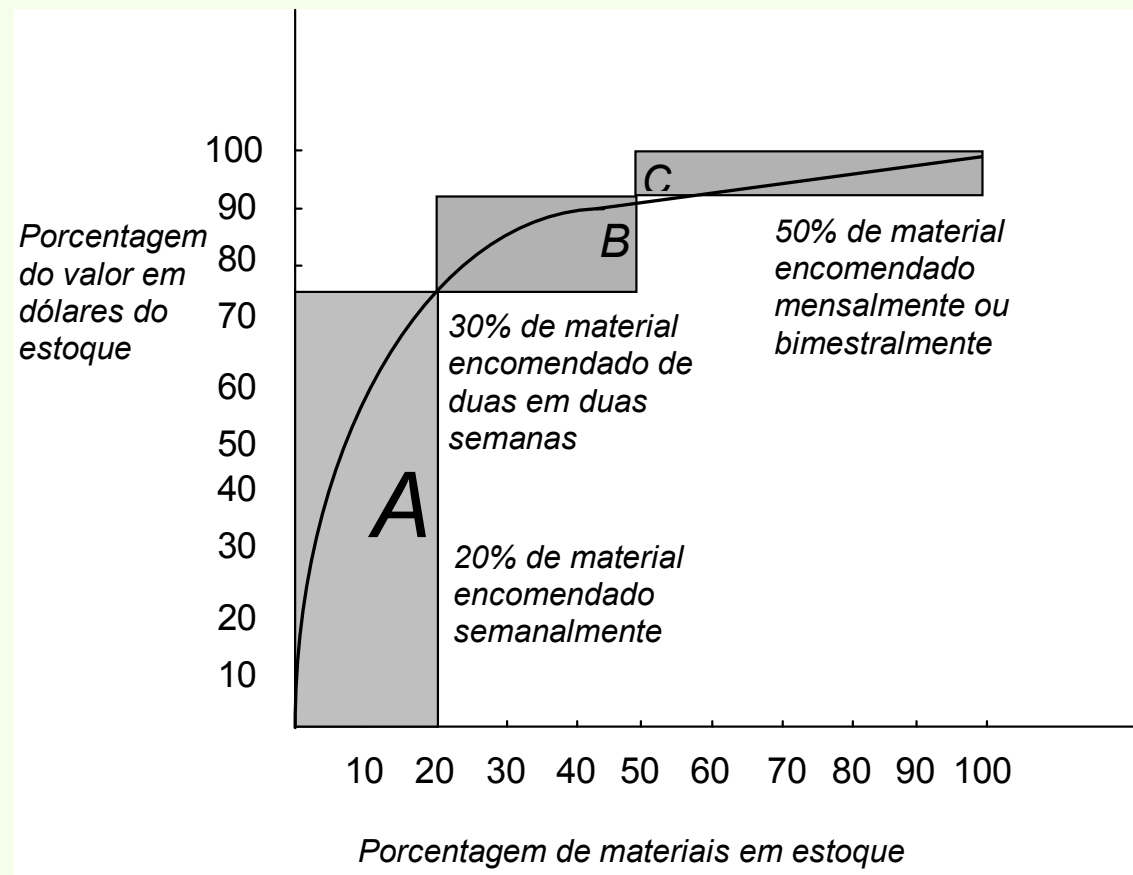


Curva ABC



PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O Estoque ABC



Classificação de estoque baseada na Lei de Pareto

PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O Estoque ABC

- A idéia por trás do princípio ABC → aplicar a maioria dos **recursos para o planejamento e controle dos itens A** em detrimento dos outros itens encontrados que têm pouco efeito sobre o custo total, ou **controlar** os itens A com maior **precisão** do que as outras classes.
- Isto resulta num **controle preciso e revisões mais freqüentes**.

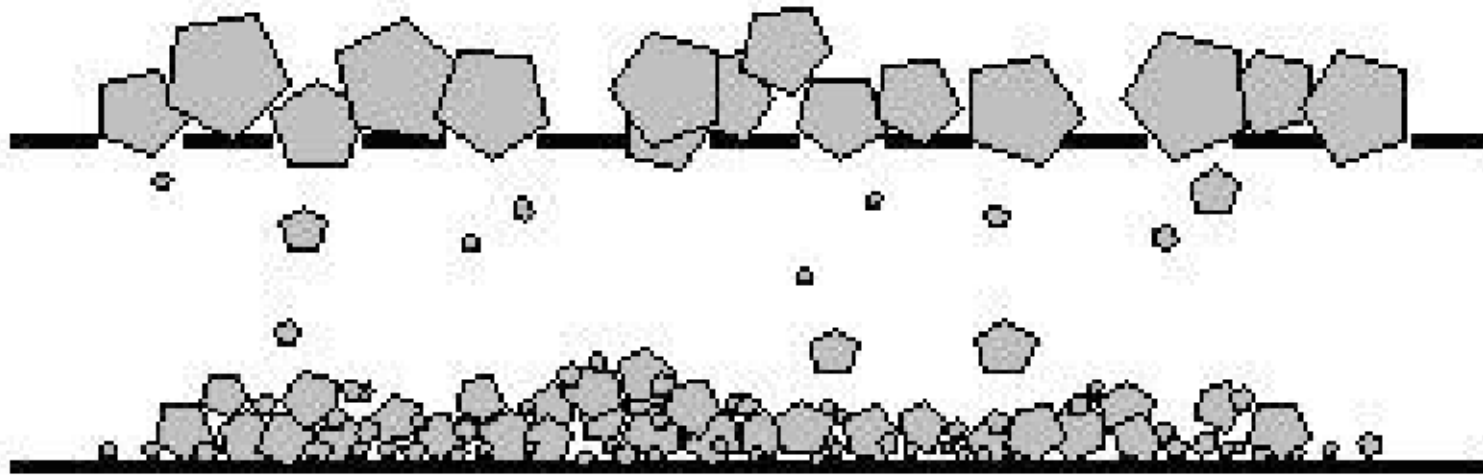
Análise dos itens produzidos e estocados

Análise dos itens

Itens de Análise	Itens de grande Importância	Itens de pouca Importância
Número de itens estocados	Poucos	Muitos
Valor Envolvido	Grande	Pequeno
Profundidade na análise	Maior	Menor
Margem de erro	Menor	Maior
Benefício relativo	Maior	Menor
Atenção da Administração	Maior	Menor

Variedade de Produtos e Estratégia de Produção

Numa definição simples, Curva ABC é um recurso para identificar os itens mais importantes a considerar dentro de uma quantidade geralmente grande de itens.



Separando o GROSSO !

O que é curva ABC?

- A curva ABC é um importante instrumento para se examinar estoques, permitindo a identificação daqueles itens que justificam atenção e tratamento adequados quanto à sua administração.
- Ela consiste na verificação, em certo espaço de tempo (normalmente 6 meses ou 1 ano), do consumo em valor monetário, ou quantidade dos itens de estoque, para classificá-los em ordem decrescente de importância.
- Os itens mais importantes de todos, segundo a ótica do valor ou da quantidade, são chamados itens classe A, aos intermediários, itens classe B, e aos menos importantes, itens classe C.
- A experiência mostra que poucos itens, de 10% a 20% do total, são da classe A, enquanto uma grande quantidade, em torno de 50%, é da classe C e 30% a 40%, são da classe B.
- A curva ABC é muito usada para a administração de estoques, para a definição de políticas de vendas, para estabelecimento de prioridades, para a programação da produção, para organização do sistema de produção.

Curva ABC

<i>Item de Estoque</i>	<i>Custo Unitário (\$)</i>	<i>Vendas Mensais (Unids)</i>	<i>Volume (\$)</i>	<i>% Volume</i>	<i>% SKUs</i>	<i>Classe</i>
Computadores	3000	50	150000	74	20	A
Home Theater	2500	30	75000			
TVs	400	60	24000			
Refrigeradores	1000	15	15000	16	30	B
Monitores	200	50	10000			
Stereos	150	60	9000			
Cameras	200	40	8000			
Software	50	100	5000	10	50	C
CDs	5	1000	5000			
CD Player	20	200	4000			

Itens A → Revisões contínuas (muita atenção); Itens C → Revisões periódicas

Exemplo de dados coletados e ordenados

Item	Quant. Média em estoque (A)	Custo Unitário (B)	Custo Total (A) x (B)	Ordem
	unidades	R\$	R\$	
A	5	2.000,00	10.000,00	3 ^º
B	10	70,00	700,00	10 ^º
C	1	800,00	800,00	9 ^º
D	100	50,00	5.000,00	5 ^º
E	5000	1,50	7.500,00	4 ^º
F	800	100,00	80.000,00	1 ^º
G	40	4,00	160,00	11 ^º
H	50	20,00	1.000,00	8 ^º
I	4	30,00	120,00	12 ^º
J	240	150,00	36.000,00	2 ^º
K	300	7,50	2.250,00	6 ^º
L	2000	0,60	1.200,00	7 ^º
TOTAL			144.730,00	

Cálculo dos percentuais

Ordem	Item	Quant. Média em estoque (A)	Custo Unitário (B)	Custo Total (A) x (B)	Custo total	Percentuais
		unidades	R\$	R\$	R\$	%
1ª	F	800	100	80.000,00	80.000,00	55,3
2ª	J	240	150	36.000,00	116.000,00	80,1
3ª	A	5	2.000,00	10.000,00	126.000,00	87,1
4ª	E	5000	1,5	7.500,00	133.500,00	92,2
5ª	D	100	50	5.000,00	138.500,00	95,7
6ª	K	300	7,5	2.250,00	140.750,00	97,3
7ª	L	2000	0,6	1.200,00	141.950,00	98,1
8ª	H	50	20	1.000,00	142.950,00	98,8
9ª	C	1	800	800	143.750,00	99,3
10ª	B	10	70	700	144.450,00	99,8
11ª	G	40	4	160	144.610,00	99,9
12ª	I	4	30	120	144.730,00	100,0
Total				144.730,00		

Análise dos resultados (critério qualitativo)

CLASSE	% ITENS	VALOR ACUMULADO	IMPORTÂNCIA
A	10 a 20	70 a 80%	Grande
B	30 a 40	15 a 30%	Intermediária
C	50 a 70	5 a 15%	Pequena

20% X 12	2,4 = 2
30% X 12	3,6 = 3
60% X 12	7,2 = 7

CLASSE	No Itens	% ITENS	VALOR ACUMULADO	Itens em Estoque
A	2	16,7%	80,1	F, J
B	3	25,0%	15,6	A, E, D
C	7	58,3%	4,3	K, L, H, C, B, G, I
	12	100,0%	100,0	

80,1
$80,1 - 95,7 = 15,6$
$95,7 - 100 = 4,3$

A empresa Alfa S/A pretende classificar os itens em estoque a fim de definir aqueles que deverão ser controlados mais efetivamente. Em virtude disso, efetue a classificação ABC dos mesmos segundo a porcentagem que representam no investimento total.

Item	Consumo Anual	Custo (R\$)
000.1	55	1.800
000.2	16,5	9.600
000.3	100	12.600
000.4	66,5	2.400
000.5	83,5	600
000.6	65	16.300
000.7	55	900
000.8	50	1.500
000.9	78	3.000
000.10	33,5	2.400

A empresa Alfa S/A pretende classificar os itens em estoque a fim de definir aqueles que deverão ser controlados mais efetivamente. Em virtude disso, efetue a classificação ABC dos mesmos segundo a porcentagem que representam no investimento total.

Item	Consumo Anual	Custo (R\$)
A	450	2,35
B	23.590	0,45
C	12.025	2,05
D	670	3,60
E	25	150,00
F	6.540	0,80
G	2.460	12,00
H	3.480	2,60
I	1.250	0,08
J	4.020	0,50
K	1.890	2,75
L	680	3,90
M	345	6,80
N	9.870	0,75
O	5680	0,35

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Teoria para determinação de um **tamanho de lote econômico** → busca definir uma quantidade cujo **custo de fabricação seja mínimo**, considerando-se:
 - os insumos,
 - os valores de trabalho agregado,
 - os tempos de máquina,
 - os custos para manter os estoques.
- Esses custos normalmente podem ser agrupados em 3 categorias básicas:
 - custo de preparação (ou setup)
 - custo unitário de produção
 - custo de manutenção do estoque

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- **Custo de Setup**

- Todos os custos necessários à preparação de uma rodada de fabricação. Os principais itens computados são:
 - mão-de-obra aplicada na preparação das máquinas;
 - custos dos materiais e acessórios envolvidos na preparação;
 - outros custos indiretos: administrativos, contábeis, etc.

- **Custo Unitário de Produção**

- Nesse item são considerados os custos dos insumos básicos diretamente empregados no processo produtivo, como:
 - matérias-primas;
 - mão-de-obra aplicada na produção;
 - tempos de máquinas envolvidos.

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- **Custo de Manutenção do Estoque**
 - Estoque \Rightarrow custo para a indústria \rightarrow normalmente considerado para cada produto por unidade de tempo de armazenagem.
 - Principais itens para cálculo:
 - juros de capital imobilizado;
 - risco de obsolescência do produto;
 - prêmios de seguro, taxas e impostos;
 - perdas por deterioração;
 - despesas com instalações, aluguéis, iluminação, etc.

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Método mais simples para determinação do lote → fundamenta-se na **análise econômica dos custos** → inicialmente definido para **dimensionar lotes de compras**, adaptado posteriormente para o ambiente de manufatura, bastando que fossem considerados os **tempos de preparação e encomenda** como similares.
- Sistema de manufatura **tradicional** → máquinas produzem para um determinado nível de **estoque em função da demanda** → **modelo clássico** de lote tem melhor aplicabilidade.

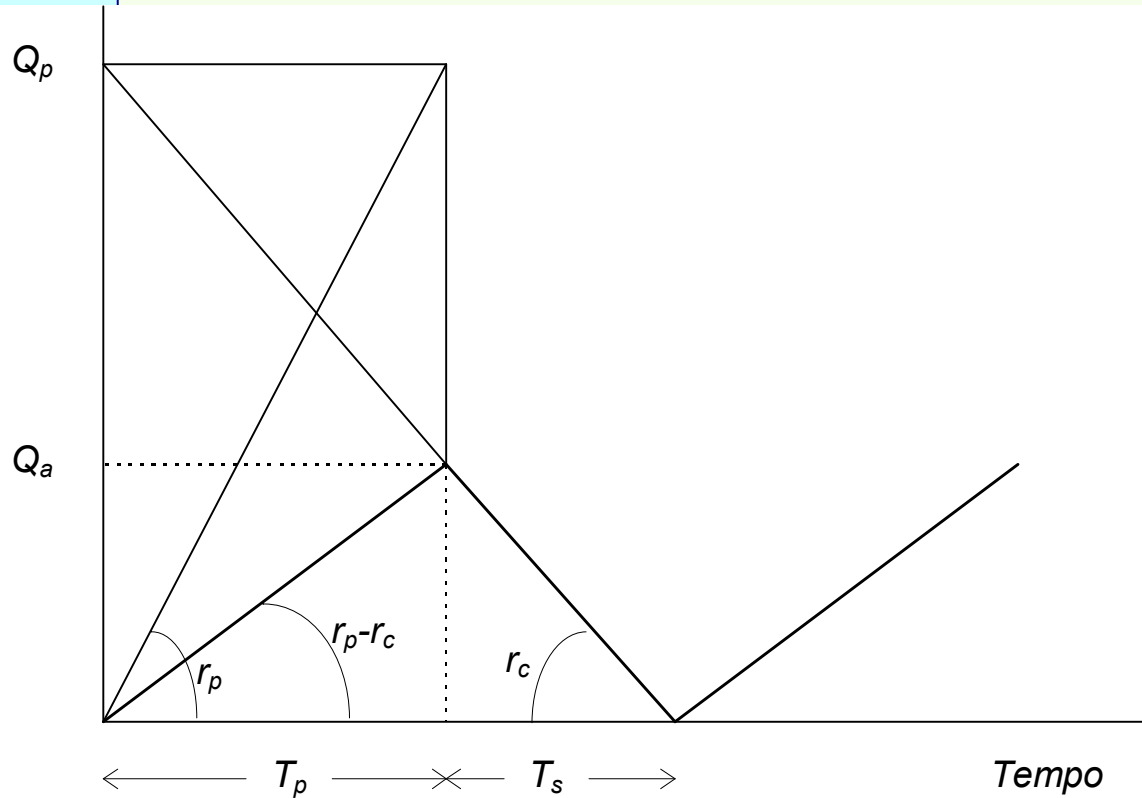
DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Mesmo assim → é apenas um **ponto de partida na definição da quantidade**, que deve ser aperfeiçoada com o decorrer dos **ciclos produtivos**, fazendo-se os **ajustes** necessários em função das particularidades de cada processo.
- **Fabricação celular ???** → definições determinadas para os produtos isoladamente são **questionáveis** → manufatura ocorre para uma **família de peças** = lote constituído de uma série de **produtos distintos**.
- Será apresentado primeiro o **modelo clássico** para definir o tamanho de lote econômico (Q_e), abordando-se posteriormente um tratamento dentro da filosofia de **tecnologia de grupo**.

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- **Abordagem Clássica**
 - Definição da **quantidade econômica** (Q_e) para os lotes → efetua-se uma análise sobre as variações de estoque, considerando-se **taxas de produção e de consumo**.

DO TAMANHO NÔMICO



r_p = taxa de produção
 r_c = taxa de consumo
 $r_p - r_c$ = taxa de aumento do estoque

Q_p = quantidade de produção total
 Q_a = quantidade acumulada no ciclo

T_p = tempo do ciclo de produção

T_s = tempo do ciclo de consumo

T_c = tempo do ciclo total ($T_p + T_s$)

c_s = custo de setup por ciclo

c_e = custo de manutenção de estoque por produto, por unidade de tempo

Evolução da produção com o tempo

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

(a) Quantidade produzida num ciclo:

$$Q_p = T_p \times r_p \quad (1)$$

(b) Custo unitário do setup:

$$C_s = \frac{c_s}{Q_p} \quad (2)$$

(c) Estoque médio:

$$Q_m = \frac{Q_a}{2} \quad (3)$$

(d) Custo de manutenção do estoque médio:

$$C_m = \frac{Q_a}{2} \times c_e \times \frac{T_c}{Q_p} \quad (4)$$

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

(e) Tempo total do ciclo:

$$T_c = \frac{Q_p}{r_c} \quad (5)$$

(f) Quantidade acumulada:

$$Q_a = T_p \times (r_p - r_c) \quad (6)$$

para $T_p = \frac{Q_p}{r_p} \quad (7)$

$$Q_a = (r_p - r_c) \times \frac{Q_p}{r_p} \quad (8)$$

para $\beta = \frac{r_c}{r_p} \quad (9)$

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

(g) Custo total:

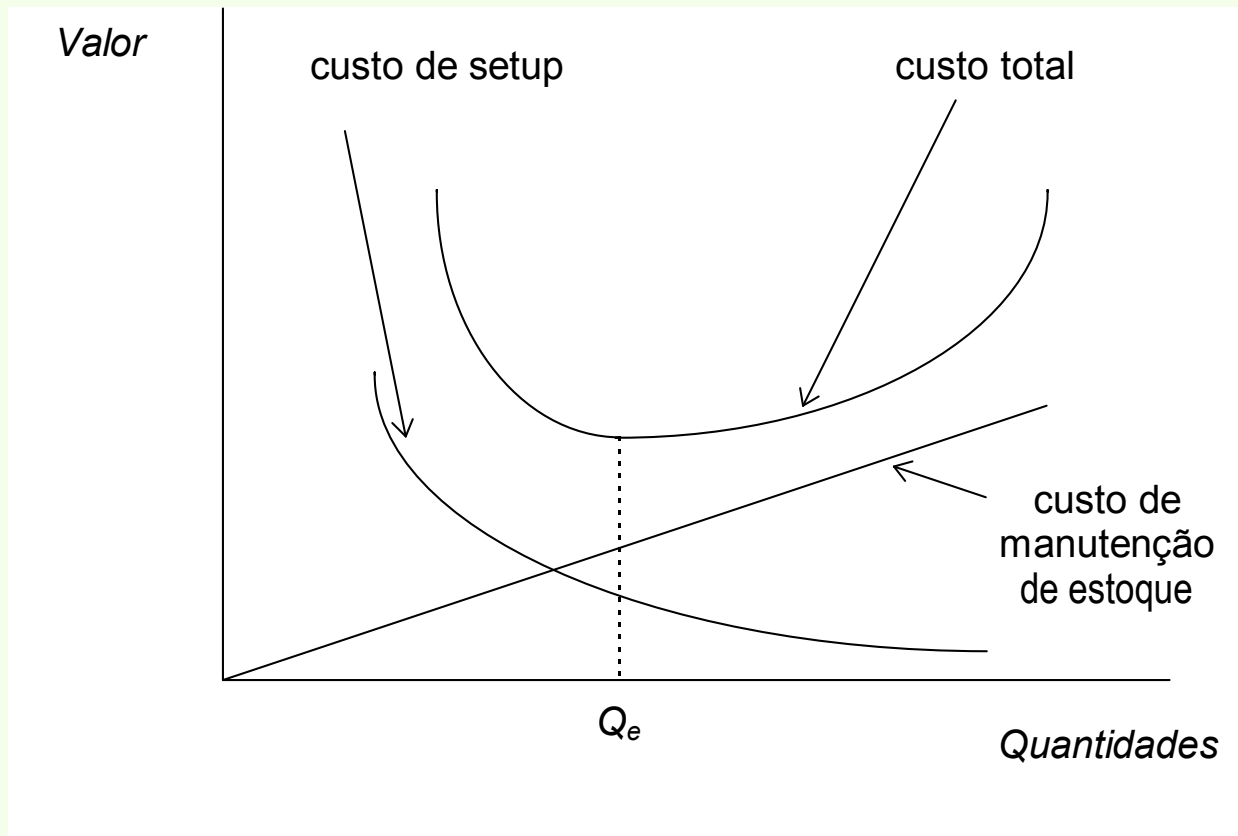
$$CT = \frac{c_s}{Q_p} + c_e (1 - \beta) \frac{Q_p}{2r_c} \quad (10)$$

- Diferenciando-se **CT** em relação a **Q** → busca-se o valor de **Q_e** para que o custo total seja mínimo. Obtém-se então:

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 r_c c_s}{(1 - \beta) c_e}} \quad (11)$$

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

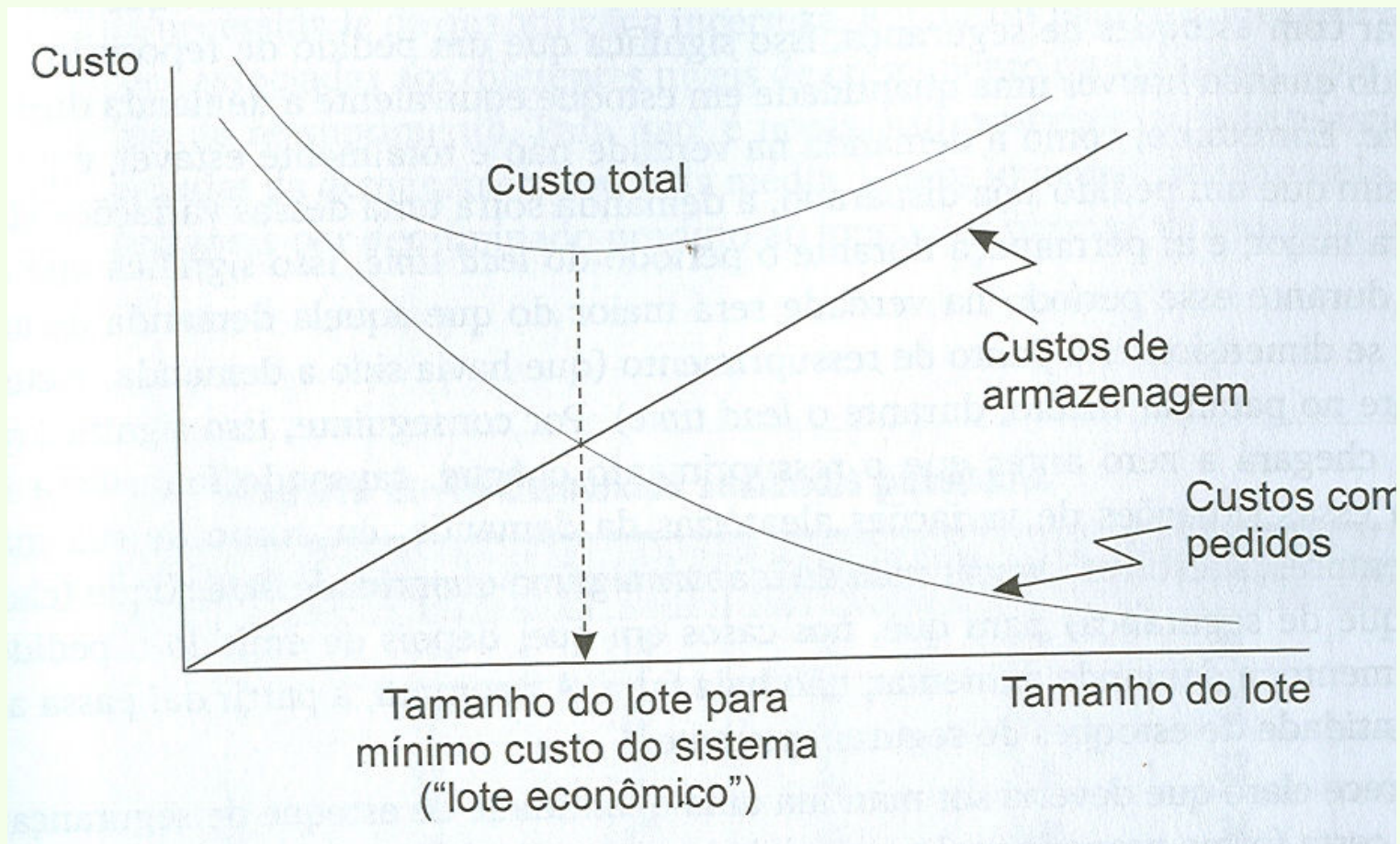
- Representação gráfica da quantidade econômica de fabricação Q_e → quantidade versus custo do lote.



Custo de fabricação do lote

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Representação gráfica da quantidade econômica de fabricação Q_e → quantidade versus custo do lote.



DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Representação gráfica da quantidade econômica de fabricação $Q_e \rightarrow$ quantidade versus custo do lote.

$C_f = R\$ 20; C_o = R\$2; DA = 8.000$			
L	$CA = C_o \times (L/2)$	$CP = C_f \times (DA/L)$	$CT = CA + CP$
Tamanho de lote	Custo de carregar estoque	Custo anual de fazer pedidos	Custo total
10	10	16.000	16.010
50	50	3.200	3.250
100	100	1.600	1.700
150	150	1.067	1.217
200	200	800	1.000
300	300	533	833
400	400	400	800
500	500	320	820
600	600	267	867
700	700	229	929
800	800	200	1.000

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Tempo ótimo para o ciclo de produção → definido através das equações (5) e (11).

$$T_c^* = \sqrt{\frac{2 c_s}{(1 - \beta) r_c c_s}} \quad (12)$$

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Outro problema → **vários produtos sejam produzidos num mesmo ciclo**, nas mesmas máquinas → determinar o ciclo de produção para o lote dos n produtos, ou lote multiproduto.
- Cada produto → elemento j → tempo do ciclo = dado pela equação (12) adaptada:

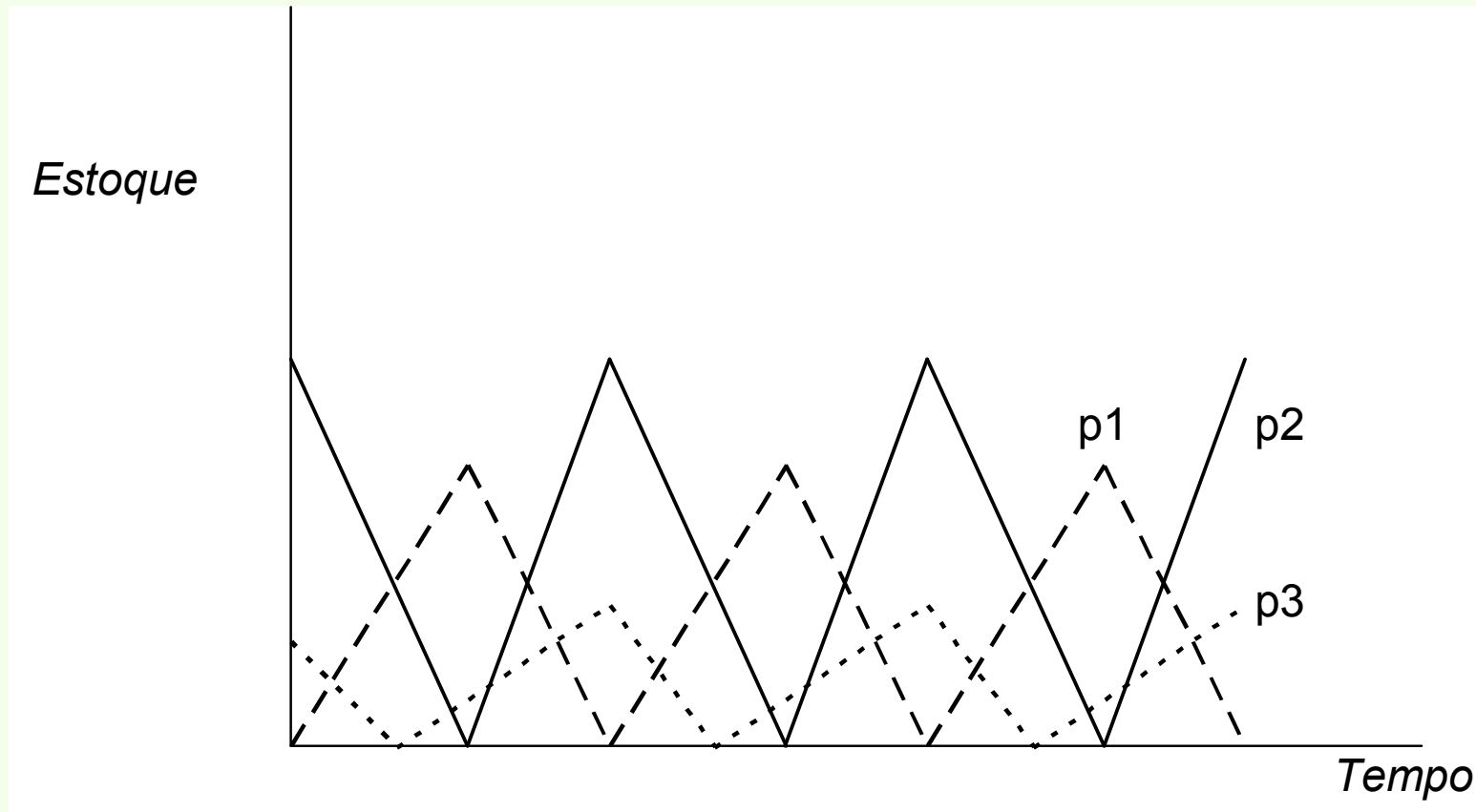
$$T_c^{**} = \sqrt{\frac{2 \sum_{j=1}^n c_{s_j}}{\sum_{j=1}^n (1 - \beta_j) r_{c_j} c_{e_j}}} \quad (13)$$

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Conseqüentemente, pelas equações (5) e (13) → pode-se determinar o **tamanho de lote de cada um dos produtos** através da equação (14).

$$Q_{e_j} = r_{c_j} T_c^{**} = \sqrt{\frac{2 \sum_{j=1}^n c_{s_j} r_{c_j}^2}{\sum_{j=1}^n (1 - \beta_j) r_{c_j} c_{e_j}}} \quad (14)$$

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO



Lote de produção cíclico para três produtos distintos (p1, p2 e p3)

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

Applet para o cálculo do tamanho de lote econômico:

www.grima.ufsc.br/software/Lote/Lote.html

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Dinâmica da Teoria das Restrições (jogo dos dados e palitos).



BALANCEAMENTO DE LINHA

- Nos diferentes tipos de produção (p.ex. *flow shop*, ou *FMS*) → **muitas operações distintas** de processamento a serem executadas sobre o produto.
- Invariavelmente → **seqüência** dos passos é **restringida** em termos da **ordem** na qual as operações podem ser executadas.
- Exemplos:
 - Furo roscado:
 - **furo** (p.ex. com uma **broca helicoidal**),
 - **roscas** (p.ex. com um **macho**).
 - Fixação mecânica:
 - **arruela** deve ser colocada sob a **cabeça do parafuso** antes que a **porca** possa ser girada e apertada.
- “**Restrições de Precedência**”

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Produto deve ser fabricado numa dada taxa de produção de modo a **satisfazer a demanda**.
- Deseja-se que no projeto de uma **linha de montagem** ou **FMS** → todas as especificações sejam satisfeitas o mais eficientemente possível.
- *Balanceamento de linha* → combinar as **tarefas individuais de processamento e montagem** para que o **tempo total exigido** em cada **estação** de trabalho seja **aproximadamente o mesmo**.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Elementos de trabalho agrupados de modo a que todos os tempos em cada estação sejam **exatamente iguais** → **balanço perfeito da linha** → produção suave.
- Entretanto → na maioria das situações práticas é muito difícil alcançar um balanço perfeito.
- Tempos diferentes das estações de trabalho → **estação mais lenta** determina a taxa de produção global da linha.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Exemplo → **aparelho elétrico novo**, que deve ser montado numa **linha dedicada**.
- Tarefa total de montagem do produto → deve ser dividida em **elementos mínimos de trabalho**.
- Departamento de Engenharia Industrial → desenvolveu **tempos padrões** baseados em tarefas anteriores (ver tabela).
- Demanda da produção = **120.000 unidades/ano** → em 50 semanas/ano e 40 horas/semana, isto resulta numa **produção da linha de 60 unidades/hora ou 1 unidade/minuto**.

BALANCEAMENTO DE LINHA

Nº	Descrição do elemento	T_{ej} (min)	Precedido por
1	Colocar a base no fixador e fixar	0,2	-
2	Montar o plugue no fio de força	0,4	-
3	Montar as braçadeiras na base	0,7	1
4	Enrolar o fio no motor	0,1	1,2
5	Conectar o fio ao relé	0,3	2
6	Montar a placa na braçadeira	0,11	3
7	Montar a lâmina na braçadeira	0,32	3
8	Montar o motor nas braçadeiras	0,6	3,4
9	Alinhar braçadeira e conectá-la ao motor	0,27	6,7,8
10	Montar o relé na braçadeira do motor	0,38	5,8
11	Montar a cobertura, inspecionar e testar	0,5	9,10
12	Colocar na caixa para empacotamento	0,12	11

Elementos de trabalho para a manufatura de um novo aparelho elétrico

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Mínimo elemento de trabalho: Tarefa deve ser subdividida em seus componentes.
 - Elementos Mínimos → menores tarefas nas quais a tarefa pode ser dividida (i.e. tarefas indivisíveis).
 - P.ex. → execução de um **furo com uma broca** não pode ser subdividida, e portanto este é considerado um elemento de trabalho mínimo.
 - Montagem manual → quando 2 componentes são montados com um **parafuso** e uma **porca**, é razoável que essas atividades sejam feitas simultaneamente → portanto, essa tarefa é um elemento de trabalho mínimo.
 - Tempo requerido para efetuar esse elemento de trabalho mínimo → T_{ej} , onde j é usado para identificar um elemento dentre os n_e elementos que constituem a tarefa total.
 - P.ex. → tempo, T_{ej} , para o elemento 1 na tabela é **0,2 min.**

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Tempo de duração de um elemento de trabalho = constante.
- **Cabeçote automático** → pode corresponder a esta hipótese, apesar de que o tempo de processamento seja alterado ao fazer-se ajustes na estação.
- Por outro lado → numa **operação manual** → tempo requerido para executar um elemento de trabalho variará, de fato, de ciclo para ciclo.
- Outra hipótese implícita no uso de valores de T_e → eles são **aditivos**, isto é, o tempo para executar 2 elementos de trabalho é a soma dos tempos dos elementos individuais → na prática, isto pode não ser verdade → pode ser que alguma economia de movimento seja obtida combinando-se 2 elementos de trabalho numa estação, portanto violando a hipótese de adição.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Tempo Total de Trabalho: soma dos tempos de todos os elementos de trabalho a serem efetuados → T_{wc} :

$$T_{wc} = \sum_{j=1}^{n_e} T_{e_j} \quad (1)$$

Para o exemplo dado → $T_{wc} = 4,00$ minutos

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Tempo de Processamento na Estação de Trabalho: Estação de trabalho = local no chão de fábrica onde executam-se tarefas, ou manualmente ou por um equipamento automático.
- Trabalho efetuado na estação → 1 ou mais elementos de trabalho individuais; tempo necessário = Σ dos tempos dos elementos de trabalho efetuados na estação.
- T_{si} indica o tempo de processamento na estação i numa linha de n estações.
- Σ dos tempos de processamento na estação = Σ dos tempos dos elementos de trabalho naquela estação

$$\sum_{i=1}^n T_{s_i} = \sum_{j=1}^{n_e} T_{e_j} \quad (2)$$

BALANCEAMENTO DE LINHA

- **Terminologia**

- **Tempo do Ciclo**: ideal ou teórico da linha → intervalo de tempo entre as **peças saindo da linha**
- Valor de projeto de T_c deve ser especificado de acordo com a **taxa de produção requerida**.
- Admitindo-se a ocorrência de paradas na produção → T_c deve satisfazer a seguinte exigência:

$$T_c \leq \frac{E}{R_p} \quad (3)$$

Onde: **E** = eficiência da linha; **R_p** = taxa de produção requerida.

Linha manual (problemas de funcionamento menos prováveis)
→ **eficiência será próxima de 100%**.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Valor mínimo possível de T_c → estabelecido pela **estação gargalo** → aquela que possui o maior valor de T_s . Isto é,

$$T_c \leq \max T_{s_i} \quad (4)$$

Se $T_c = \max T_{s_i}$ → haverá tempo improdutivo em todas as estações cujos valores $T_s < T_c$.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Finalmente, como os tempos das estações são compostos dos tempos dos elementos de trabalho,

$$T_c \geq T_{e_j} \quad (\text{para todos os } j = 1, 2, \dots, n_c) \quad (5)$$

Esta equação declara o óbvio: o tempo do ciclo deve ser maior ou igual a quaisquer dos tempos dos elementos de trabalho.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- **Terminologia**

- Equações acima → **tempo de transferência (manuseio)** foi considerado como sendo **desprezível** → se isto não for verdade, uma correção deve ser feita no valor de T_c .
- **Restrições de Precedência** ⇒ seqüência dos elementos de trabalho é limitada.
- Existem **outros tipos de restrições** à solução do problema de balanceamento → são restrições no **arranjo das estações** em vez da seqüência dos elementos de trabalho.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- 1º tipo de restrição no arranjo das estações: **restrição de área**, que pode ser **positiva** ou **negativa**.
 - Restrição de área positiva → certos elementos de trabalho devem ser localizados próximos uns dos outros, preferivelmente na mesma estação → p.ex. todos os elementos de **pintura** devem ser efetuados **juntos**, pois uma **estação especial semi-fechada** deve ser utilizada.
 - Restrição de área negativa → certos elementos de trabalho poderão **interferir uns com os outros**, e deverão portanto ser localizar-se afastados → p.ex. elemento de trabalho que requer **ajuste fino** ou **manuseio delicado** não deve ser localizado próximo a uma estação que gera **ruídos e vibrações elevados**.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Outra restrição no arranjo das estações é a **restrição de posição** → encontrada na **montagem de produtos grandes** tais como automóveis → operador não consegue executar o trabalho em ambos os lados → para acelerar e facilitar o trabalho, **operadores são localizados em ambos os lados da linha.**
- Métodos de balanceamento de linha que serão apresentados não estão equipados para lidar com essas restrições convenientemente → entretanto, em situações reais, tais restrições devem ser consideradas no projeto do sistema de manufatura.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Diagrama de Precedência: representação gráfica da seqüência dos elementos de trabalho, considerando-se as restrições de precedência.

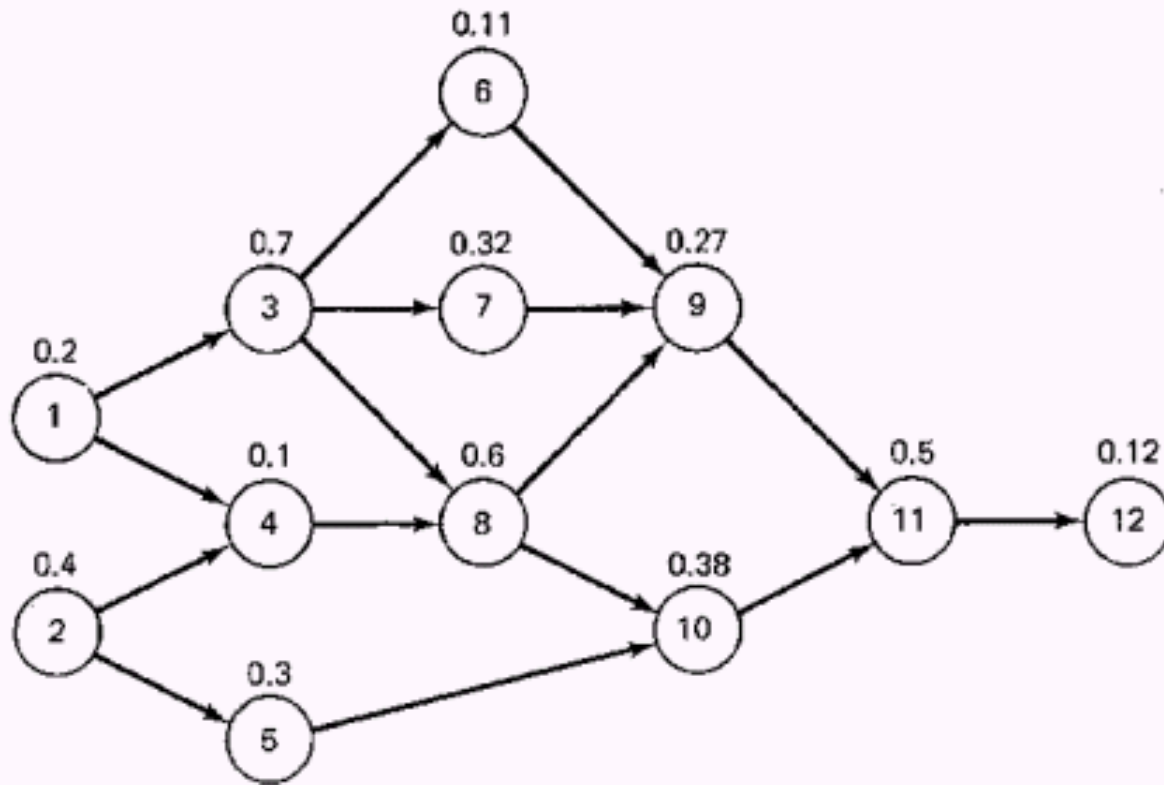


Diagrama de precedência para a tabela anterior

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Atraso de Balanceamento: medida da ineficiência da linha que resulta em tempo improdutivo devido à alocação imperfeita de trabalho para as estações (“d”):

$$d = \frac{nT_c - T_{wc}}{nT_c} \quad (6)$$

- O atraso de balanceamento não deve ser confundido com a proporção de **tempo de parada** de uma linha automatizada, que é a medida da ineficiência que resulta em paradas na linha.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Considerando-se os dados do problema anterior, $T_{wc} = 4,00$ minutos. Assumindo-se $T_c = 1,0$ minuto, para um balanceamento perfeito, dever-se-ia ter $n = T_{wc} / T_c = 4$ estações.

$$d = \frac{4(1,0) - 4,0}{4(1,0)} = 0$$

- Se a linha pudesse ser balanceada com pelo menos 5 estações, o atraso no balanceamento seria:

$$d = \frac{5(1,0) - 4,0}{5(1,0)} = 0,20 \text{ ou } 20\%$$

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Ambas as soluções fornecem a **mesma taxa de produção teórica** \Rightarrow entretanto, a segunda solução é menos eficiente porque 1 estação adicional (e por conseguinte um operador adicional) é necessária.
- Uma maneira possível de melhorar a eficiência da linha com **5 estações** \Rightarrow diminuir o **tempo do ciclo T_c** .
 - P.ex. \Rightarrow suponha o **tempo do ciclo = 0,80min**. A medida de ineficiência correspondente seria:

$$d = \frac{5(0,80) - 4,0}{5(0,80)} = 0$$

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Esta solução, se fosse possível, resultaria num **balanceamento perfeito**.
- Apesar de que 5 estações são necessárias, a taxa de produção teórica seria $R_c = 1,25$ unidades/minuto, num aumento na capacidade da taxa de produção em comparação com a linha com 4 estações.
- Percebe-se que existem muitas combinações que resultam num **balanceamento teoricamente perfeito** \Rightarrow cada combinação resulta numa taxa de produção diferente.
- Como já mostrado acima \Rightarrow em geral o atraso de balanceamento será **zero** para quaisquer valores n e T_c que satisfazem a relação

$$nT_c = T_{wc} \quad (21)$$

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Infelizmente \Rightarrow devido às restrições de precedência e aos valores particulares de T_{ej} , um balanceamento perfeito pode não ser atingido para cada combinação nT_c que iguala o tempo total do conteúdo de trabalho.
- A equação acima é uma condição necessária para um balanceamento perfeito, mas não suficiente.
- Como indicado na equação (17) \Rightarrow o valor máximo desejado de T_c é especificado pela **taxa de produção da linha** \Rightarrow portanto, a equação (21) pode ser reescrita para determinar o **número mínimo teórico de estações necessárias** para otimizar o atraso de balanceamento para um dado T_c . Como n é um número inteiro, pode-se escrever:

$$n \geq \text{menor inteiro } \frac{T_{wc}}{T_c} \quad (7)$$

BALANCEAMENTO DE LINHA

- **Métodos de Balanceamento de Linha**

- Métodos heurísticos \Rightarrow baseiam-se na **lógica e bom senso** em vez de numa prova matemática.
- Nenhum desses métodos garante uma solução ótima, mas eles provavelmente levarão a boas soluções que aproximam-se do verdadeiro ótimo.

- ***Método do Maior Candidato***

- Elementos de trabalho são selecionados e atribuídos às estações baseado nos valores de T_e .
- Primeiramente, os elementos de trabalho são rearranjados de acordo com os seus valores de T_e .
- Depois atribui-se os elementos de trabalho às estações, levando em consideração as restrições de precedência.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método do Maior Candidato*

<i>Elemento de trabalho</i>	<i>T_e (min)</i>	<i>Predecessores</i>
3	0,7	1
8	0,6	3,4
11	0,5	9,10
2	0,4	-
10	0,38	5,8
7	0,32	3
5	0,3	2
9	0,27	6,7,8
1	0,2	-
12	0,12	11
6	0,11	3
4	0,1	1,2

*Elementos de trabalho rearranjados de acordo com os valores de T_e
(método do maior candidato)*

BALANCEAMENTO DE LINHA

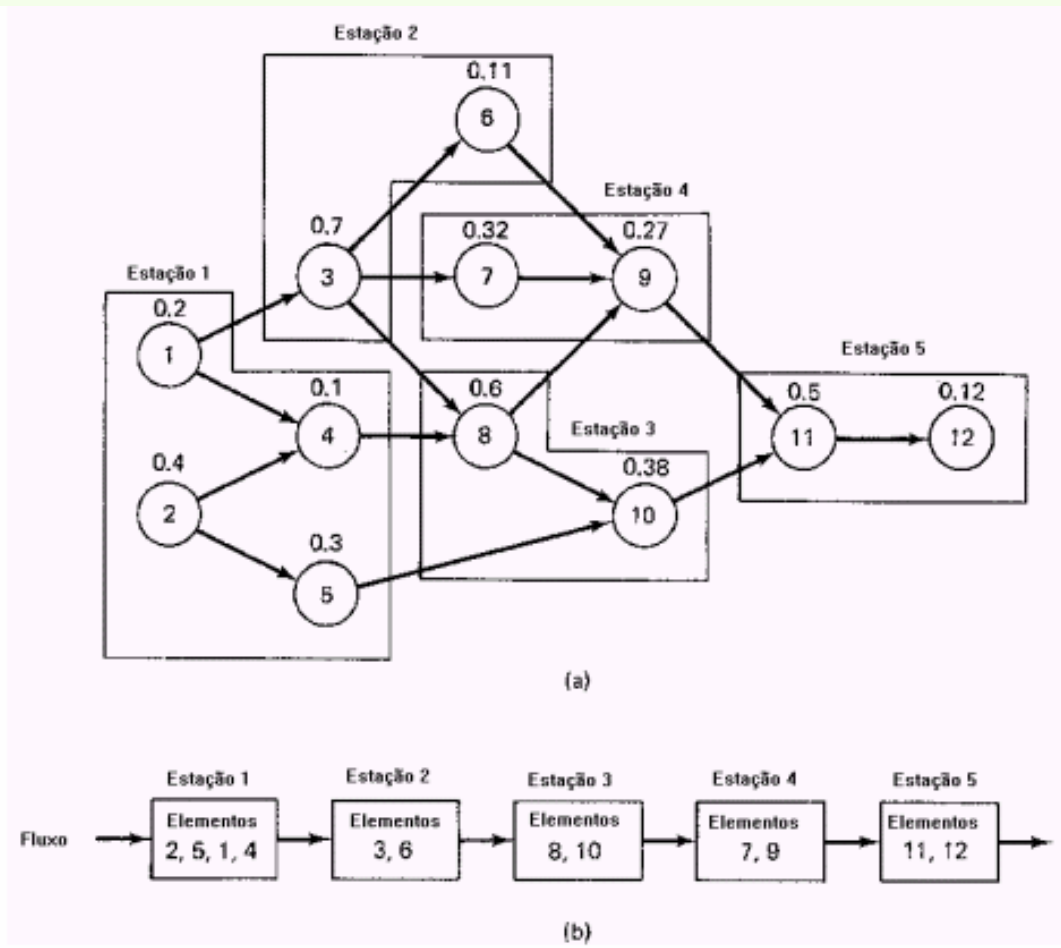
- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método do Maior Candidato*

Estação	Elemento	T_e (min)	ΣT_e na estação
1	2	0,4	1,00
	5	0,3	
	1	0,2	
	4	0,1	
2	3	0,7	0,81
	6	0,11	
3	8	0,6	0,98
	10	0,38	
4	7	0,32	0,59
	9	0,27	
5	11	0,5	0,62
	12	0,11	

Elementos de trabalho atribuídos às estações de acordo com o método do maior candidato

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método do Maior Candidato*



Solução para o problema anterior, de acordo com o método do maior candidato

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método do Maior Candidato*

$$d = \frac{5(1,0) - 4,0}{5(1,0)} = 0,20 \text{ ou } 20\%$$

Atraso de balanceamento

BALANCEAMENTO DE LINHA

- **Métodos de Balanceamento de Linha**
 - *Método de Kilbridge e Wester (Método das Colunas)*
 - Técnica aplicada a várias situações complicadas de balanceamento, com algum sucesso.
 - Seleciona-se os elementos de trabalho para atribuição às estações de acordo com a sua posição no diagrama de precedência.
 - Os elementos na frente do diagrama são selecionados primeiro para a solução.
 - Isto supera algumas dificuldades com o método do maior candidato, com as quais os elementos no fim do diagrama de precedência podem ser os primeiros candidatos a serem considerados, simplesmente porque seus valores T_e são elevados.
 - Ver exemplo a seguir.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método de Kilbridge e Wester*

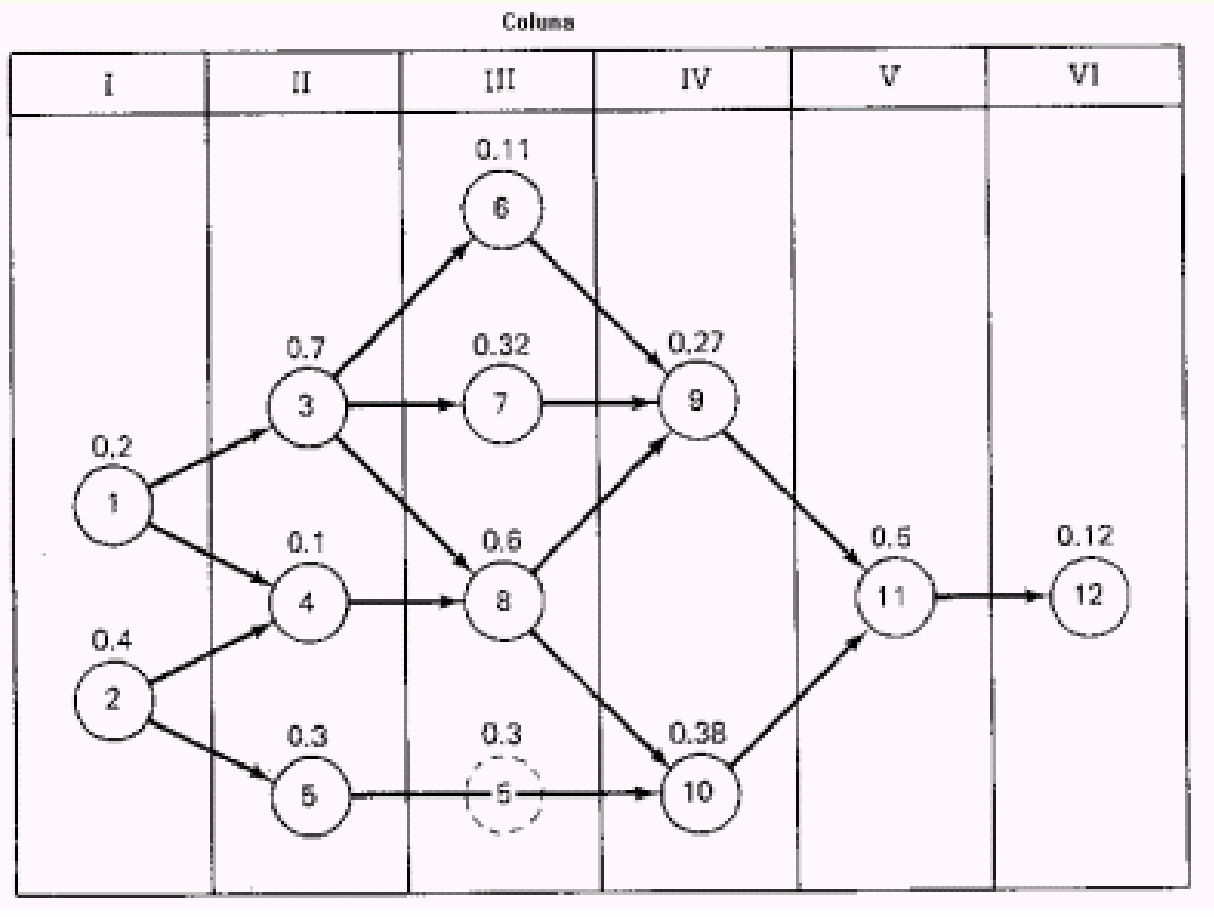


Diagrama de precedência para os dados da tabela do problema anterior

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método de Kilbridge e Wester*

<i>Elemento de trabalho</i>	<i>Coluna</i>	<i>T_e (min)</i>	<i>Soma da coluna T_e s</i>
1	I	0,2	
2	I	0,4	0,6
3	II	0,7	
4	II	0,1	
5	II,III	0,3	1,1
6	III	0,11	
7	III	0,32	
8	III	0,6	1,03
9	IV	0,27	
10	IV	0,38	0,65
11	V	0,5	0,5
12	VI	0,12	0,12

Elementos de trabalho arranjados de acordo com as colunas na figura anterior - Método de Kilbridge e Wester

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método de Kilbridge e Wester*

<i>Estação</i>	<i>Elemento</i>	<i>T_e (min)</i>	<i>ΣT_e na estação</i>
1	1	0,2	1,00
	2	0,4	
	4	0,1	
	5	0,3	
2	3	0,7	0,81
	6	0,11	
3	7	0,32	0,92
	8	0,6	
4	9	0,27	0,65
	10	0,38	
5	11	0,5	0,62
	12	0,12	

Elementos de trabalho atribuídos às estações de acordo com o método de Kilbridge e Wester

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método do Pesos Posicionais (RPW)*
 - O valor de **peso posicional (RPW)** é calculado para cada elemento.
 - O **RPW** leva em consideração tanto o valor de T_e de cada elemento, como a sua posição no diagrama de precedência.
 - Então \Rightarrow os elementos são atribuídos às estações na ordem decrescente dos valores de RPW (ver tabelas seguintes).

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método do Pesos Posicionais (RPW)*

Elemento	RPW	T_e (min)	Predecessores
1	3,30	0,2	-
3	3,00	0,7	1
2	2,67	0,4	-
4	1,97	0,1	1,2
8	1,87	0,6	3,4
5	1,30	0,3	2
7	1,21	0,32	3
6	1,00	0,11	3
10	1,00	0,38	5,8
9	0,89	0,27	6,7,8
11	0,62	0,5	9,10
12	0,12	0,12	11

Elementos de trabalho arranjados de acordo com os valores de RPW no método dos pesos posicionais (RPW)

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método dos Pesos Posicionais (RPW)*

Estação	Elemento	T_e (min)	ΣT_e na estação
1	1	0,2	0,9
	3	0,7	
2	2	0,4	0,91
	4	0,1	
	5	0,3	
	6	0,11	
3	8	0,6	0,92
	7	0,32	
4	10	0,38	0,65
	9	0,27	
5	11	0,5	0,62
	12	0,12	

Elementos de trabalho atribuídos às estações de acordo com o método dos pesos posicionais (RPW)

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Método do Pesos Posicionais (RPW)*

$$d = \frac{5(0,92) - 4,0}{5(0,92)} = 0,13 = 13\%$$

Atraso de balanceamento “d”

- A solução resultante do método RPW representa uma atribuição mais eficiente dos elementos de trabalho às estações, comparado com os outros dois métodos.
- Entretanto \Rightarrow deve-se notar que foi aceito um tempo do ciclo diferente daquele originalmente especificado para o problema considerasse $T_c = 0,92$ minutos, aplicando-se os dois primeiros métodos, poderia ser atingida a mesma eficiência do método RPW.

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha

- Método COMSOAL → “*Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines*” – *Chrysler Corporation*

- Passo 1: Construir lista A:



<i>Elemento</i>	<i>Número de predecessores imediatos</i>
1	0
2	0
3	1
4	2
5	1
6	1
7	1
8	2
9	3
10	2
11	2
12	1

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - Método COMSOAL

- Passo 2: Construir lista B:

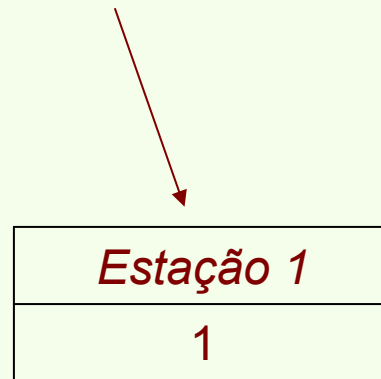
*Elementos sem
predecessores
imediatos*

1

2

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - Método COMSOAL
 - Passo 3: Selecionar aleatoriamente um dos elementos da lista B (por exemplo, elemento “1”), e movê-lo para a estação (cuidando para que o somatório do tempo na estação não seja superior ao tempo de ciclo)



BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - Método COMSOAL

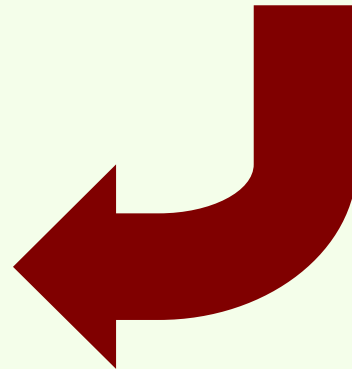
- Passo 4: Eliminar o elemento selecionado no passo 3 das listas A e B, e atualizar as duas listas, se necessário.

<i>Elementos sem predecessores imediatos</i>
2
3

<i>Elemento</i>	<i>Número de predecessores imediatos</i>
2	0
3	0
4	1
5	1
6	1
7	1
8	2
9	3
10	2
11	2
12	1

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - Método COMSOAL
 - Passo 5: Vá para o passo 3.



BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - Método COMSOAL

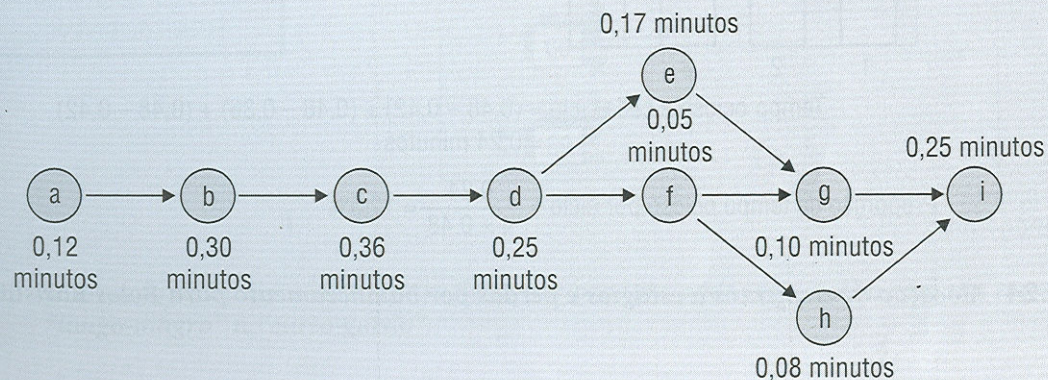
<i>Estação</i>	<i>Elemento</i>	<i>Te (minutos)</i>	<i>Ts (minutos)</i>
1	1	0,2	1,0
	2	0,4	
	5	0,3	
	4	0,1	
2	3	0,7	0,81
	6	0,11	
3	8	0,6	0,98
	10	0,38	
4	7	0,32	0,59
	9	0,27	
5	11	0,5	0,62
	12	0,12	

BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Outro exemplo*

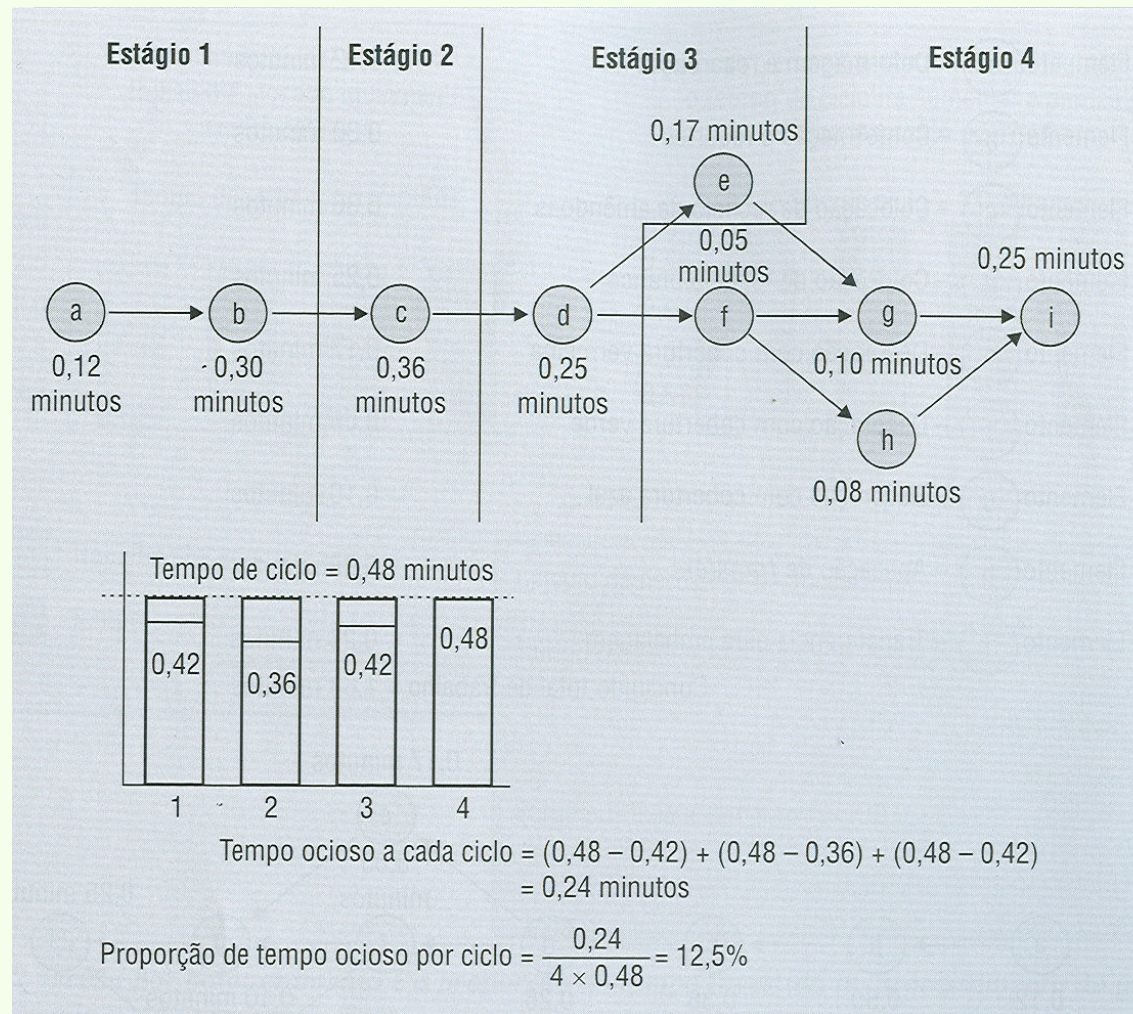
Elemento (a)	– Deformagem e rebarbação	0,12 minutos
Elemento (b)	– Conformação e recortes	0,30 minutos
Elemento (c)	– Colocação de recheio de amêndoas	0,36 minutos
Elemento (d)	– Colocação de recheio branco	0,25 minutos
Elemento (e)	– Decoração com cobertura vermelha	0,17 minutos
Elemento (f)	– Decoração com cobertura verde	0,05 minutos
Elemento (g)	– Decoração com cobertura azul	0,10 minutos
Elemento (h)	– Aplicação de <i>transfers</i>	0,08 minutos
Elemento (i)	– Transferência para embalagem	<u>0,25 minutos</u>

Concluído total de trabalho = 1,68 minutos



BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
 - *Outro exemplo*



BALANCEAMENTO DE LINHA

Applet para determinar o balanceamento de uma linha:

www.grima.ufsc.br/software/Balance/Balance.html