



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO

# Gestão das peças de reposição

2024

# Organização da Apresentação

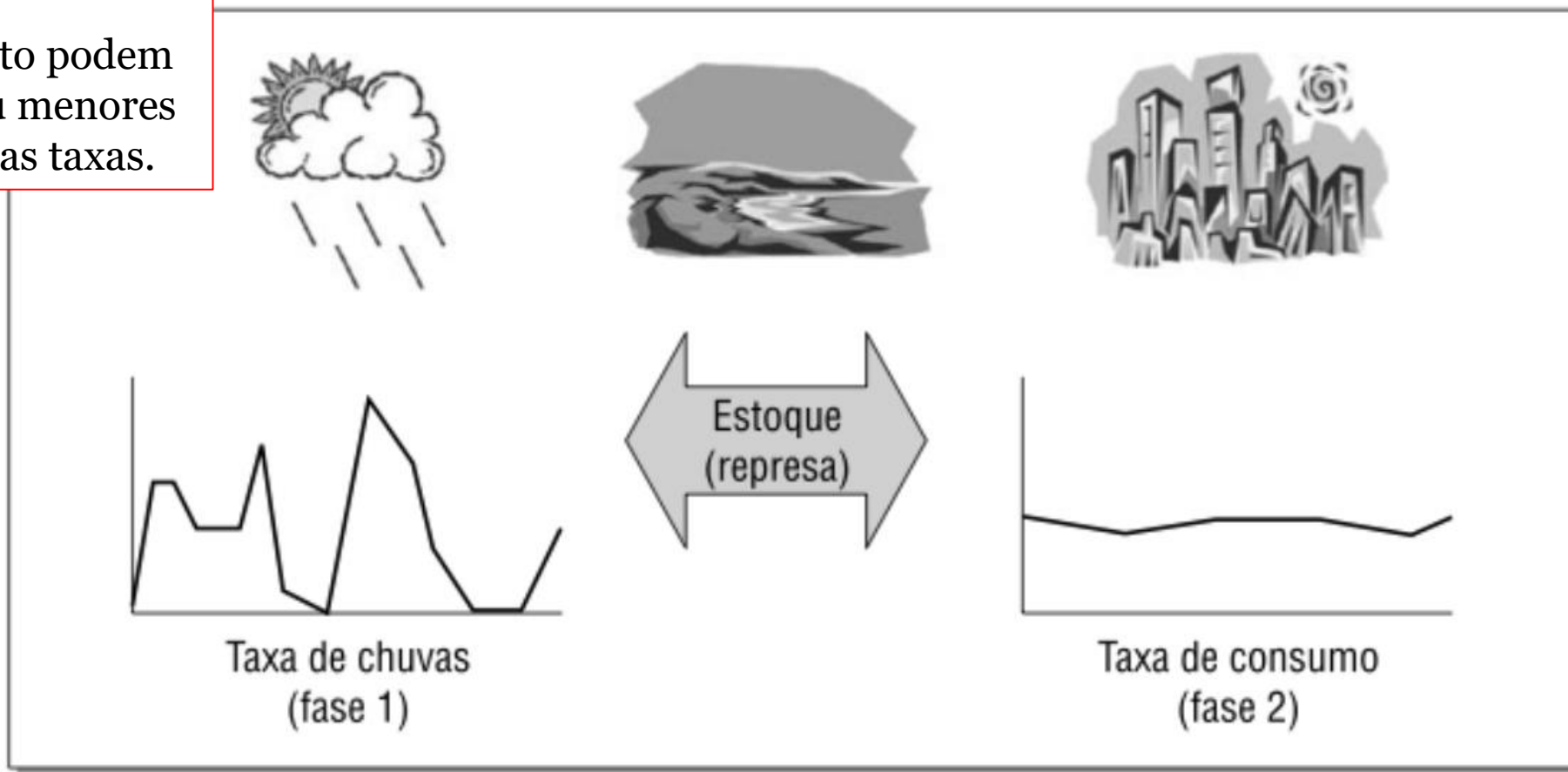
- Introdução
- Classificação das peças de reposição
- Políticas de Controle de Estoque
  - Demanda e Lead-time conhecidos e constantes
  - Demanda e Lead-time aleatórios
- Referências

# Introdução

# Introdução

- Os estoques podem ter um funcionamento análogo ao de uma represa.

Os níveis de armazenamento podem ser maiores ou menores dependendo das taxas.



# Introdução

- Apesar de não agregarem valor econômico aos produtos do sistema produtivo, estoques são criados para absorver diferentes problemas.
- Alguns deles, como a sazonalidade e variações aleatórias, são insolucionáveis.
- Outros como o atraso na entrega de matérias-primas ou a produção de itens defeituosos podem ser resolvidos.

# Introdução

- Tipos de estoques estabelecidos em sistemas produtivos:
  - Matérias-primas;
  - Itens comprados de terceiros;
  - Produtos semiacabados;
  - Produtos acabados;
  - Ferramentas e dispositivos para as máquinas;
  - Peças de reposição para manutenção.

# Introdução

- No contexto dos sistemas produtivos, as funções dos estoques são as seguintes:
  - Garantir a independência entre etapas produtivas
  - Permitir uma produção constante
  - Possibilitar o uso de lotes econômicos
  - Reduzir os lead times produtivos
  - Colocar segurança no sistema produtivo
  - Obter vantagens de preço



Estoques amortecedores para se proteger de:

- Atrasos de fornecedores
- Quebras de máquinas
- Interrupção na produção

# Introdução

- No contexto dos sistemas produtivos, as funções dos estoques são as seguintes:
  - Garantir a independência entre etapas produtivas
  - Permitir uma produção constante
  - Possibilitar o uso de lotes econômicos
  - Reduzir os lead times produtivos
  - Colocar segurança no sistema produtivo
  - Obter vantagens de preço



Em caso de:

- Flutuações de demanda
- Var. de disponibilidade de matéria-prima.



# Introdução

- No contexto dos sistemas produtivos, as funções dos estoques são as seguintes:
  - Garantir a independência entre etapas produtivas
  - Permitir uma produção constante
  - Possibilitar o uso de lotes econômicos
  - Reduzir os lead times produtivos
  - Colocar segurança no sistema produtivo
  - Obter vantagens de preço



Em caso de:

- Produção ou movimentação econômica de lotes maiores do que a necessidade imediata, gerando excedente que precisa ser administrado.

# Introdução

- No contexto dos sistemas produtivos, as funções dos estoques são as seguintes:
  - Garantir a independência entre etapas produtivas
  - Permitir uma produção constante
  - Possibilitar o uso de lotes econômicos
  - Reduzir os lead times produtivos
  - Colocar segurança no sistema produtivo
  - Obter vantagens de preço



Por meio da retirada imediata de:

- Matéria-prima;
- Produtos semiacabados;
- Peças reposição para manutenção.

# Introdução

- No contexto dos sistemas produtivos, as funções dos estoques são as seguintes:
  - Garantir a independência entre etapas produtivas
  - Permitir uma produção constante
  - Possibilitar o uso de lotes econômicos
  - Reduzir os lead times produtivos
  - Colocar segurança no sistema produtivo
  - Obter vantagens de preço

Por meio de estoques protetores que permitem absorver:

- Variações aleatórias de demanda;
- Manutenção inesperadas;
- Atrasos de fornecedores, produção e manutenção.

# Introdução

- No contexto dos sistemas produtivos, as funções dos estoques são as seguintes:
    - Garantir a independência entre etapas produtivas
    - Permitir uma produção constante
    - Possibilitar o uso de lotes econômicos
    - Reduzir os lead times produtivos
    - Colocar segurança no sistema produtivo
    - Obter vantagens de preço
- Por meio de:

  - prevenção de aumento de preços de matérias-primas;
  - Compras em quantidades superiores as necessárias;
  - Manutenção dos produtos acabados em estoque para vendê-los com preços mais altos.

# Introdução

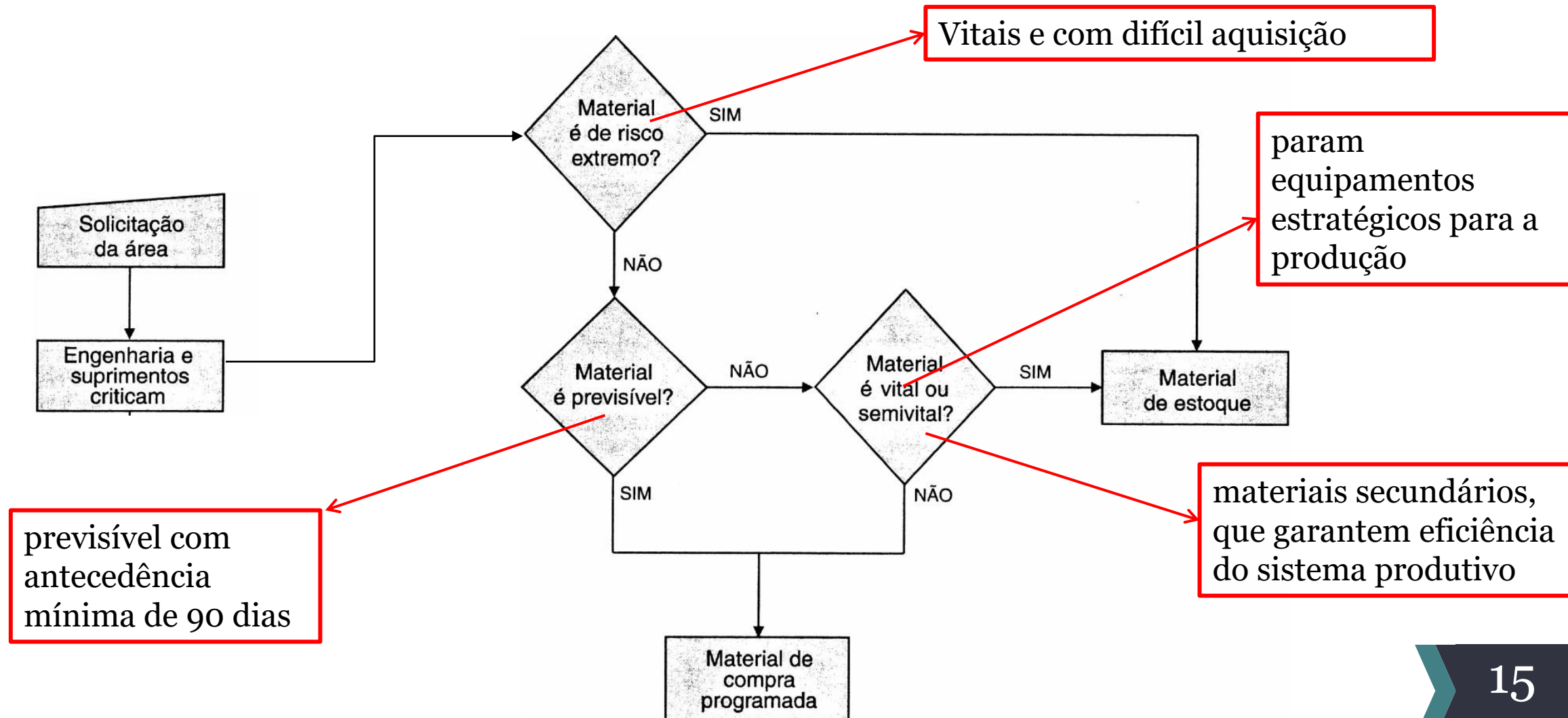
- No contexto do departamento de manutenção, por sua vez, o objetivo dos estoques (peças de reposição) é:
- Proteger contra longos períodos de inatividade para manutenção de equipamentos com falhas aleatórias, por meio da prevenção da proteção contra atrasos de fornecedores, quebras de máquinas e interrupção na produção.

# Introdução

- Apesar dessa importância, um dimensionamento incorreto pode causar grande prejuízos, levando a grandes custos relacionados ao estoque dessas peças.
- Por isso, não é possível manter peças de reposição para todos os componentes propensos a falhas.

# Introdução

- Seguindo uma abordagem simplificada proposta por Xenos [1], temos:



# Introdução

- Características das peças de reposição citadas por Diallo et al. [2]:
  - são projetadas para uso específico em equipamentos críticos do sistema produtivo;
  - seu consumo é altamente aleatório;
  - seus prazos de reposição são variáveis e frequentemente desconhecidos;
  - podem estar sujeitas à obsolescência ou degradação enquanto em estoque, e também são difíceis de revender.



# Introdução

- Segundo Diallo et al. [2], normalmente, as empresas compram suas peças de reposição diretamente do fabricante original do equipamento, que nem sempre é facilmente acessível.
- Ainda de acordo com Diallo et al. [2], os kits de peças de reposição são geralmente estabelecidos com base no conhecimento e na experiência do fabricante e podem ser tendenciosos por interesses comerciais.

# Introdução

- O objetivo deste capítulo é propor uma abordagem básica de gerenciamento de estoque de peças de reposição para sistemas multicomponentes sujeitos a falhas aleatórias.
- Tal abordagem será apresentada por meio dos tópicos discutidos a seguir.

# Classificação das peças de reposição

# Classificação das peças

- O processo de identificação de peças de reposição geralmente é iniciado a partir de considerações técnicas. No entanto, a eficiência desse processo é afetada pela quantidade e qualidade das informações disponíveis de vida útil.
- No estágio de aquisição do equipamento, não há histórico de informação para o comprador. Portanto, as decisões de fornecimento de peças de reposição são baseadas nas informações dos kits sugeridos pelos fabricantes, nas taxas de falha de equipamentos semelhantes e nas estimativas de especialistas (abordagens qualitativas).

# Classificação das peças

- Quando há histórico dos dados de vida útil para um componente, uma função de probabilidade pode ser determinada:

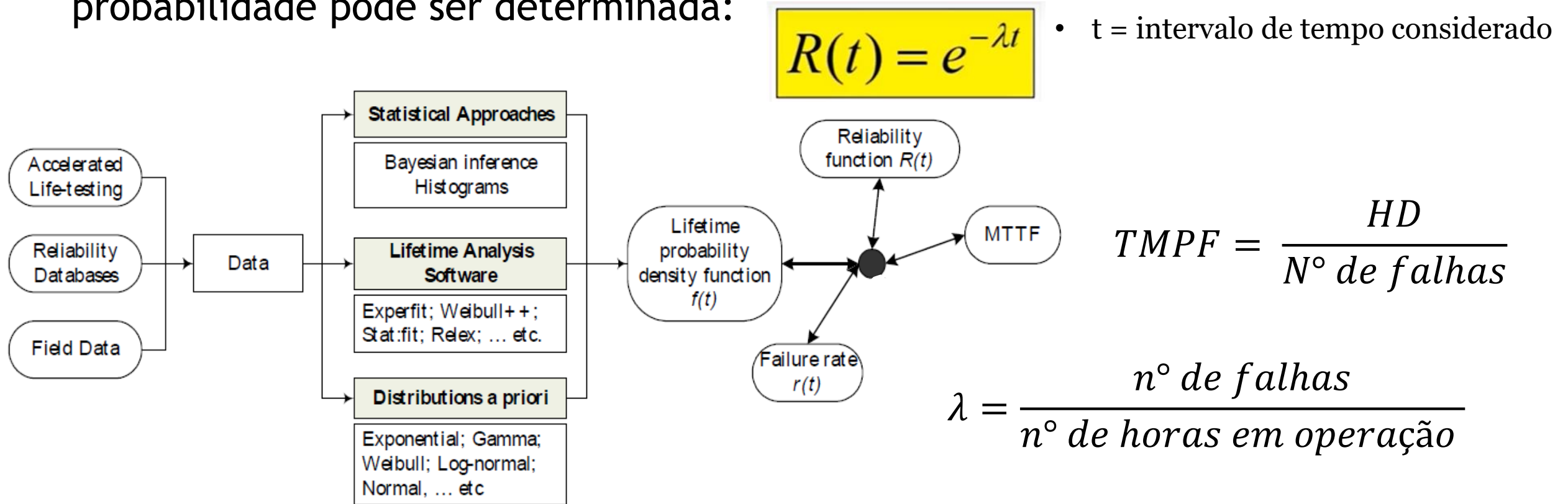


Figure 9.1. Failure data processing diagram

# Classificação das peças

- Uma vez que os componentes a serem estocados são selecionados (slide 15), uma lista de potenciais peças de reposição é obtida.
- Essas peças são então classificadas por meio de uma classificação de Pareto ou método multicritério considerando critérios técnicos, econômicos e operacionais.
- Independentemente do método usado, recomenda-se limitar o número de classes de três a cinco.

# Classificação ABC dos Estoques

- A classificação ABC, ou curva de Pareto, é um método de diferenciação dos estoques segundo sua maior ou menor abrangência em relação a determinado fator, consistindo em separar os itens por classes de acordo com sua importância relativa.
- Os itens de maior importância devem ter um controle mais rígido, o que pode ser alcançado por:
  - Determinação exata dos custos de armazenagem e reposição;
  - Atualização constante dos dados;
  - Maior acuracidade durante a previsão de demanda e nos estoques de segurança.

# Classificação ABC dos Estoques

- Fatores que podem ser considerados:
  - Demanda valorizada, que é a quantidade de demanda vezes o custo unitário do produto (**mais utilizado**);
  - Por peso;
  - Por volume;
  - Por volume financeiro investido em estoque;
  - Por número de reposições por período.



# Classificação ABC dos Estoques

- Podemos elaborar a classificação ABC por demanda valorizada empregando a seguinte rotina:
  1. Calcula-se a demanda valorizada de cada item, multiplicando a demanda pelo custo unitário do item;
  2. Colocam-se os itens em ordem decrescente de valor de demanda valorizada;
  3. Calcula-se a demanda valorizada total dos itens;
  4. Calculam-se os % da demanda valorizada de cada item em relação a demanda valorizada total, podendo calcular também os % acumulados;
  5. Em função de critérios de decisão, estabelecem-se as classes A, B e C, ou quantas quisermos.

# Classificação ABC dos Estoques

- O critério para escolha das faixas é uma questão pessoal do analista.
- Wireman [7] recomenda as seguintes faixas:

**A-B-C ANALYSIS**

- **A items are**
  - 20% of the stock items
  - 80% of the total inventory value
- **B items are**
  - 30% of the stock items
  - 15% of the total inventory value
- **C items are**
  - 50% of the stock items
  - 5% of the total inventory value

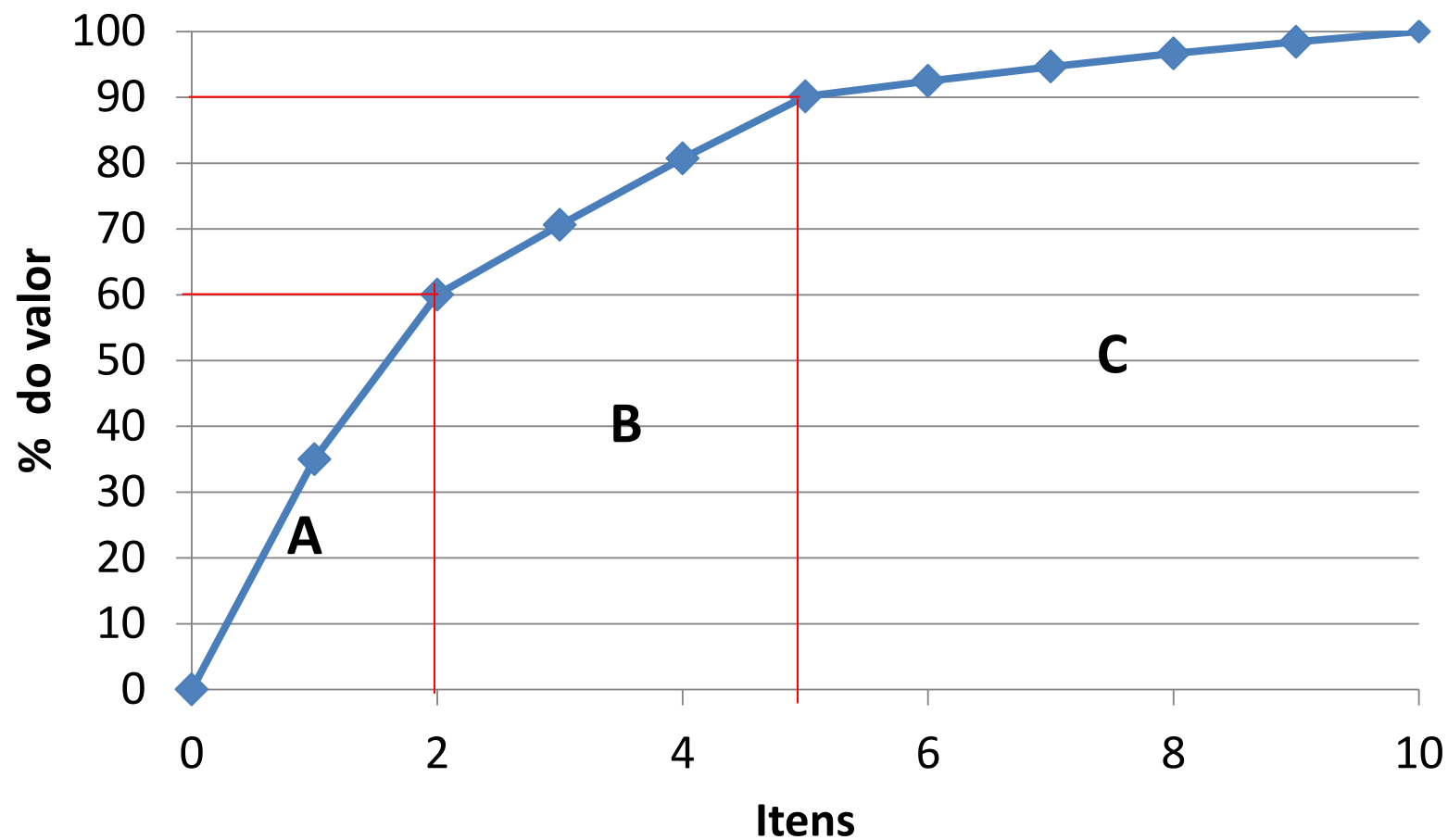
# Exercício 1

- Considerando os seguintes itens, realize uma classificação utilizando o Gráfico de Pareto.

Item	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Demanda anual	9000	4625	1075	15000	59500	16000	10000	4250	13500	1000
Custo unitário	10	4	80	1	5	5	2	50	1	17

Ordem	Item	Dem.	Cust.	Dem. Val.	DV (%)	DV Acu.	% Acu.	Classe
1	X5	59500	5	297500	35,0	297500	35,0	A
2	X8	4250	50	212500	25,0	510000	60,0	A
3	X1	9000	10	90000	10,6	600000	70,6	B
4	X3	1075	80	86000	10,1	686000	80,7	B
5	X6	16000	5	80000	9,4	766000	90,1	B
6	X7	10000	2	20000	2,4	786000	92,5	C
7	X2	4625	4	18500	2,2	804500	94,6	C
8	X10	1000	17	17000	2,0	821500	96,6	C
9	X4	15000	1	15000	1,8	836500	98,4	C
10	X9	13500	1	13500	1,6	850000	100,0	C
TOTAL				850000	100			

# Exemplo 1



# Políticas de Controle de Estoque

# Políticas de Controle de Estoque

- Diallo et al.[2] citam que o principal objetivo de uma análise de estoque é responder três perguntas:
  1. Com que frequência o status do depósito deve ser determinado?
  2. Quando o item deve ser pedido para reposição (instante do pedido)? e
  3. Quanto do item deve ser solicitado no instante do pedido (quantidade do pedido)?

# Políticas de Controle de Estoque

- Para encontrar respostas, torna-se necessário conhecer:
  1. A importância (ou criticidade) de cada item em consideração;
  2. Se o depósito precisa ser verificado continuamente ou periodicamente;
  3. A política adotada; e
  4. As metas e os custos do nível de serviço.

# Políticas de Controle de Estoque

- Como as peças de reposição não têm a mesma importância (ou criticidade) e os recursos financeiros são limitados, torna-se necessário o uso de um método de classificação.
- Em geral, uma classificação do tipo A-B-C é usada, sendo que os itens A possuem políticas de controle mais rigorosas e têm prioridade sobre os itens B e C.



# Políticas de Controle de Estoque

- O tomador de decisão tem que escolher entre as estratégias de revisão contínua e periódica. Na revisão contínua, o nível de estoque é "quase" sempre conhecido. Na revisão periódica, por sua vez, o nível de estoque é determinado em instantes pré-determinados  $kR$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ).
- A principal vantagem da revisão contínua é que requer menor estoque de segurança (portanto, menores custos de manutenção) do que a revisão periódica, para fornecer o mesmo nível de serviço.

# Políticas de Controle de Estoque

- Os principais parâmetros dos sistemas gestão de estoque são:
  - o ponto de pedido ( $s$ );
  - o nível de pedido até um certo valor ( $S$ );
  - o período de revisão ( $R$ );
  - e a quantidade econômica do pedido ( $Q^*$  ou economical order quantity - EOQ).

# Políticas de Controle de Estoque

- De acordo com a classificação da peça e da natureza de revisão, pode ser escolhido um sistema adequado:

**Table 9.4.** Inventory control system selection guide

Classification	Continuous review	Periodic review
A items	$(S-1, S)$ or $(s, Q)$	$(R, s, S)$
B items	$(s, Q)$	$(R, S)$
C items	$(s, S)$ or EOQ	$(R, S)$ or EOQ

# Políticas de Controle de Estoque

- Os modelos de controle de estoque também levam em conta as características das peças de reposição, tais como lead-time, demanda (conhecida e cte ou aleatória), riscos de escassez e obsolescência.
- Para cada caso considerado, as expressões do custo total, o ponto de pedido e a quantidade a ser pedida são fornecidas.

# Demanda e Lead-time conhecidos e constantes (Modelo EOQ)

# Políticas de Controle de Estoque

**Table 9.4.** Inventory control system selection guide

Classification	Continuous review	Periodic review
A items	$(S - 1, S)$ or $(s, Q)$	$(R, s, S)$
B items	$(s, Q)$	$(R, S)$
C items	$(s, S)$ or EOQ	$(R, S)$ or EOQ

# Modelo EOQ

- Nesse caso, procura-se definir o tamanho dos lotes de compra, que é obtida através da análise dos custos que estão envolvidos no sistema de reposição e de armazenagem dos itens.
- O melhor lote de reposição, chamado de “lote econômico”, é aquele que minimiza os custos totais.
- A seguir vamos conferir o comportamento desses custos e quais variáveis influenciam.

# Custos relacionados ao tamanho do lote

- Há três componentes de custos associados ao processo de reposição e armazenagem dos itens:
  - Os custos diretos;
  - Os custos de preparação para reposição;
  - Os custos de manutenção de estoque.



# Custos relacionados ao tamanho do lote

## CUSTOS DIRETOS (CD)

- É incorrido diretamente com a compra do item.
- É proporcional à demanda e aos custos unitários do item (de compra).

$$CD = D \times C$$

- $D$  = demanda do item para o período.
- $C$  = custo unitário de compra do item.

# Custos relacionados ao tamanho do lote

## CUSTOS DE PREPARAÇÃO (CP)

- São todos aqueles referentes ao processo de reposição do item pela compra do lote de itens.
- Exemplos: mão de obra para emissão e processamento das ordens de compra; materiais e equipamentos para a confecção de ordens; custos indiretos de compras ou do PCP para a confecção das ordens (água, luz, telefone etc.).

# Custos relacionados ao tamanho do lote

## CUSTOS DE PREPARAÇÃO (CP)

$$CP = N \times A = D / Q \times A$$

$$\text{Pois, } N = D / Q$$

- $N$  = número de pedidos de compra no período.
- $A$  = custo unitário de preparação.
- $D$  = demanda do item para o período.
- $Q$  = tamanho do lote de reposição.

# Custos relacionados ao tamanho do lote

## CUSTOS DE PREPARAÇÃO (CP)

- O custo unitário de preparação (A) pode ser feito de forma simplificada para grande maiorias dos itens comprados, dividindo os custos totais do departamento de compras num período pelo número de ordens emitidas no mesmo período.

# Custos relacionados ao tamanho do lote

## CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE ESTOQUES (CM)

- É incorrido pela necessidade de manter estoques no período.
- Exemplos: mão de obra para armazenagem e movimentação dos itens, aluguel, luz, seguro, telefone, sistemas e equipamentos para armazenagem e movimentação dos itens, custo do capital investido.

# Custos relacionados ao tamanho do lote

## CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE ESTOQUES (CM)

$$CM = Q_m \times C \times I$$

- $Q_m$  = estoque médio do período.
- $C$  = custo unitário de compra ou fabricação do item.
- $I$  = taxa de encargos financeiros sobre estoque.

# Custos relacionados ao tamanho do lote

## CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE ESTOQUES (CM)

- O valor de  $I$  (taxa de encargos financeiros sobre estoque) é dada em %, podendo ser estimada pela divisão dos custos totais que incidem sobre a manutenção dos estoques no sistema produtivo pelo valor do estoque médio no período.
- Considerando que a entrega do lote no período é feita de uma só vez, ou seja, com entregas totais, temos que:

$$Q_m = \frac{Q}{2}$$

# Custos relacionados ao tamanho do lote

## CUSTO TOTAL (CT) do Sistema produtivo

$$CT = CD + CP + CM$$

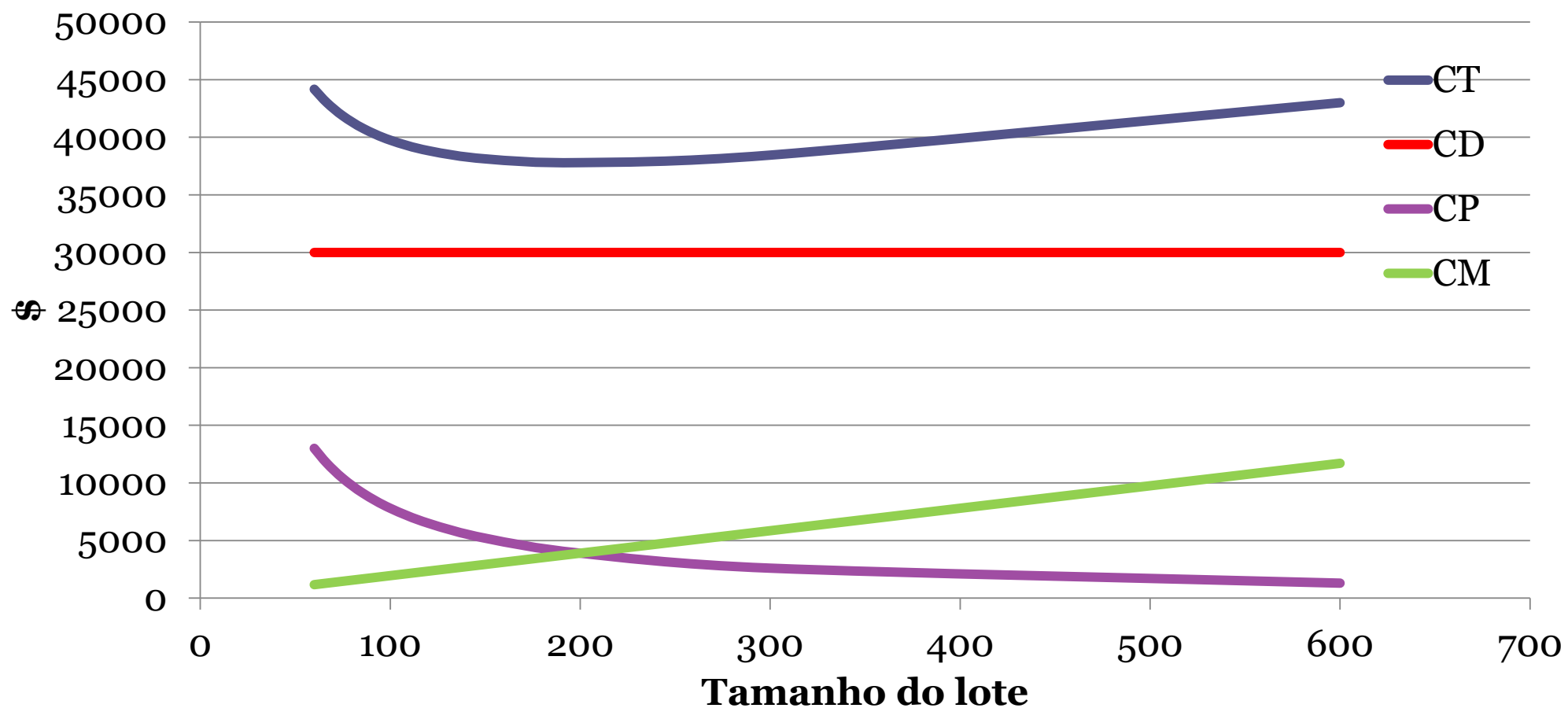
- CD = custo direto do período.
- CP = custo de preparação do período.
- CM = custo de manutenção de estoque do período.



## Exercício 2

- Um comerciante vende máquinas fotográficas que são compradas em Manaus com o custo de \$ 50/máquina. Em cada viagem se gasta \$ 1.300 (A), independentemente da quantidade trazida. A demanda anual das máquinas é de 600 unidades, e sobre o capital empatado se paga uma taxa de 78% ao ano.
- Quantas viagens o comerciante deve fazer por ano? Qual o tamanho do lote a ser comprado em cada viagem?

## Exercício 2



# Modelo EOQ

CUSTO TOTAL (CT) do Sistema produtivo

$$CT = CD + CP + CM$$

$$CT = D \times C + D/Q \times A + Q_m \times C \times I$$

- Conforme menciona Tubino [3], o ponto mínimo da curva de CT pode ser obtido pela derivação da equação da curva em relação à quantidade, igualando-se a zero e isolando a variável desejada (Q).

# Modelo EOQ

- Lote de reposição que leva ao CT mínimo, ou seja, o lote econômico ( $Q^*$ ):

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot A}{C \cdot I}}$$

- Como  $N = D/Q$ , temos um número de pedidos econômico ( $N^*$  - frequência econômica) e o período econômico ( $T^* = 1/N^*$ ):

$$N^* = \sqrt{\frac{D \cdot C \cdot I}{2 \cdot A}}$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2A}{D \cdot C \cdot I}}$$

# Modelo EOQ

- Considerando os dados do exercício 2, temos:

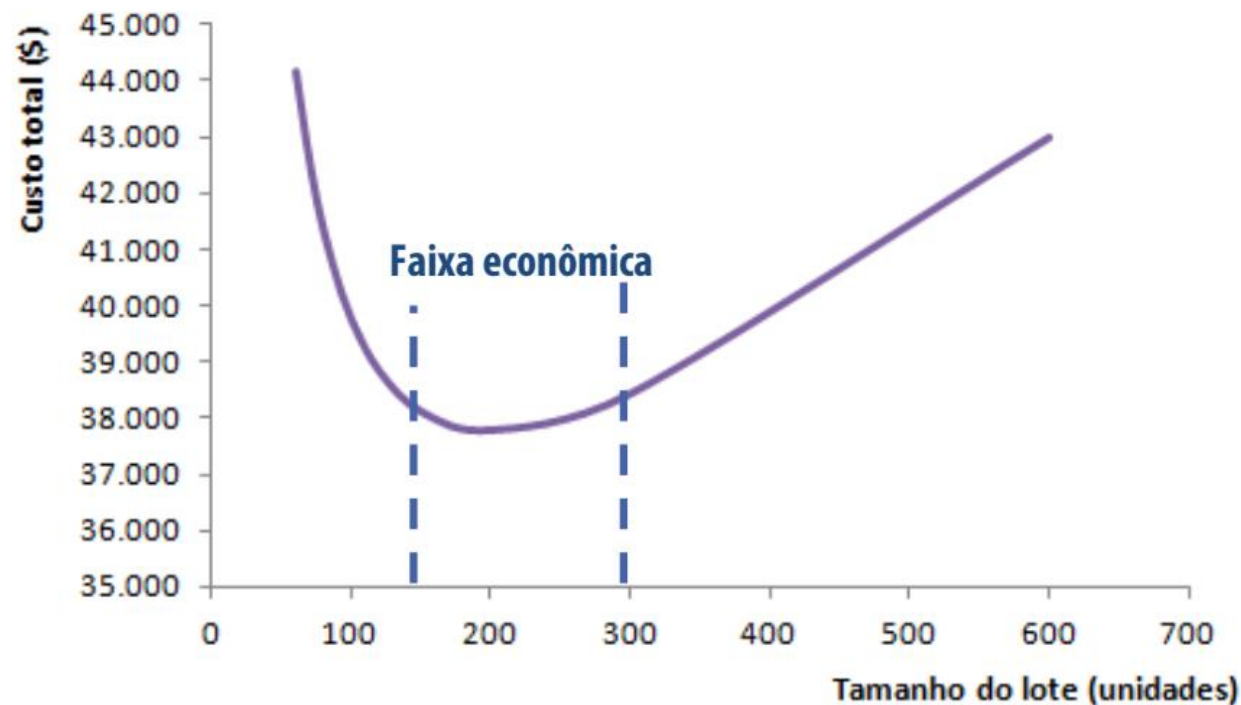
$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot A}{C \cdot I}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 1300}{50 \cdot 0,78}} = 200 \text{ unidades por reposição}$$

$$N^* = \sqrt{\frac{D \cdot C \cdot I}{2 \cdot A}} = \sqrt{\frac{600 \cdot 50 \cdot 0,78}{2 \cdot 1300}} = 3 \text{ reposições por ano}$$

# Considerações sobre o lote econômico

- Há várias fórmulas para o cálculo de lotes econômicos para diversas situações.
- Basta desenvolver uma equação de custos representativa da situação e determinar o ponto de mínimo em termos da quantidade ou à periodicidade de reposição.
- Ao avaliar a curva de CT é nítida uma pequena variação em termos do mínimo, ou seja, se o lote repostado for um pouco maior ou menor do que o ideal, a variação de CT não será grande.

# Considerações sobre o lote econômico



Viagens	Lote	CD	CP	CM	CT	DCT	%DCT	DLote	%DLote
1	600	30.000	1.300	11.700	43.000	5.200	13,76	400	200,00
2	300	30.000	2.600	5.850	38.450	650	1,72	100	50,00
3	200	30.000	3.900	3.900	37.800	0	0,00	0	0,00
4	150	30.000	5.200	2.925	38.125	325	0,86	-50	-25,00
10	60	30.000	13.000	1.170	44.170	6.370	16,85	-140	-70,00

# Considerações sobre o lote econômico

- Logo, a teoria do lote econômico deve ser entendida como a busca por uma “faixa econômica”.
- Até porque problemas práticos podem impedir que o PCP programe exatamente o valor encontrado.



# Considerações sobre o lote econômico

- Exemplos de problemas práticos:
  - Dificuldade de levantar as variáveis (A, I, D, C);
  - Logística de movimentação ou armazenagem impede o uso da valor exato;
  - Proporcionalidade do Produto acabado não se encaixa no valor exato do lote.

# Demanda e Lead-time aleatórios

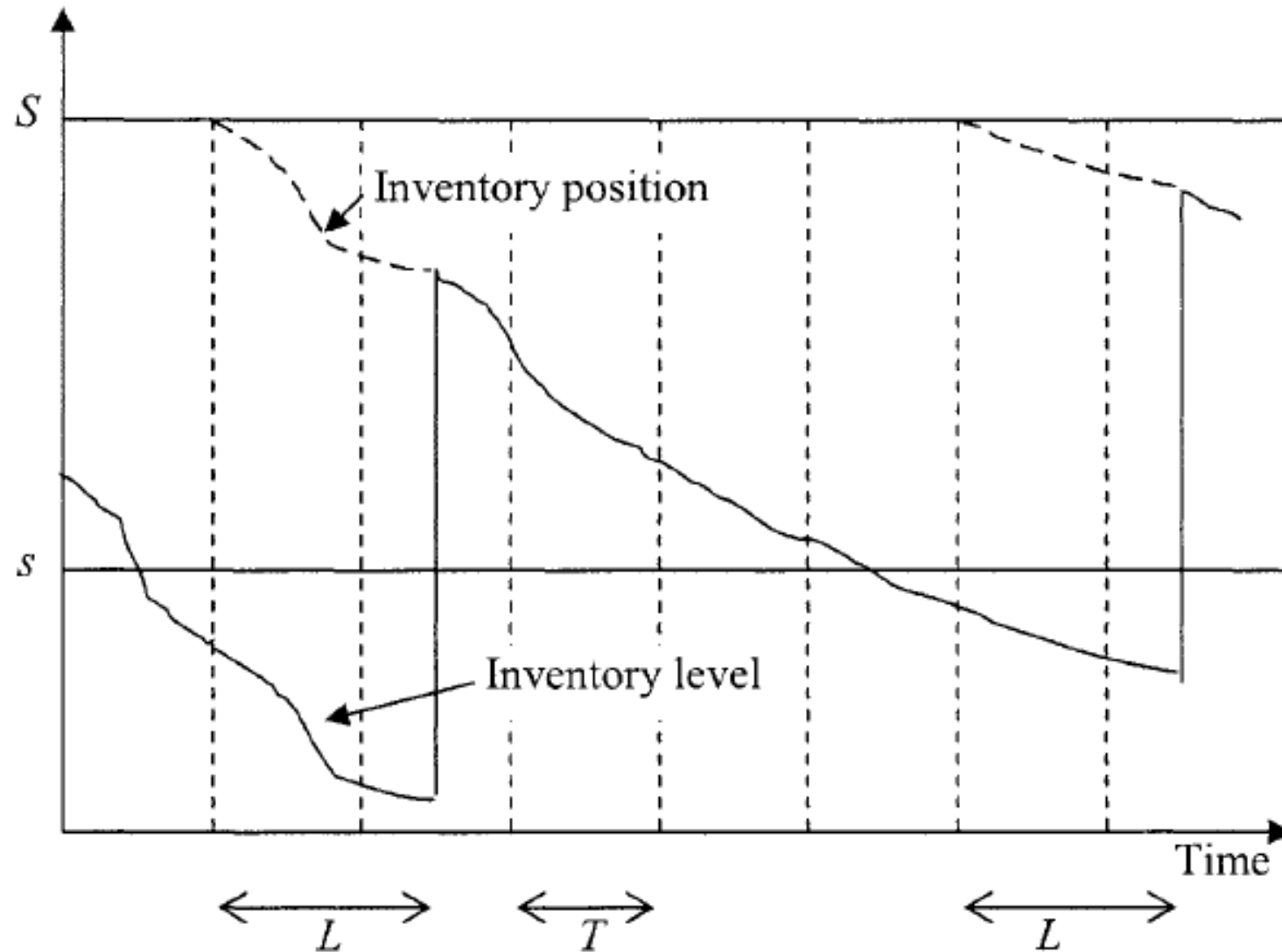
# Demanda e Lead-time aleatórios

- Muitos sistemas de controle de estoque foram propostos.
  - Sistemas de revisão contínua:
    - Política  $(s,Q)$ : quando o nível de estoque atinge  $s$ ,  $Q$  unidades são pedidas;
    - Política  $(s,S)$ : quando o nível de estoque se torna igual ou menor que  $s$ , peça até  $S$ ;
    - Política  $(S-1,S)$ : cada vez que um item é retirado do estoque, um pedido é feito para trazer a posição do estoque de volta para  $S$ .

# Demanda e Lead-time aleatórios

- Muitos sistemas de controle de estoque foram propostos.
  - Sistemas de revisão periódica:
    - Política (S,R): para cada tempo de revisão  $kR$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ), uma quantidade suficiente é pedida para trazer o nível de estoque para S;
    - Política (s,S,R): se, no tempo de revisão  $kR$ , o nível de estoque for menor ou igual a s, uma quantidade suficiente é pedida para trazer o nível de estoque até S; caso contrário, nenhum pedido é feito.

$(s, S, R)$



# Demanda e Lead-time aleatórios

- A política  $(S-1, S)$  será apresentada na sequência. Para as outras políticas, pode-se recorrer à [5-6].

**Table 9.4.** Inventory control system selection guide

Classification	Continuous review	Periodic review
A items	$(S-1, S)$ or $(s, Q)$	$(R, s, S)$
B items	$(s, Q)$	$(R, S)$
C items	$(s, S)$ or EOQ	$(R, S)$ or EOQ

# S-1, S

- Esta política de estoque (S-1,S), também chamada de estoque base, é muito útil no controle de estoque de itens A e particularmente para peças de reposição caras com vida útil maior que o lead-time de reposição.
- Ela opera da seguinte forma: S peças de reposição são mantidas em estoque e demandas aleatórias independentes, devido à substituição em caso de falha, chegam a uma taxa de  $\lambda$  por unidade de tempo.

# S-1, S

- Após cada solicitação de peça de reposição, uma unidade de reposição é encomendada. O lead-time de reposição tem uma distribuição de probabilidade geral com média  $\tau$ .
- Se o estoque nominal  $S$  for esgotado antes que as substituições sejam recebidas, um custo de penalidade  $L$  é incorrido para cada demanda que deve ser atendida por um pedido de emergência ou perda devido à escassez. Um custo de manutenção  $h$  por unidade de tempo é incorrido para cada item em estoque.



## S-1, S

- Para um dado um nível de estoque desejado  $S$ , o custo total esperado por unidade de tempo  $TC(S)$  é a soma do custo médio de manutenção e do custo médio de penalidade.

# S-1, S

- A expressão de  $TC(S)$  é, portanto, dada por:

$$TC(S) = h \cdot [S - (1 - p(S)) \cdot \lambda \tau] + \lambda L p(S)$$

- S - estoque nominal
- h - custo de manutenção
- $\lambda$  - taxa de substituição
- $\tau$  - distribuição de probabilidade geral média
- Onde:

$$p(S) = Q_s(0) = (\lambda \tau)^S / S!$$

$$S^* = \lambda \tau + \alpha \sqrt{\lambda \tau}$$

$$\alpha = \left[ 2 \ln \left( 1 + \frac{L}{h \tau} \right) \right]^{1/2}$$

# Referências

# Referências

- [1] Harilaus G. Xenos. Gerenciando a manutenção produtiva. Editora de Desenvolvimento Gerencial. 1998.
- [2] Diallo, C., Ait-Kadi, D., Chelbi, A. (2009). Integrated Spare Parts Management. In: Ben-Daya, M., Duffuaa, S., Raouf, A., Knezevic, J., Ait-Kadi, D. (eds) Handbook of Maintenance Management and Engineering. Springer, London. [https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0_9)
- [3] Tubino, D.F. Planejamento e controle da produção: teoria e prática, 1ª edição, Atlas, 2007.
- [4] Tubino, D.F. Manual de Planejamento e Controle da Produção. 2 ed. Atlas, 2000.
- [5] Hadley G, Whitin TM (1963) Analysis of Inventory Systems. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [6] Sven Axsater. INVENTORY CONTROL. Second Edition, ed. Springer. 2006.
- [7] Wireman, Terry. Benchmarking best practices in maintenance management / Terry Wireman. p. 231. Industrial Press Inc. 2004.

# Dúvidas?