



Gestão de Estoques

Logística



Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Transportes

abril de 2017

What is inventory?

- **A physical resource that a company holds in stock with the intent of selling it or transforming it into a more valuable state**
- **Purpose of a inventory management system**
 - Determine how many units to order and when to order

Finalidades do estoque

- **Melhorar/garantir nível de serviço**
 - Proteção contra falta, agilizar reposição
- **Racionalizar processos na cadeia**
 - produção: lotes econômicos, diminuir *set-up*
 - compras e transporte: economias de escala, controle
- **Proteções contra oscilações não previsíveis**
 - preços (antecipar, especulação)
 - demanda (sazonalidade)
 - tempos (*lead times*)
- **Proteção contra contingências**
 - risco de desabastecimento

Pizza para viagem

- Cada vez que um restaurante delivery recebe um pedido



1. Abrir massa



2. Cortar mussarela em fatias



3. Preparar molho de tomate



4. Picar/fatiar outros ingredientes, etc

Necessidade de Antecipação



Ovo de Páscoa



Panetone



Repelente

Como você gerencia seu estoque de

- Leite
- Frutas
- Biscoitos
- Combustível para o carro
- Papel higiênico
- Dinheiro em espécie

- **EM OUTRAS PALAVRAS....**
- Quando comprar?
- Quanto comprar? (tamanho do lote de reposição)

O que você considera na sua decisão?

- Custo da falta
- Custo de ir comprar
- Custo de manter e armazenar
- Descontos no preço
- Quanto você consome
- Incerteza quanto ao consumo e a encontrar o item
- O que acontece se faltar?

Types of Inventory

- **Raw materials**
 - To be converted into finished goods thru manufacturing
- **Purchased parts**
- **Finished goods**
 - Completely manufactured items ready for sale
- **Work-in-process (partially finished products)**
 - Semi-manufactured products that need some more work before becoming finished items ready for sale
- **Supplies**
 - Office and manufacturing materials not directly involved in production process
- **Tools and equipments**

Types of Demand



Dependent

Items used to produce final products



Independent

Such as cars, computers.....

Estoque: custos relacionados

- **Aquisição (obtenção) - pedido**

- Emissão do pedido
- Processamento interno e transmissão do pedido ao fornecedor
- Transporte
- Recepção, inspeção e manuseio do material

- **Manutenção do estoque**

- armazenagem (espaço físico) e controle (rastreamento)
- capital imobilizado
- riscos (deterioração, obsolescência, roubo)
- seguros e taxas (furto, incêndio, ...)

- **Falta**

- Vendas perdidas
- Atrasos
- Multas
- Reprogramação da Produção

Três níveis de decisão

- **Supply Chain (estratégica)**
 - Onde posicionar os estoques?
- **Gestão (tática)**
 - Quais itens?
 - Como devem ser armazenados?
 - Em que quantidades e onde?
- **Reabastecimento (operacional)**
 - Qual a frequência de reavaliação do estoque?
 - Quando tomar uma decisão de reabastecimento?
 - Qual o tamanho do lote de reposição?
 - Qual o estoque de segurança?

Objetivos de um Sistema de Estoques

DEFINIR:

✓ *QUANDO COMPRAR?*

- A cada 2 semanas? Quando o estoque chegar a 3 unidades

✓ *QUANTO COMPRAR? (LOTE)*

BUSCANDO MINIMIZAR:

✓ *FALTAS*

- pela não existência do item solicitado para entrega imediata ou não atendimento de data confirmada para entrega.

✓ *ATRASOS ou TEMPO DE ENTREGA*

- dos itens indisponíveis no sistema no ato da venda ou na data confirmada para entrega.

✓ *ESTOQUES* do sistema global.

Fatores Fundamentais para a decisão sobre estoques

- Custos
- Demanda Futura
- Tempo para ressuprimento (*lead-time*)
- Nível de Serviço desejado

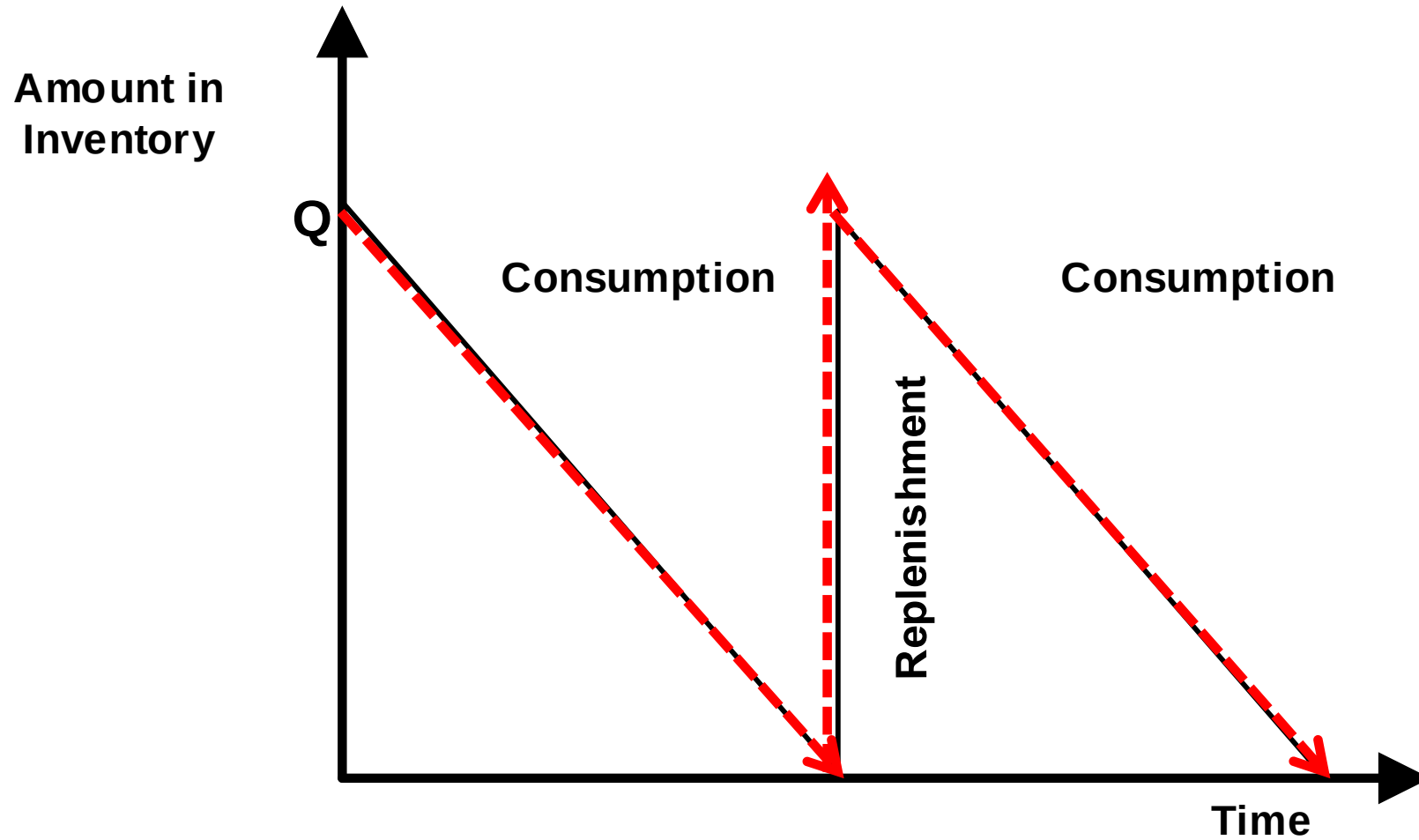
Hipóteses

- **Demanda**
 - Constante ou variável
 - Conhecida x randômica
 - Continua ou discreta
- **Lead time**
 - Instantâneo
 - Constante ou variável
 - Determinístico ou estocástico
- **Dependência entre itens**
 - Independentes x dependentes
- **Revisão**
 - Contínua ou periódica?

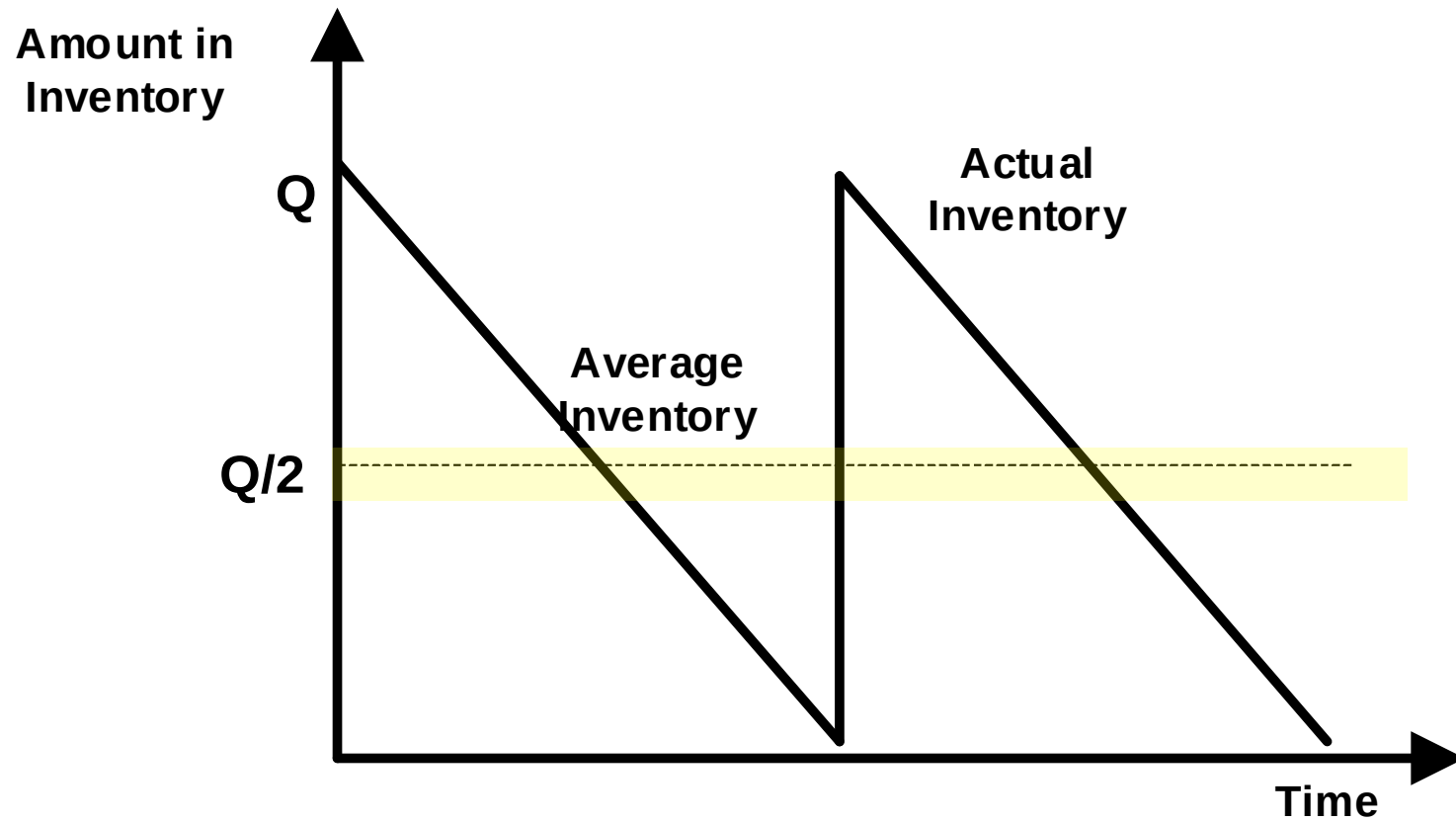
Hipóteses (2)

- **Desconto no preço**
 - Nenhum
 - Incremental
- **Demanda excedente**
 - Não atendida (perdida)
 - Backorder
 - Substituição
- **Perecibilidade**
 - Independentes x dependentes
- **Horizonte de planejamento**
 - Um período, múltiplos períodos
- **Número de Itens**
 - Um ou vários

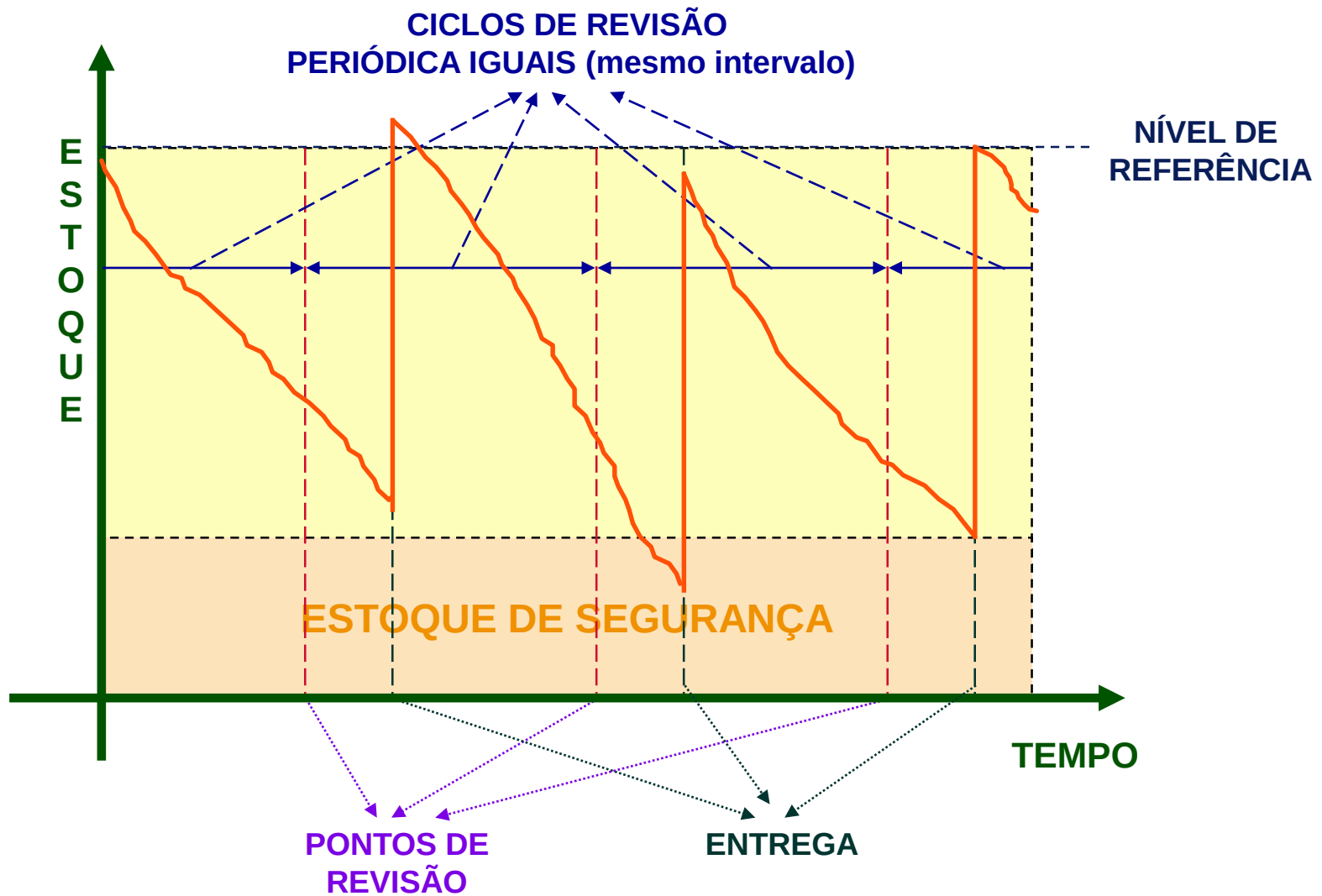
Inventory Behavior (“ideal”)



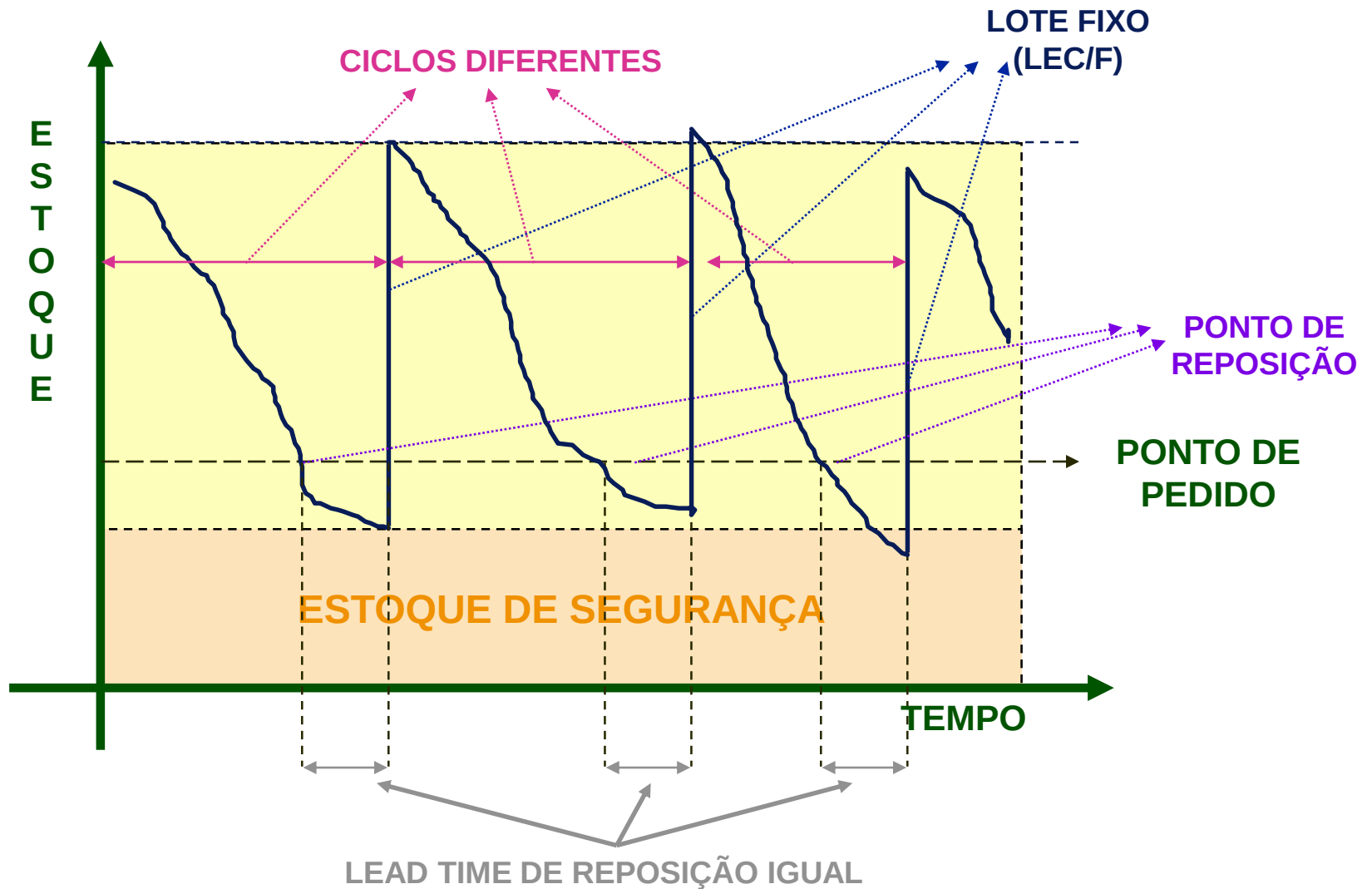
Average Inventory



SISTEMA DE REVISÃO PERIÓDICA



SISTEMA DE REVISÃO CONTÍNUA



Métodos de controle de estoques

- **Estoque empurrado (“push”)**
 - Estoque gerado/movimentado com base em previsão / expectativa da demanda esperada
 - Quanto vai vender?
 - Quanto vai consumir?
 - Lotes de produção são maiores que necessidades imediatas
 - não perecíveis
- **Estoque puxado (“pull”)**
 - Estoque gerado / movimentado com base na demanda ou em pedidos
 - produtos perecíveis, sazonais
 - Exemplo: *Dell Computers* (no início)

Amazon Fall River

- **Fulfillment Center**



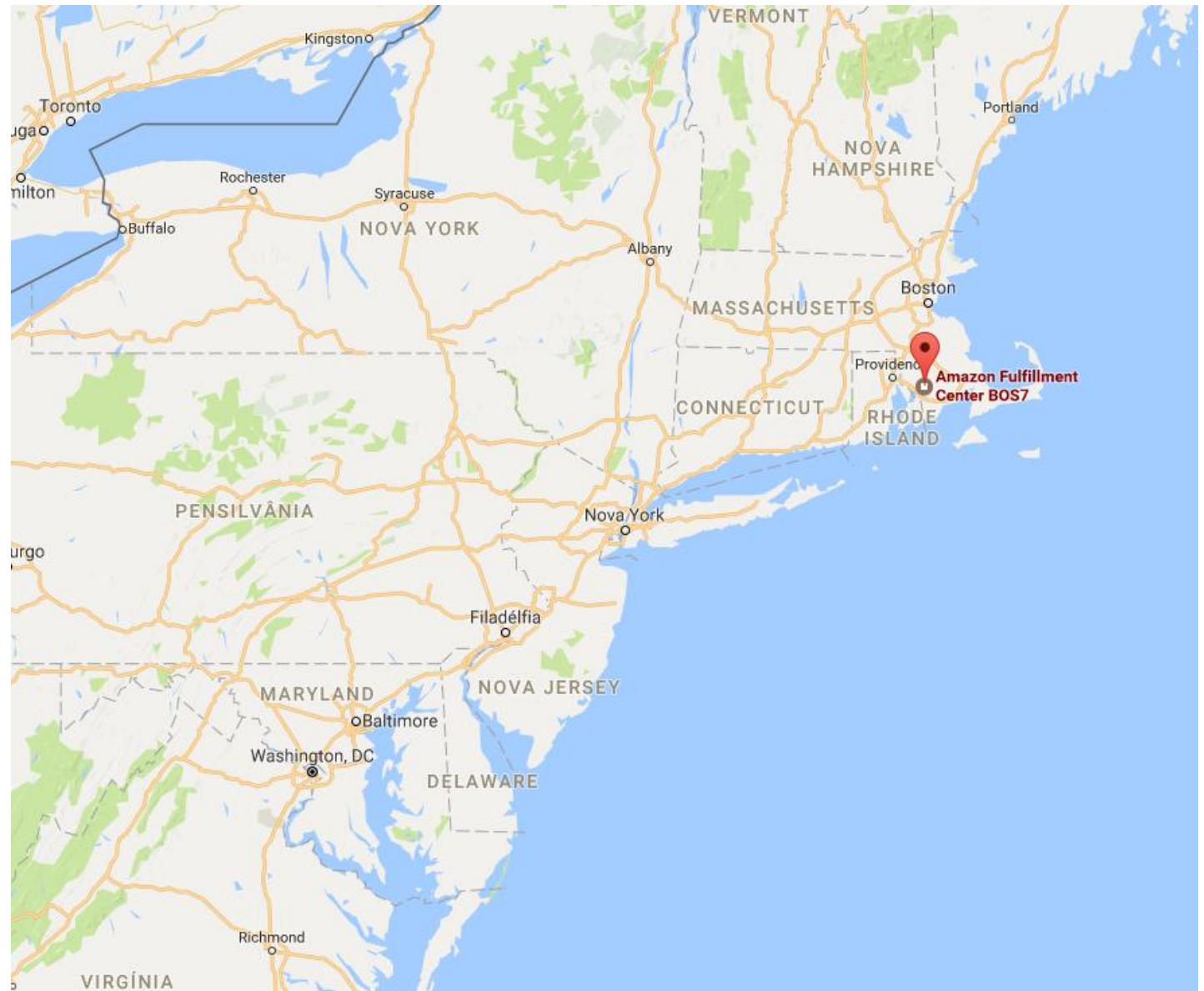
<http://www.providencejournal.com/news/20170330/inside-amazon-immense-fall-river-shipping-facility-is-model-of-effi>

<https://vimeo.com/108814379>

Construction: <https://www.youtube.com/watch?v=f4mmI8QMSQA>

Amazon Fall River Fulfillment Center

- **Location**



Amazon Fall River Fulfillment Center

- **1.3 millions square feet ($\approx 13,993 \text{ m}^2$) ($\approx 3.7 \text{ km} \times 3.7 \text{ km}$)**
- **40 feet (12m) ceiling**
- **Largest Amazon fulfillment center**
- **> 1000 full-time employees**
- **process 20,000 to 30,000 items on an average day**
- **Millions of products on site**
 - a number that fluctuates
- **Operates 20 hours a day**

Amazon Fall River Fulfillment Center



Amazon Fall River Fulfillment Center



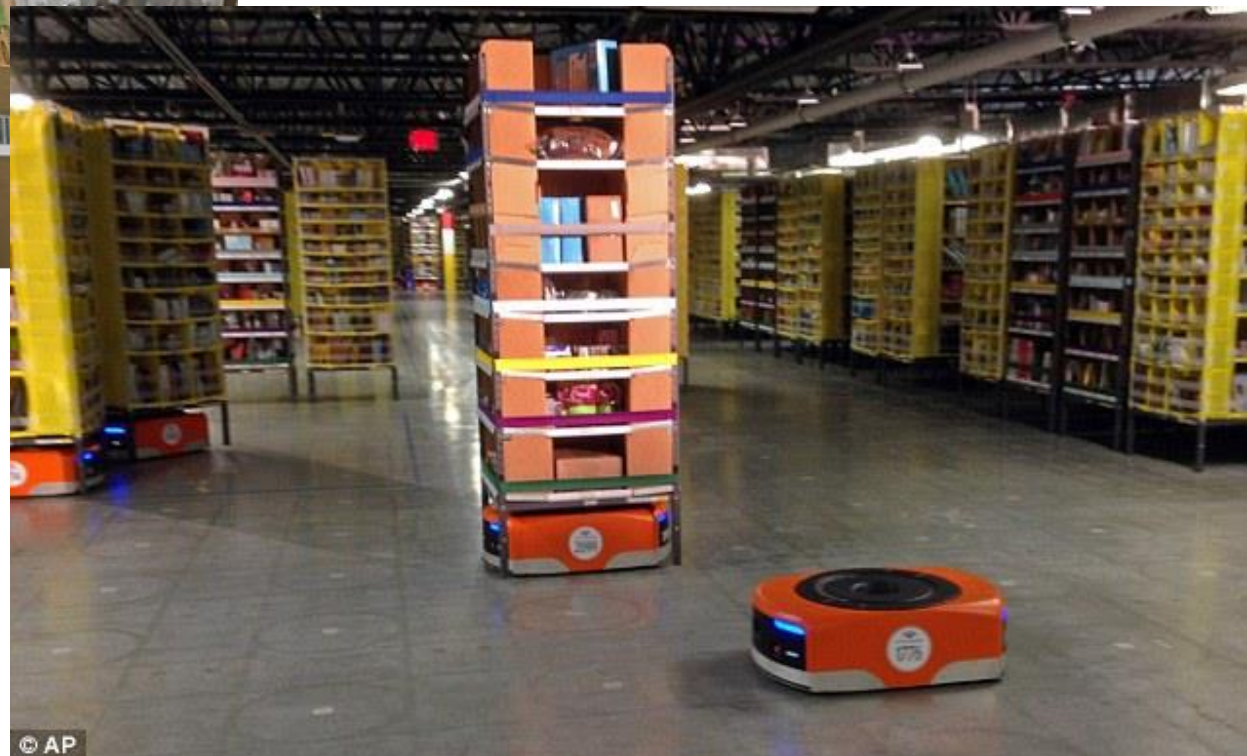
Amazon Fall River Fulfillment Center



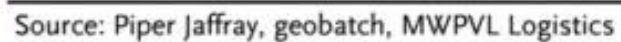
Amazon Fall River Fulfillment Center



Amazon Fall River Fulfillment Center



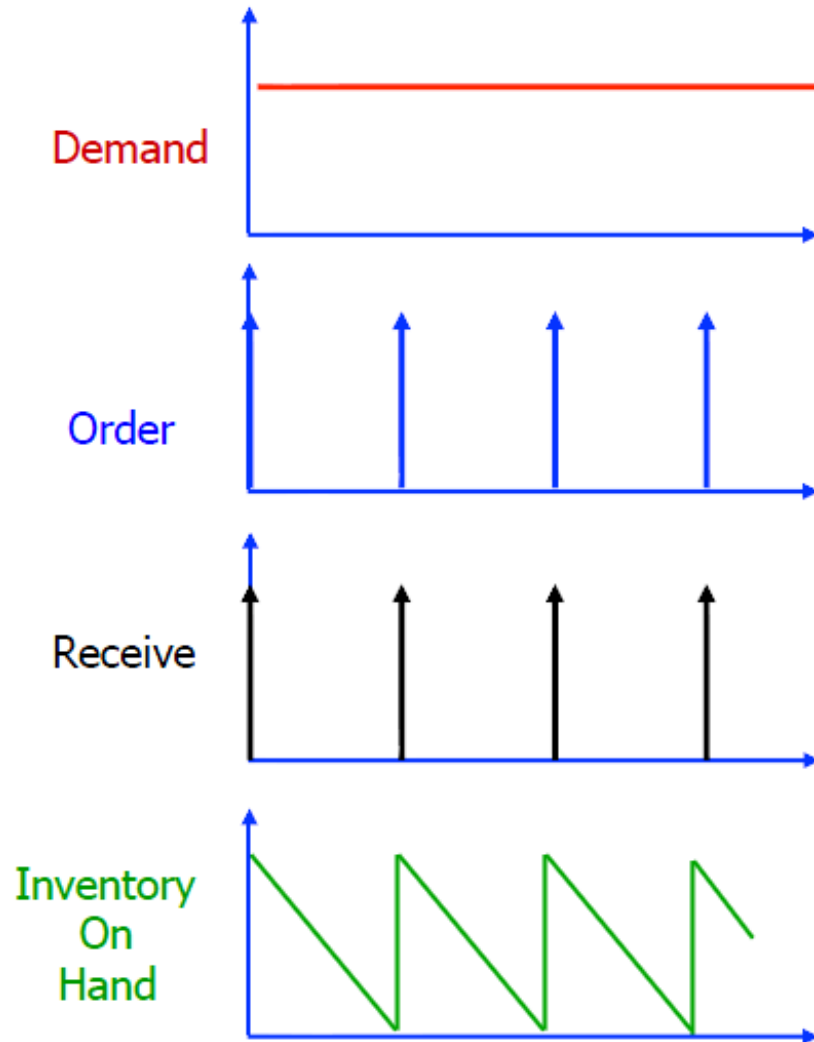
Same-Day Shipping Locations in Blue, Fulfillment Centers in Red



Modelo do Lote Econômico

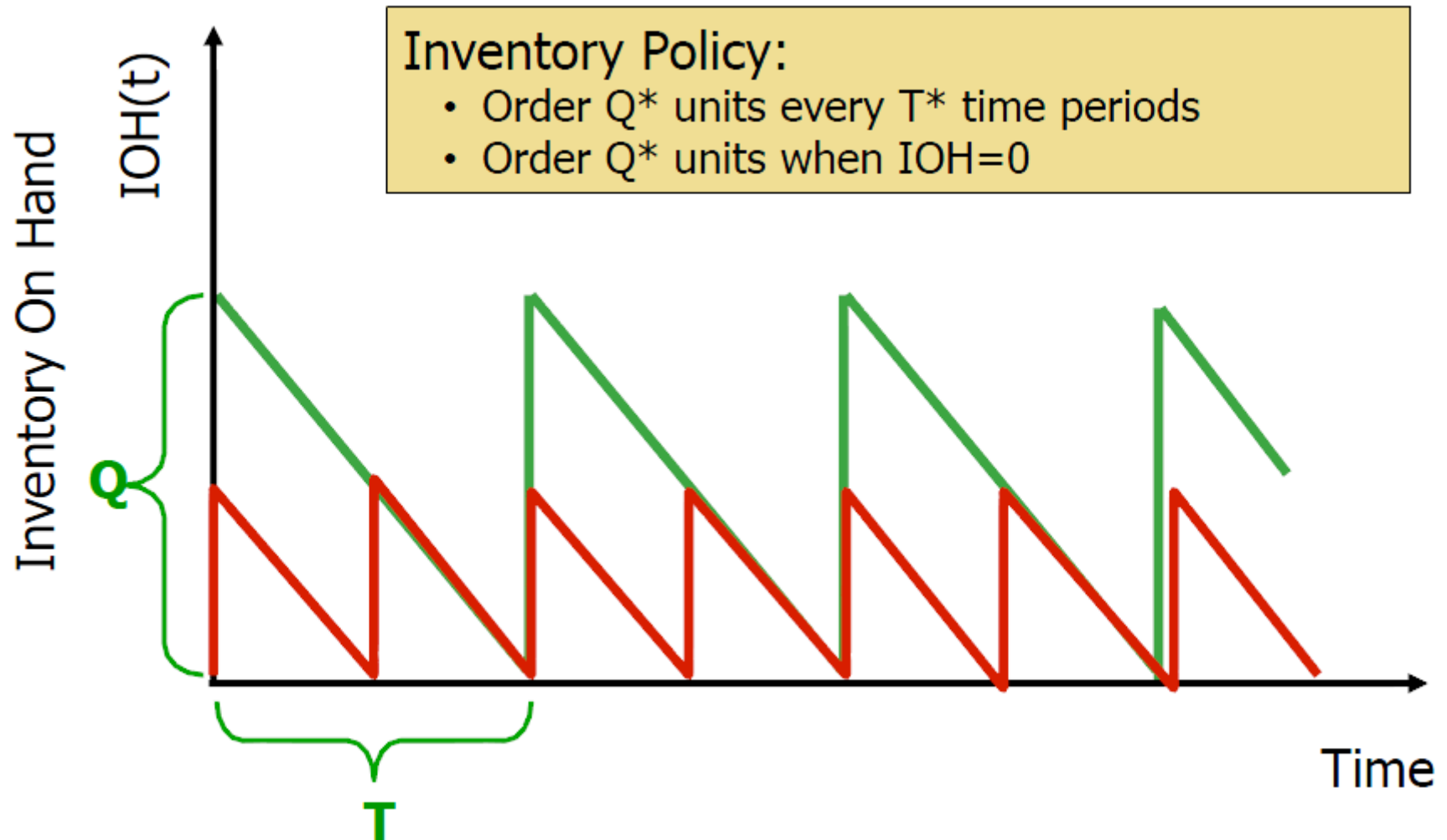
- Também conhecido como
EOQ = *Economic Order Quantity*
- **Determina o tamanho do lote Q de compra (qto comprar)**
- **Procura minimizar a soma dos custos envolvidos no estoque**
- **Leva em conta os seguintes custos**
 - Custo do estoque do item (quanto maior o lote maior o custo)
 - Custo do pedido (a cada pedido está associado um custo de pedido)

Hipóteses Modelo de Lote Econômico (EOQ)



- **Um produto/item**
 - Não perecível
- **Demanda uniforme e determinística**
- **Lead time instantâneo**
- **Lote constante**
- **Total solicitado é recebido**
- **Sem restrição de capacidade**

Encontrando a política ótima



Lote Econômico Q^*

Modelo EOQ – *Economic Order Quantity*

- **Dados**

D = Demanda (consumo) por período (unid/t)

S = custo por pedido (\$/pedido)

C = custo unitário do item (\$/unid)

I = custo de manutenção de estoque por período (% de C)

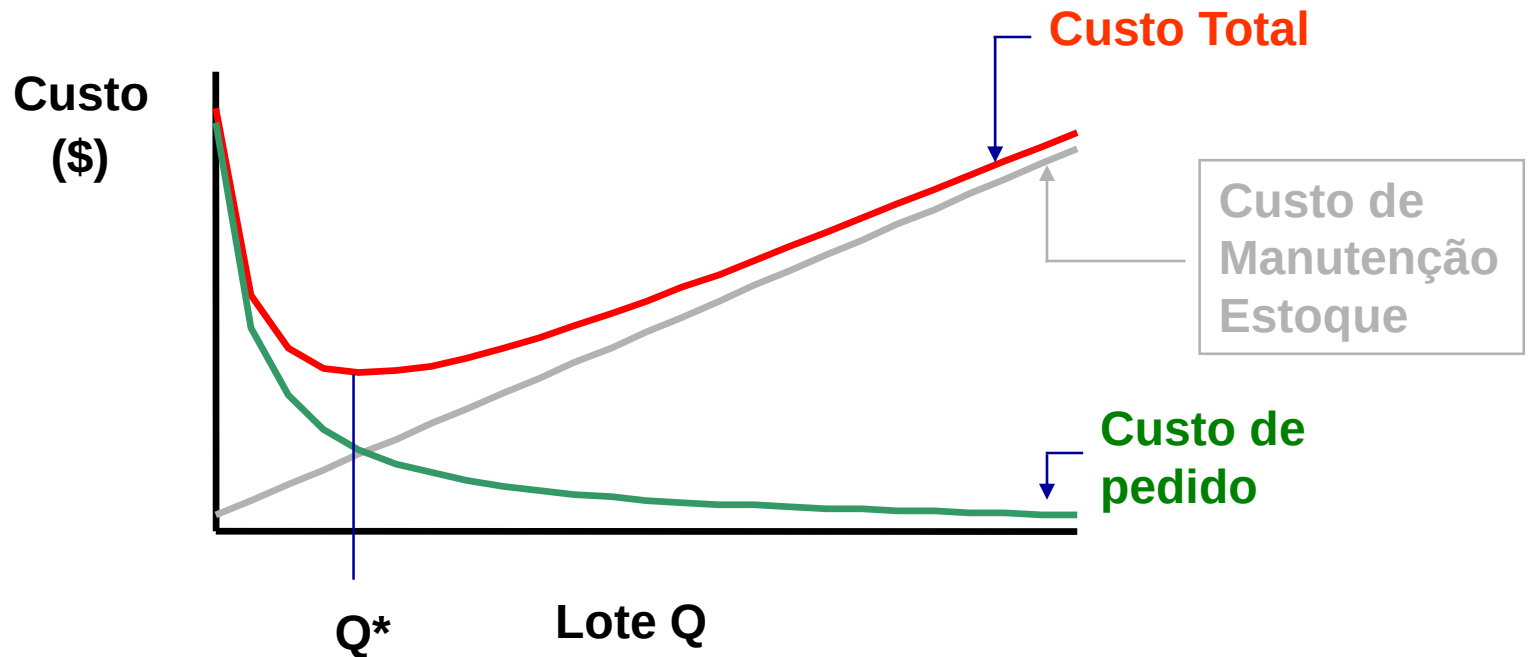
Q = tamanho (ou quantidade) do lote de compra

Custo da Compra = $D * C$ (*= quantid comprada x preço*)

Custo de Pedido = $\frac{D}{Q} * S$ (*= n° de pedidos x custo pedido*)

Custo do Estoque = $\frac{Q}{2} * I * C$ (*= estoque médio x custo estoq item*)

Modelo do Lote Econômico EOQ (encontrar o custo mínimo total)



Lote econômico de compra = Q^*

Lote Econômico Q^*

Modelo EOQ – *Economic Order Quantity*

- **Mínimo custo total de estoque**

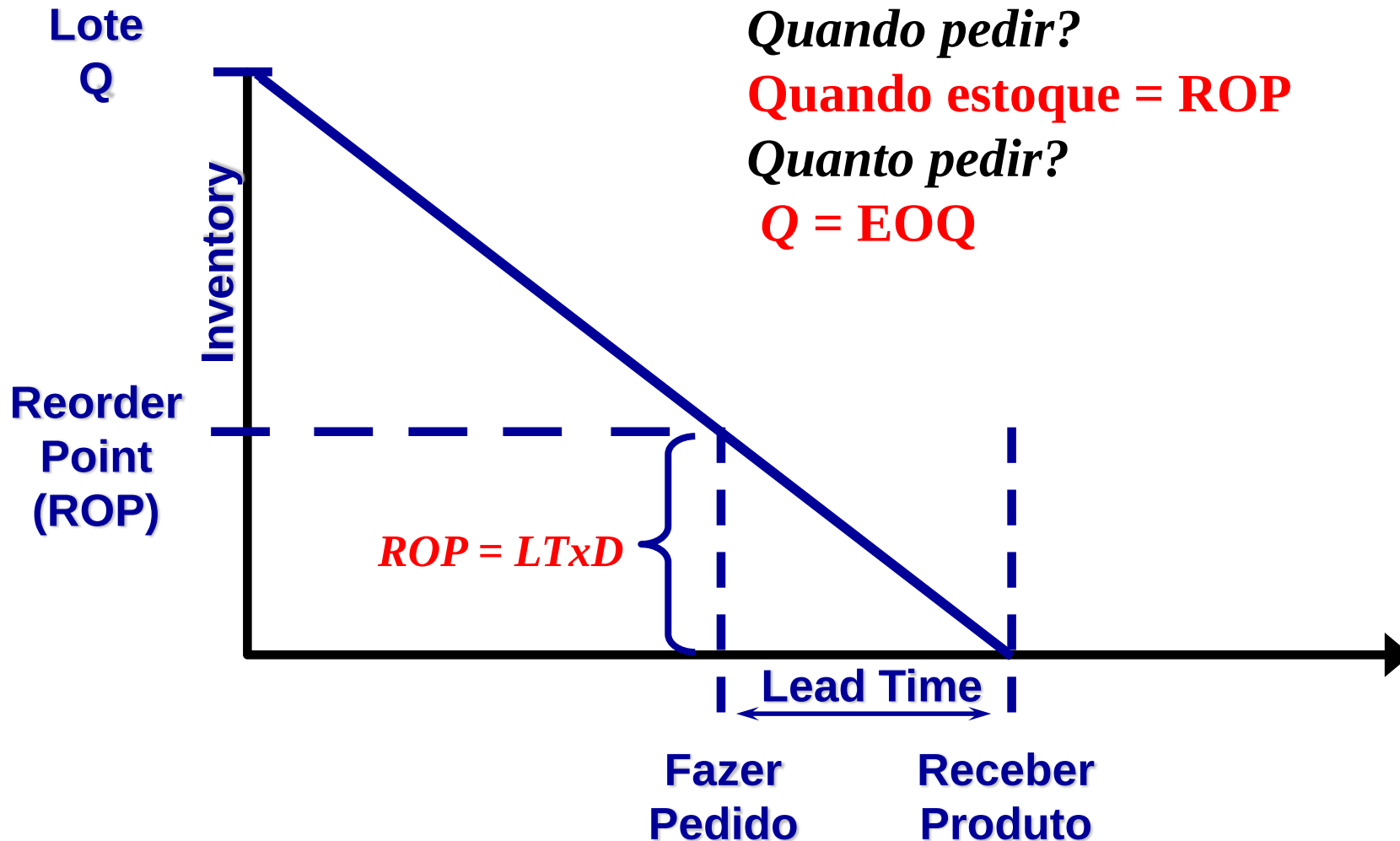
$$CT = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}IC$$

$$\frac{\partial CT}{\partial Q} = 0 \Rightarrow Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}}$$

- **Ponto de Pedido (ROP = Reorder Point)**

$$ROP = \left(\begin{array}{c} \text{Demanda} \\ \text{Diária} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Lead time do} \\ \text{pedido em dias} \end{array} \right)$$

Representação gráfica



Lote Econômico Q^*

Modelo EOQ – *Economic Order Quantity*

- **Intervalo ótimo entre pedidos**

$$T^* = \frac{Q^*}{D}$$

- **Nº de pedidos no período**

$$N^* = \frac{D}{Q^*}$$

- **Ponto de Pedido (ROP = *reorder point*)**

$$ROP = D \times LT$$

Exemplo: Calcular o lote econômico

Demanda anual (D): 2.400 unidades

Preço unitário (C): \$ 50/un.

Custo de manutenção de estoque (I): 20% a.a.

Custo de um pedido (S): \$ 200/pedido

lead-time: 12 dias

Ano operacional: 240 dias

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}}$$

Exemplo: lote econômico

Demanda anual (D): 2.400 un.
Preço unitário (C): \$ 50/un.
Custo de manutenção(I): 20% a.a.
Custo de um pedido(S): \$ 200/pedido
lead-time: 12 dias

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}}$$

Ano operacional: 240 dias

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 200 \times 2400}{0,20 \times 50}} =$$
$$= \sqrt{96000} = 310 \text{ un.}$$

Estoque médio:

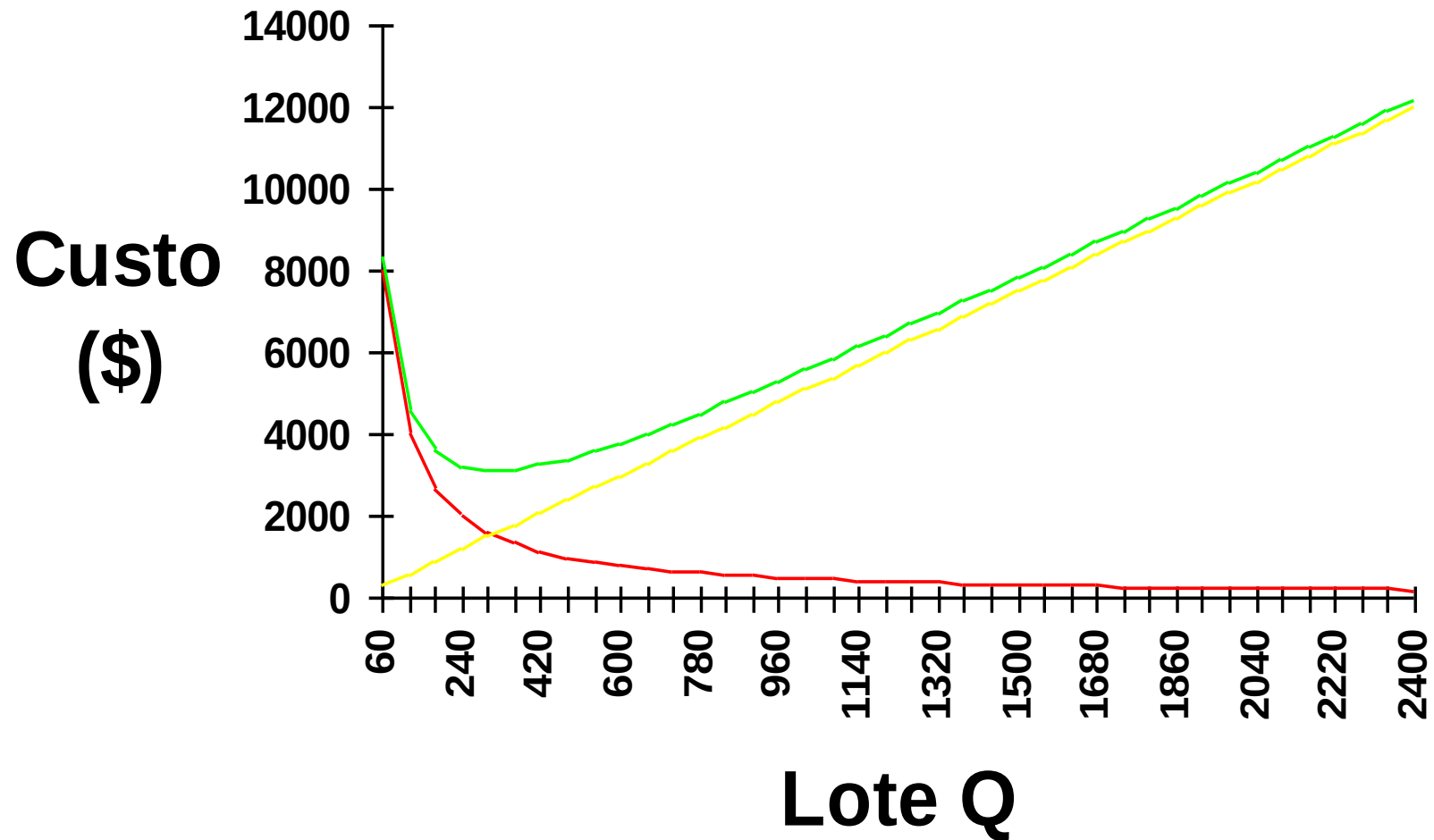
$$EM = 0,5 Q^* = 150 \text{ un.}$$

$$Q^* = 300 \text{ un. (arredondado)}$$

$$D = 2400 / 240 = 10 \text{ unid/dia}$$

$$ROP = 10 * 12 \text{ dias} = 120 \text{ un.}$$

Exemplo: lote econômico



Exercício

Demanda	<i>D</i>	1000	u/ano
Custo do Pedido	<i>S</i>	50	\$/u
Custo de Manutenção	<i>I</i>	25%	
Preço Unitário	<i>C</i>	40	\$/u

Lead Time	LT	1,5	semana
------------------	-----------	------------	---------------

Com os dados acima, calcule:

- a) O lote econômico**
- b) O período entre reposições**
- c) O número de reposições**
- d) Indique no gráfico o ponto de ressuprimento (ROP) e os itens a) e b)**

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}}$$

$$T^* = \frac{Q^*}{D}$$

$$N^* = \frac{D}{Q^*}$$

Exercício

Demanda	D	1000	u/ano
Custo do Pedido	S	50	\$/u
Custo de Manutenção	I	25%	
Preço Unitário	C	40	\$/u

Com os dados abaixo, calcule:

- O lote econômico
- O período entre reposições
- O número de reposições
- Indique no gráfico o ponto de ressuprimento (ROP) e os itens a) e b)

Lote Econômico	Q*	100	
Período de Reposição	T*	0.1	ano
		5.2	semanas
Frequência	N*	10	

Lead Time	LT	1,5	semana
demanda semanal	d	19	u
Ponto de Ressuprimento	ROP	29	u

$$a) \quad Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000 \cdot 50}{0.25 \cdot 40}} = 100$$

$$b) \quad T^* = \frac{Q^*}{D}$$

$$T^* = \frac{100}{1000} = 0,1 \text{ ano}$$

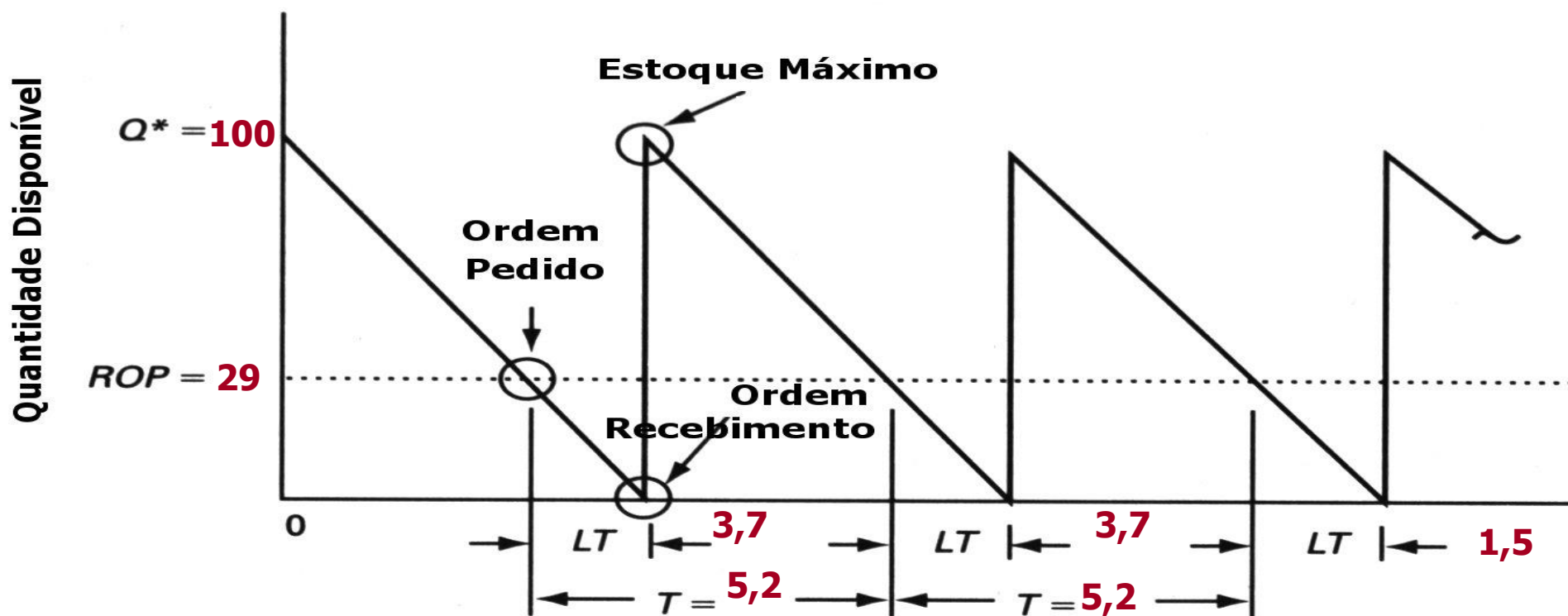
$$c) \quad N^* = \frac{D}{Q^*}$$

$$N^* = \frac{1000}{100} = 10$$

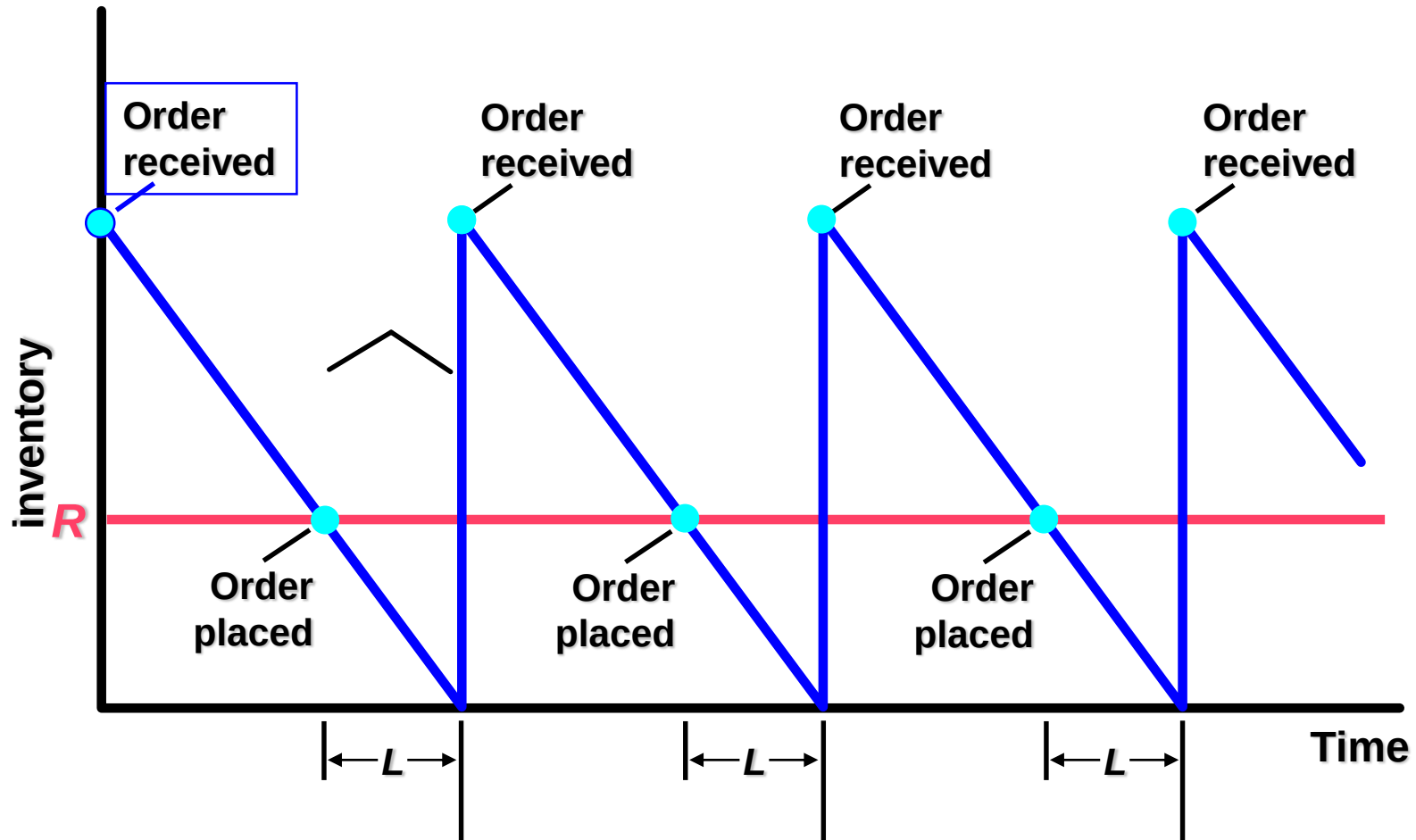
Demanda	D	1000	u/ano
Custo do Pedido	S	50	\$/u
Custo de Manutenção	I	25%	
Preço Unitário	C	40	\$/u

Lote Econômico	Q^*	100	
Período de Reposição	T^*	0,1	ano
		5,2	semanas
Frequência	N^*	10	

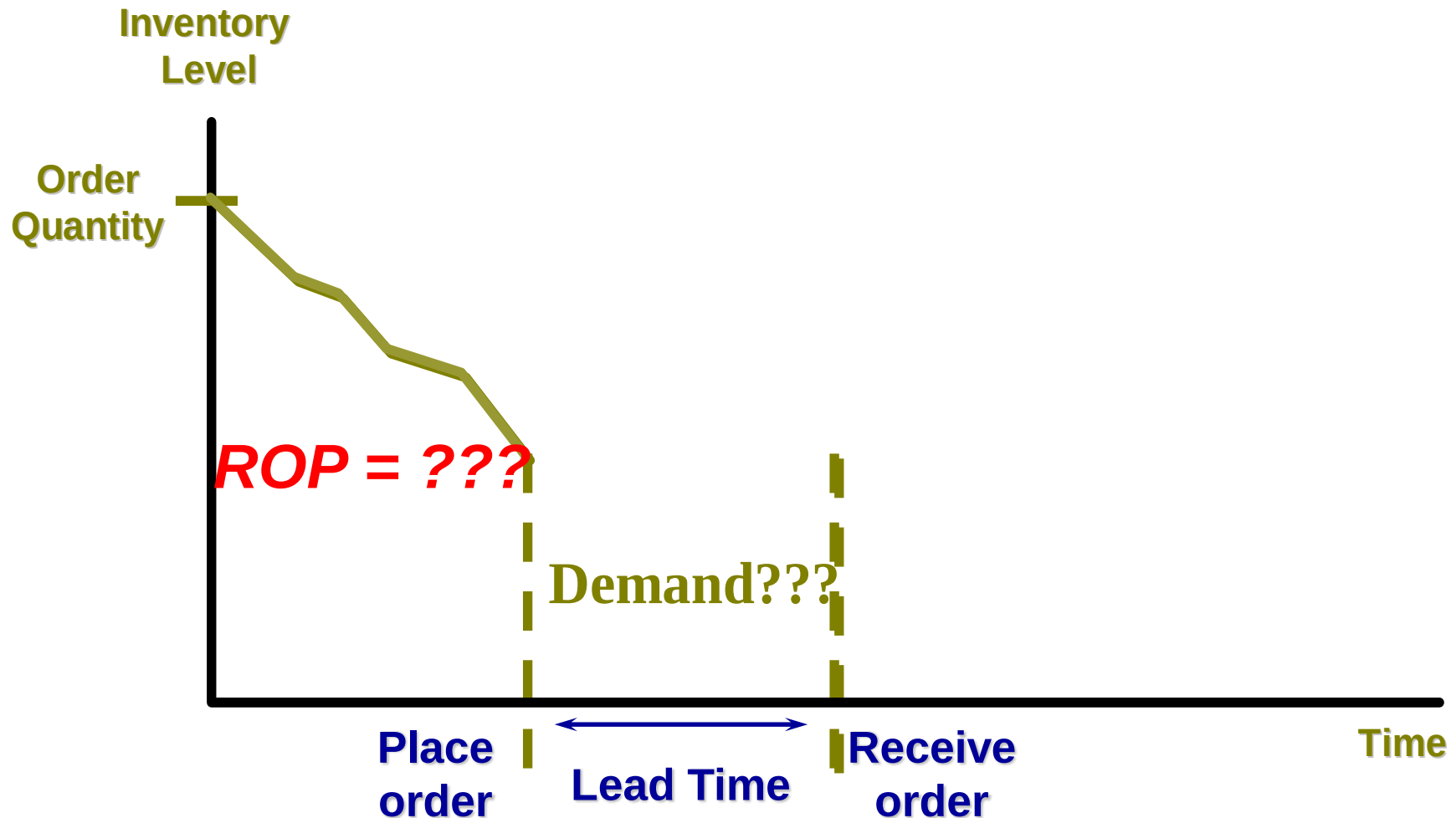
Lead Time	LT	1,5	semana
demanda semanal	d	19	u
Ponto de Ressuprimento	ROP	29	u



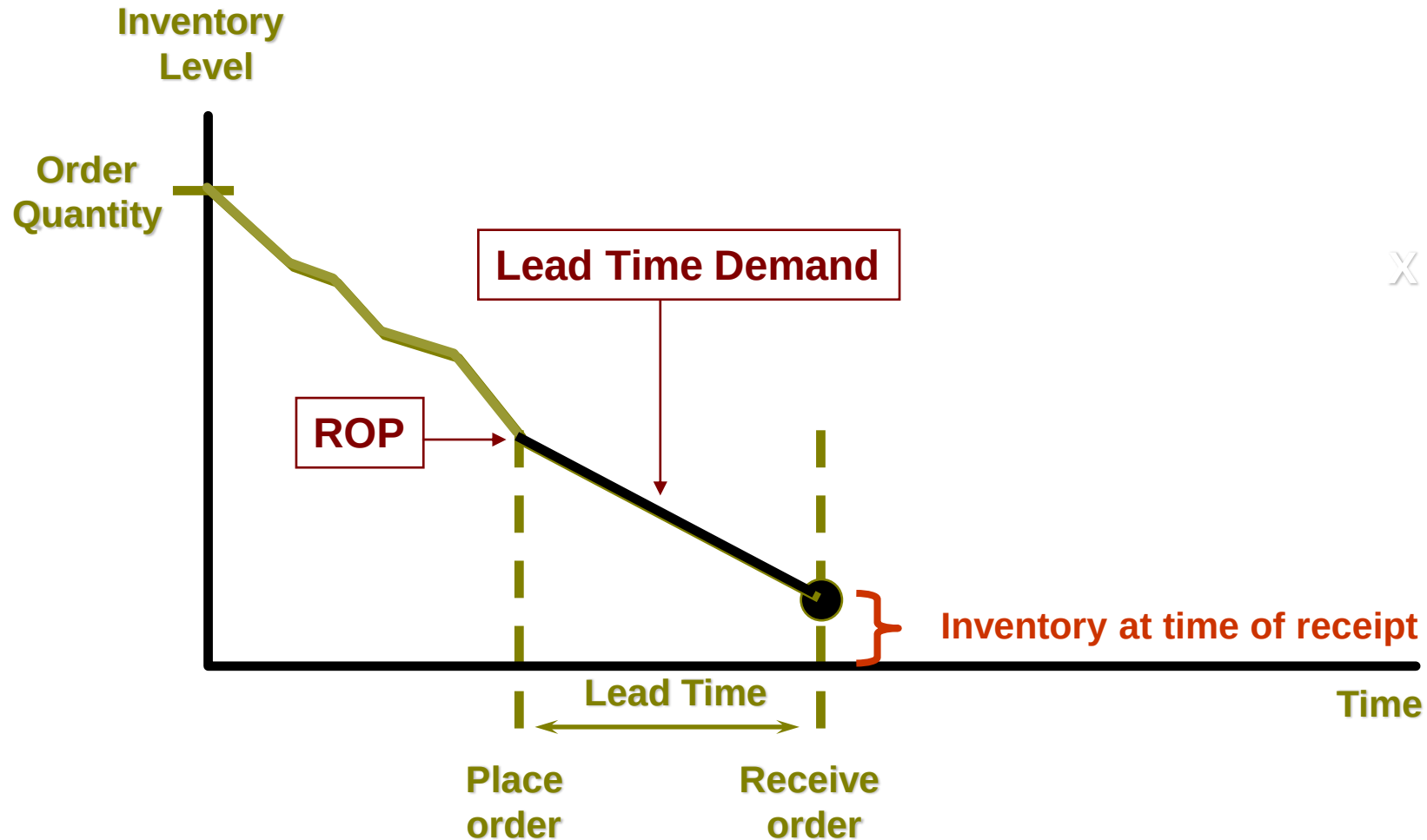
EOQ for constant Demand & constant LeadTime



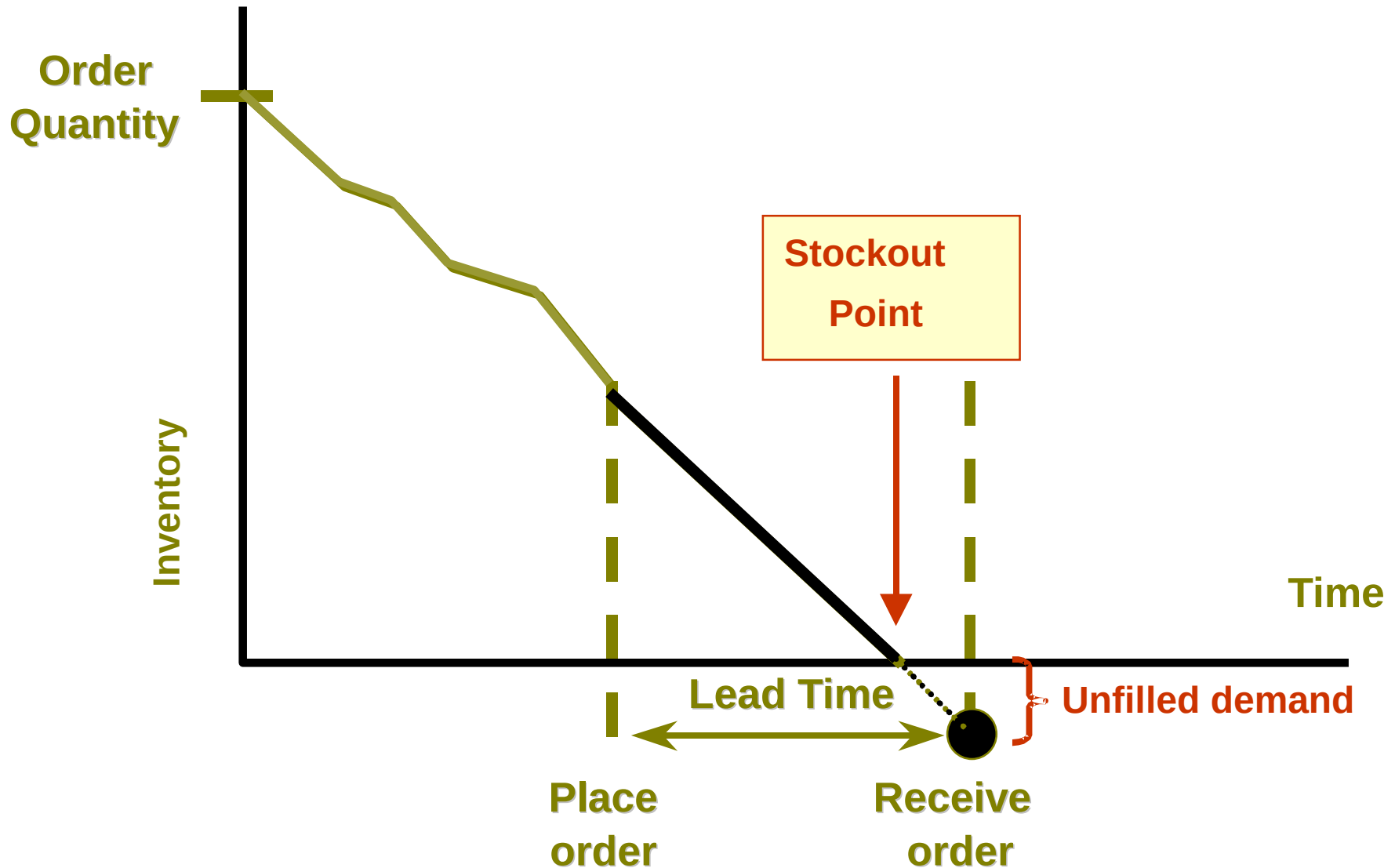
But demand is rarely predictable!



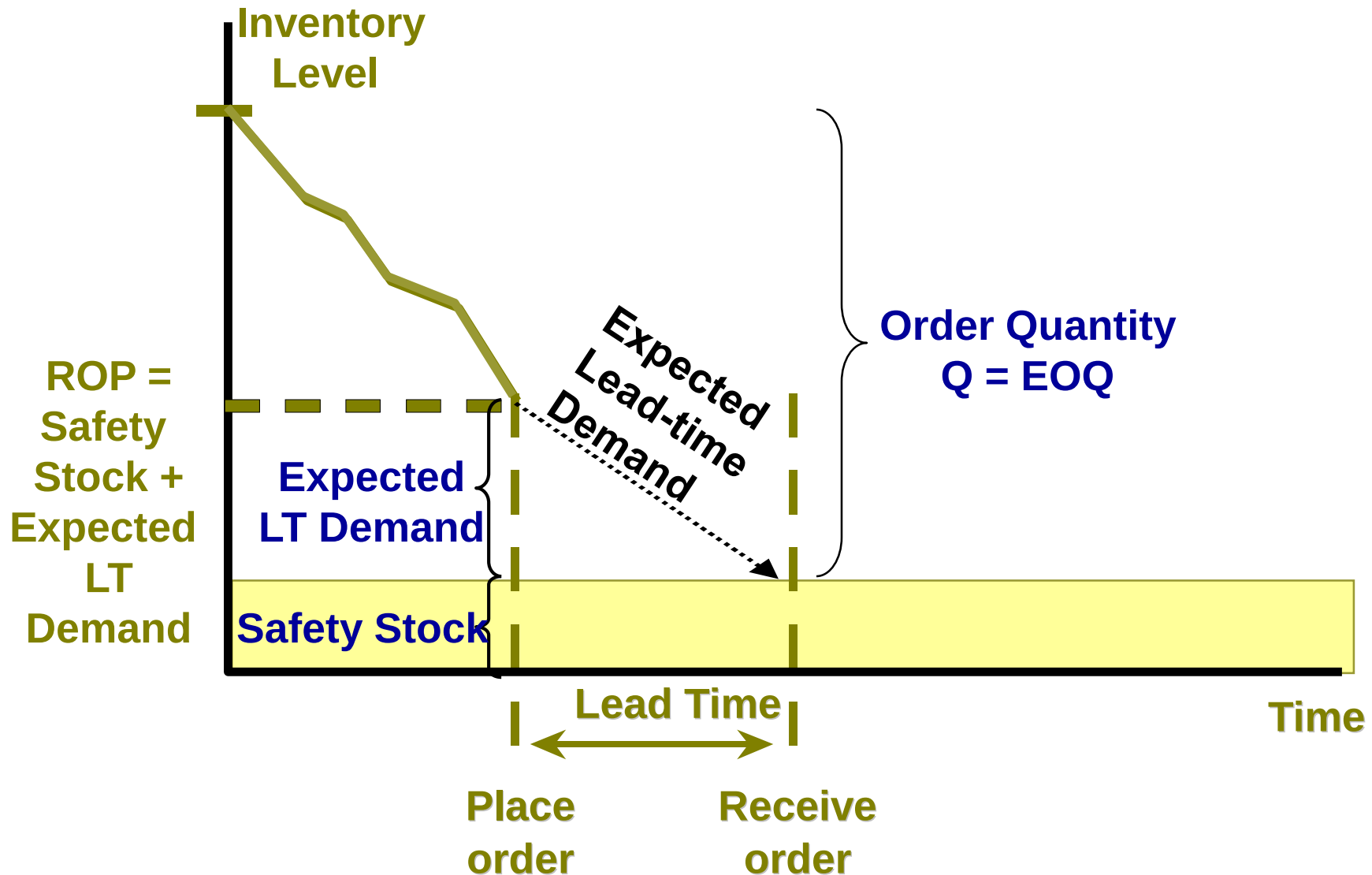
Actual Demand < Expected Demand



If Actual Demand > Expected, it Stocks Out

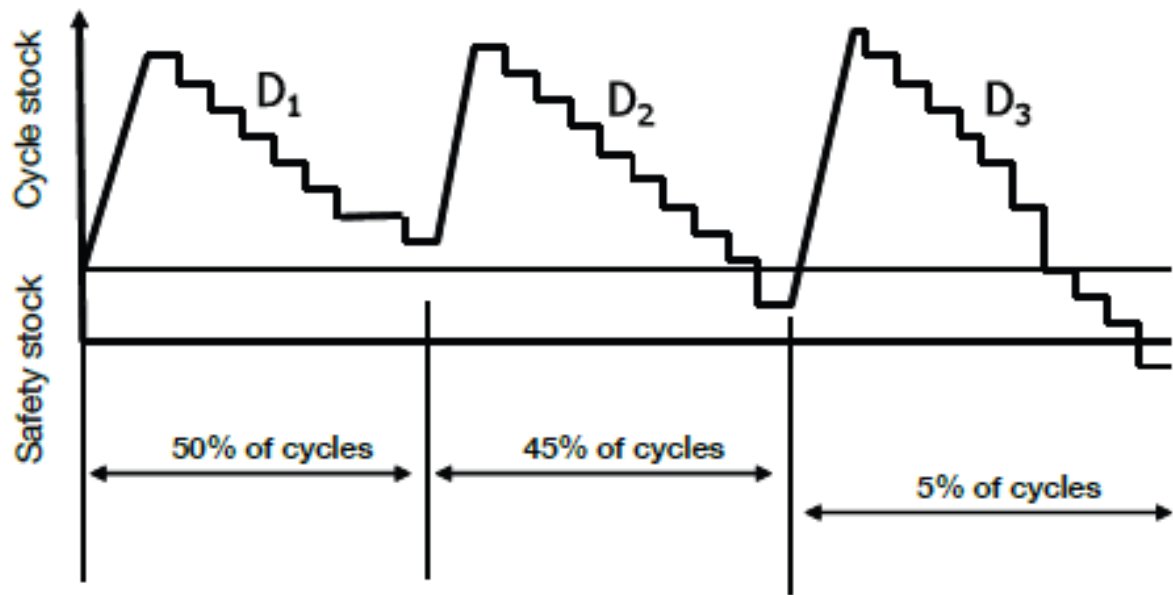


To reduce stockouts we add safety stock



Safety stock

- Inventory carried to prevent stockouts
 - due to fluctuating customer demand, forecast inaccuracy, and variability in lead times for raw materials or manufacturing
- Inventory designed for a 95% service level:

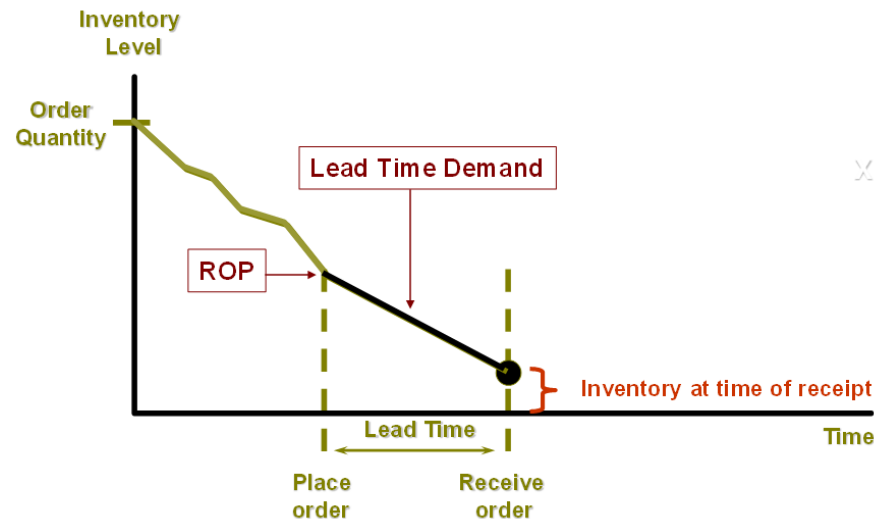


Estoque de segurança

- **Estoque adicional que empresas mantêm em seus armazéns, necessário para evitar faltas de estoque diante da variabilidade da demanda e da incerteza e erros de previsão da demanda e do ressuprimento do produto (atrasos)**
- **O estoque de segurança implica em maior área e capacidade para armazenagem e além de maior capital para o investimento em estoque.**

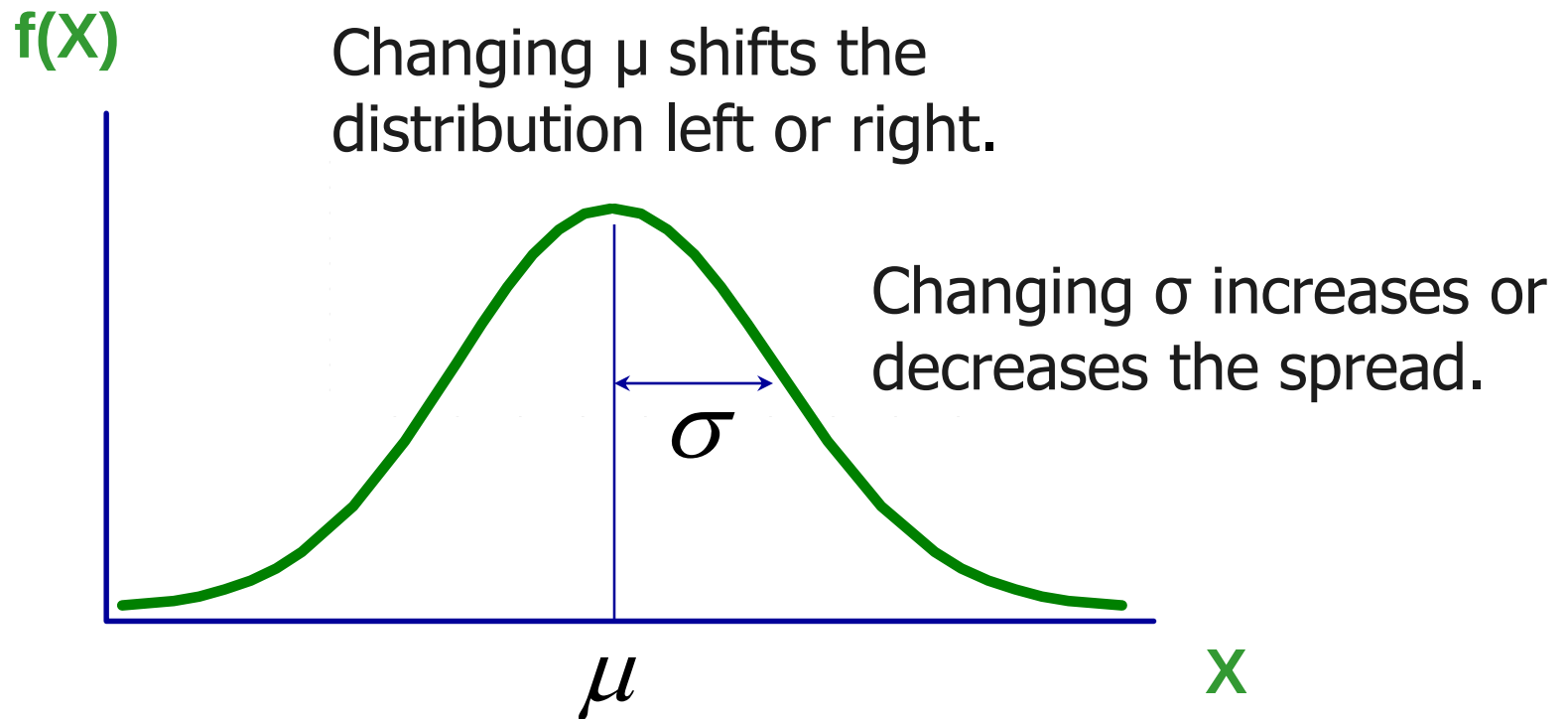
Formas de proteção para oscilações da demanda

- Manutenção de um estoque de segurança
- Aumentar o ponto de pedido (ROP) para evitar faltar produto

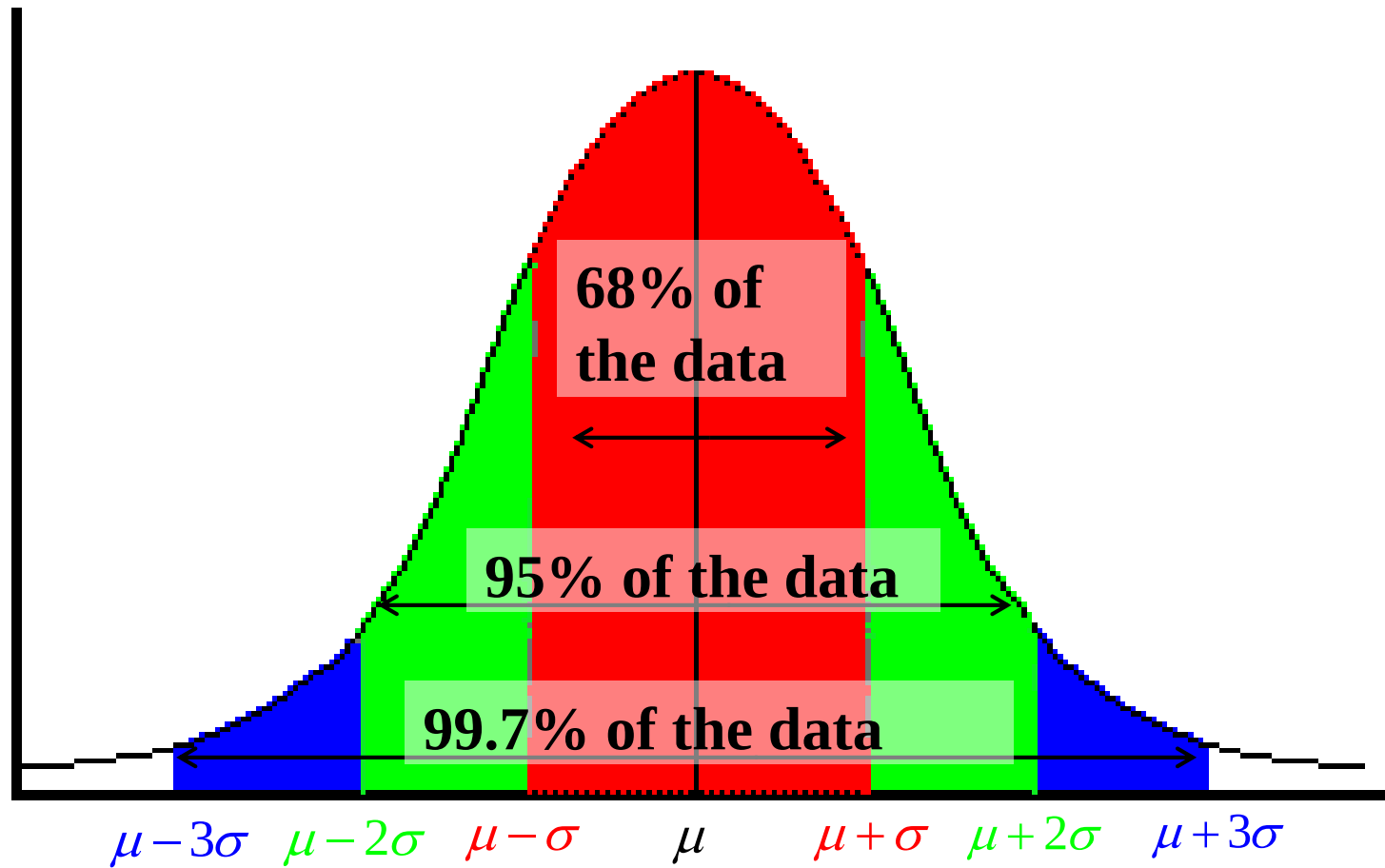


- Assume-se que a demanda obedeça a uma distribuição normal
 - Para a qual são conhecidos a média μ e o desvio padrão σ

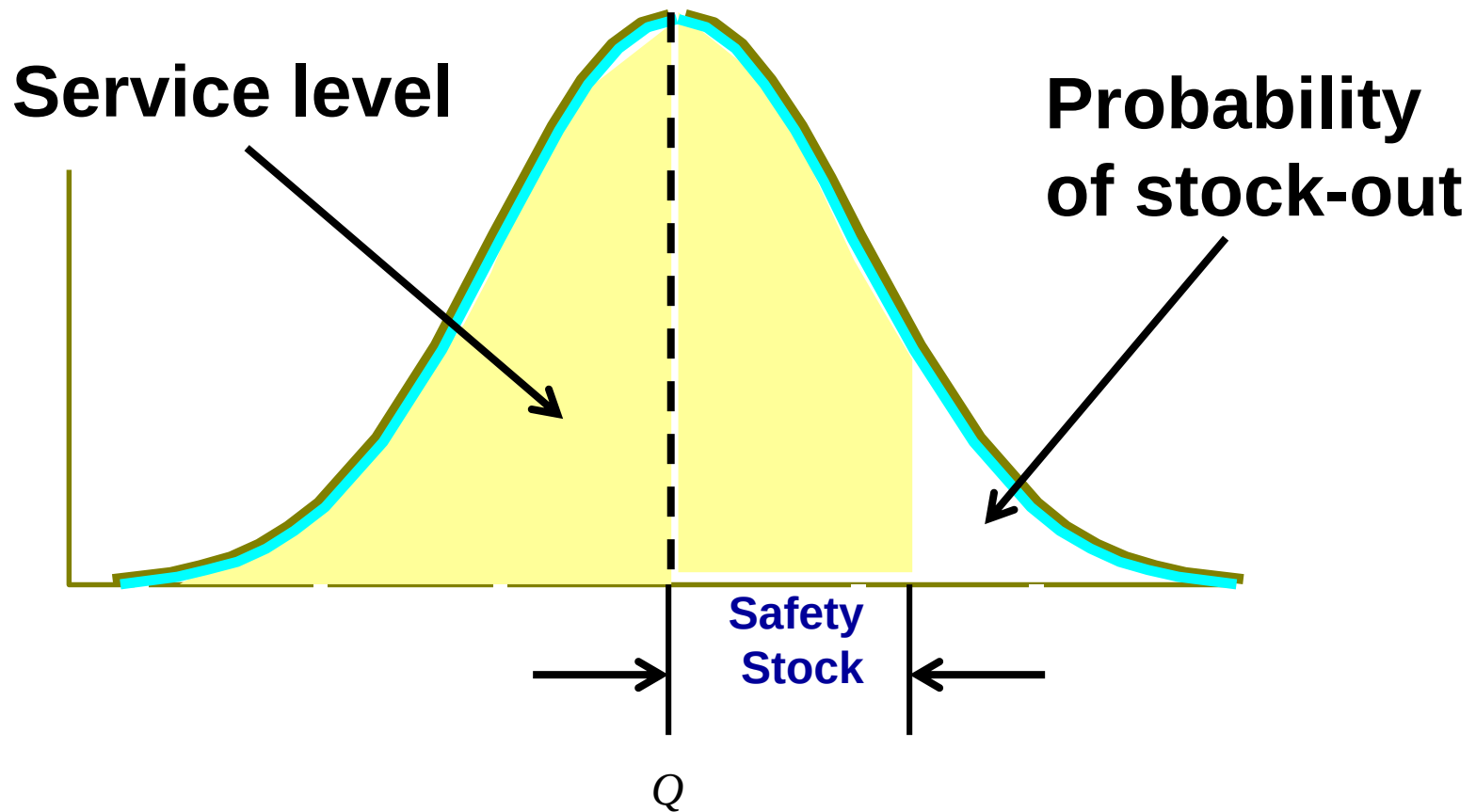
The Normal Distribution



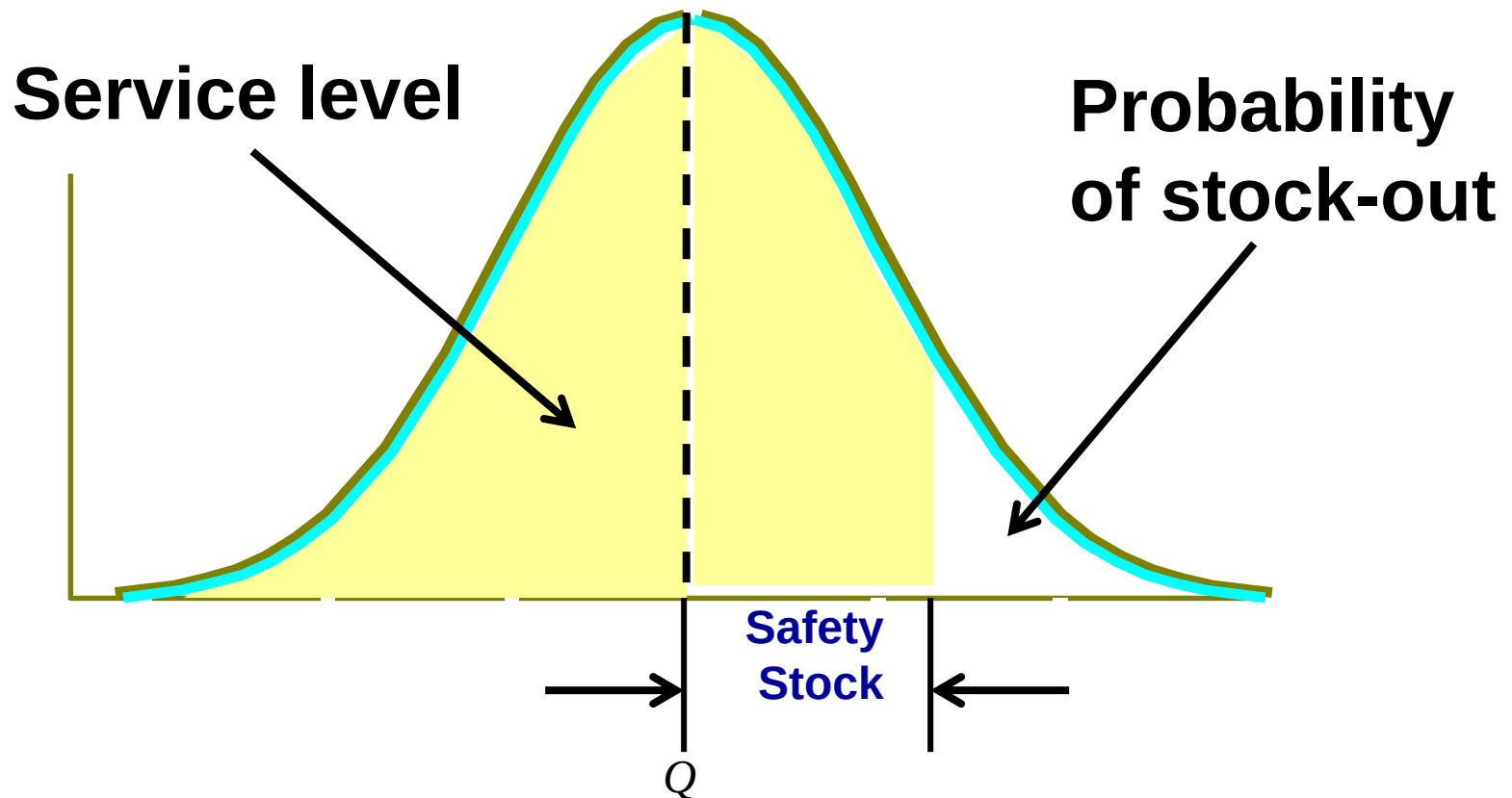
68-95-99.7 Rule



What Service Level do you want to provide?
(Service level = probability of NOT stocking out)



***Safety stock =
(safety factor z)(std deviation in LT demand)***

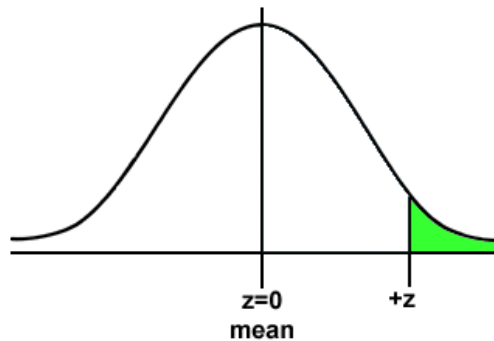
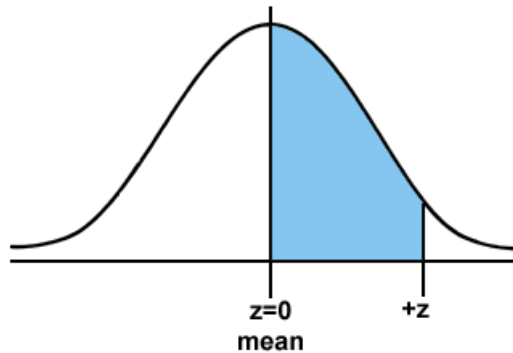


Read z from Normal table for a given service level

z-scores

- **What is the safety factor z ?**
 - z-score
 - A measure of an observation's distance from the mean.
 - The distance is measured in standard deviation units.
 - If a z-score is zero, it's on the mean.
 - If a z-score is positive, it's above the mean.
 - If a z-score is negative, it's below the mean.
 - If a z-score is 1, it's 1 SD above the mean.
 - If a z-score is -2 , it's 2 SDs below the mean.
 - Therefore the safety factor is the number of standard deviations from the mean a data point is.
 - But more technically it's a measure of how many standard deviations below or above the population mean a raw score is

Tabled values of the normal to estimate percentages



z score	z+	1-z+
0,10	0,5398	0,4602
0,20	0,5793	0,4207
0,30	0,6179	0,3821
0,40	0,6554	0,3446
0,50	0,6915	0,3085
0,60	0,7257	0,2743
0,70	0,7580	0,2420
0,80	0,7881	0,2119
0,90	0,8159	0,1841
1,00	0,8413	0,1587
1,10	0,8643	0,1357
1,20	0,8849	0,1151
1,30	0,9032	0,0968
1,40	0,9192	0,0808
1,50	0,9332	0,0668
1,60	0,9452	0,0548
1,70	0,9554	0,0446
1,80	0,9641	0,0359
1,90	0,9713	0,0287
2,00	0,9772	0,0228

`DIST.NORMP.N(0,3;VERDADEIRO)`

$$1 - 0.6179 = 0.3821$$

Qual o z-score para 96%?

`INV.NORMP.N(0,96) =`

1,750686

Computing a z-score

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma} \text{ or } z = \frac{X - \bar{X}}{SD}$$

Example:

The demand of a product follows a normal distribution with mean (μ) equal to 1026 and standard deviation SD (σ) equal to 209.

The demand of a given month is 1100.

How above is the the demand with respect to the mean?

$$z = \frac{1100 - 1026}{209} = 0.354 \text{ standard deviations above the mean}$$

Looking up into the z-table (next slide) or using `DIST.NORMP.N(0,354;1)`
= 0.6383



Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177

z-table

- normal distribution table
- shows the area to the *right* hand side of the curve
- A z-score of .354 is
= 0.1368 + 0.5000
= 0.6368 or 63.68%
above all values
- Or alternatively in Excel
- 1-DIST.NORMP.N(0,354;1)
- = 0.6383 or 63.83%
- Diferença é por conta de arredondamento na consulta à tabela



Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177

[illegible]

Example:

Assume a car dealer that faces demand for 5,000 cars per year, and that it costs \$15,000 to have the cars shipped to the dealership.

Holding cost is estimated at \$500 per car per year.

How many times should the dealer order, and what should be the economic order size?

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(15,000)(5,000)}{500}} = 548 \text{ cars per shipment}$$

What if the lead time to receive cars is 10 days?
(when should you place your order?)

Since D is given in years, first convert: 10 days = 10/365yrs

$$\text{ROP} = \frac{10}{365} D = \frac{10}{365} 5000 = 137$$

So, when the number of cars on the lot reaches 137,
order Q = 548 more cars.

The given estimate of the standard deviation of daily demand is $\sigma_d = 6$ cars

When should you re-order if you want to be 95% sure you don't run out of cars?

Since the expected yearly demand is 5000,
the expected demand over the lead time is $5000(10/365) = 137$ (= ROP).
The z-value corresponding to a service level of 0.95 is 1.65.
This z-value can be determined using Excel:

$$= \text{INV.NORMP.N}(0,95) = 1,644853627 \approx 1.65$$

$$ROP = 137 + 1.65 \cdot \sigma_{10dias}$$

$$\sigma_{10dias} = \sqrt{6^2 + 6^2 + \dots 6^2} = \sqrt{10 \cdot 6^2} = 18.974$$

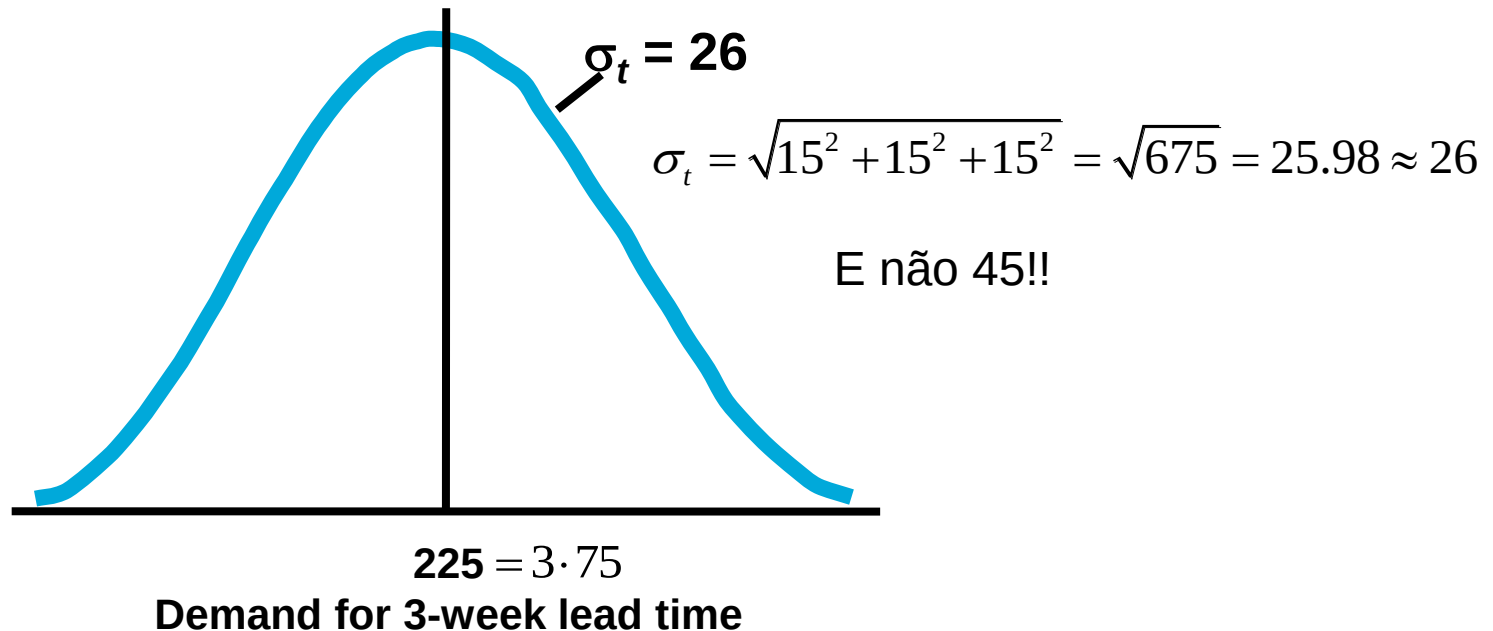
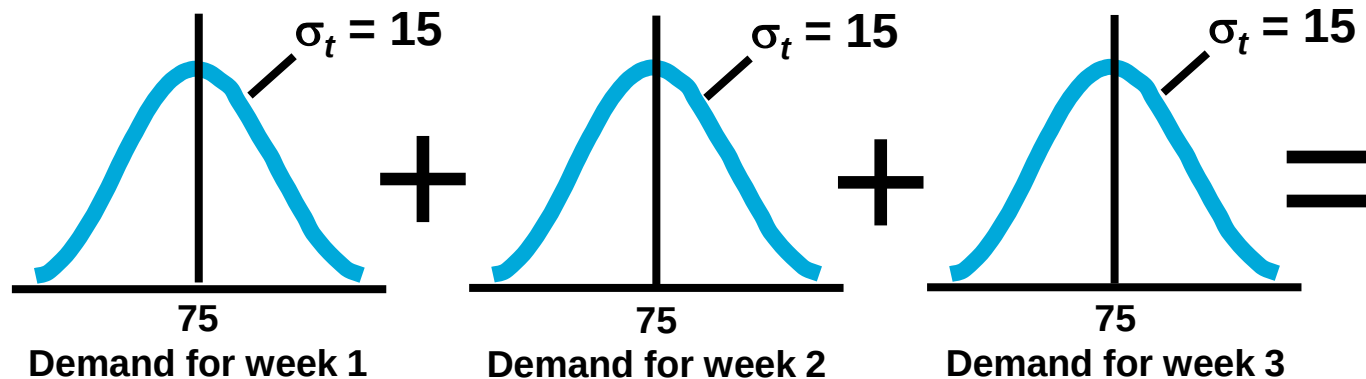
$$ROP = 137 + 1.65 \cdot 18.974 = 168$$

Therefore, order $Q = 548$ cars when the inventory level drops to 168.

Como encontrar z na tabela da normal para nível de serviço de 95%?

[illegible]

Development of Demand Distributions for the Lead Time



Caution: Std deviation in LT demand

Variance over multiple periods = the sum of the variances of each period (assuming independence)

Standard deviation over multiple periods is the square root of the sum of the variances, not the sum of the standard deviations!!!

$$ROP = 137 + 1.65\sqrt{10(36)} = 168$$

Variance = $6^2 = 36$

Lead time

Example 1

- **Weekly demand for Lego at a Walmart store is normally distributed with a mean of 2500 boxes and a standard deviation of 500 boxes**
- **The replenishment lead time is two weeks**
- **Assuming a continuous review replenishment policy, determine the safety inventory that the store should carry to achieve a service level of 90%**

$$\sigma_D = \sqrt{500^2 + 500^2} = \sqrt{2 \cdot 500^2} = 500\sqrt{2} = 707$$

- Z-score for level of service of 90% is $=\text{INV.NORMP.N}(0,90) = 1.2816$
- Safety inventory is $707 \cdot 1.2816 = 906$ boxes

Impact of lead time and uncertainty in demand

- **Lead time has NO impact if the demand is deterministic and at a constant rate.**
- **Uncertainty in the demand creates the need for safety stock**
- **Uncertain lead time under uncertain demand requires even a larger safety stock!**

Reorder Point for Variable Demand and Lead Time

- It is often the case that both demand and lead time are variable
- The equations get more complicated

$$\text{Safety stock} = Z \cdot \sigma_{D,LT}$$

$$\sigma_{D,LT} = \sqrt{\bar{D}^2 (\sigma_{LT})^2 + LT (\sigma_D)^2}$$

$$\begin{aligned} ROP &= (\text{Average demand} \times \text{Average lead time}) + \text{Safety stock} \\ &= DL + \text{Safety stock} \end{aligned}$$

Example 2

- **Daily demand for PC's at Dell is normally distributed with a mean of 2,500 and standard deviation of 500**
- **A key component is the hard drive (HD). The supplier takes 7 days to replenish inventory at Dell.**
- **Dell is targeting a level of service of 90% for its HD inventory**
- **Determine the safety inventory of HD if the standard deviation of the lead time is 3 days.**

$$\sigma_{D,LT} = \sqrt{\bar{D}^2 (\sigma_{LT})^2 + LT (\sigma_D)^2}$$

$$\sigma_{D,LT} = \sqrt{2500^2 (3)^2 + 7(500)^2} = 7616$$

Z-score for level of service of 90% is =INV.NORMP.N(0,90) = 1.2816

Safety stock of HD is $7616 \cdot 1.2816 = 9761$

Example 3

Grey Wolf Lodge is a popular 500-room hotel in the North Woods. Managers need to keep close tabs on all room service items, including a special pine-scented bar soap.

The daily demand for the soap is 275 bars, with a standard deviation of 30 bars.

Ordering cost (S) is \$10 and the inventory holding cost ($H=IC$) is \$0.30/bar/year.

The lead time from the supplier is 5 days, with a standard deviation of 1 day. The lodge is open 365 days a year.

- a. What is the economic order quantity for the bar of soap?**
- b. What should the reorder point be for the bar of soap if management wants to have a 99 percent cycle-service level?**
- c. What is the total annual cost for the bar of soap, assuming a Q system will be used?**

Solved Problem

SOLUTION

- a. We have $D = (275)(365) = 100,375$ bars of soap; $S = \$10$; and $H = IC = \$0.30$. The EOQ for the bar of soap is

$$\begin{aligned} \text{EOQ} &= \sqrt{\frac{2DS}{IC}} = \sqrt{\frac{2(100,375)(\$10)}{\$0.30}} \\ &= \sqrt{6,691,666.7} = 2,586.83 \text{ or } 2,587 \text{ bars} \end{aligned}$$

Solved Problem

- b. We have $\bar{D} = 275$ bars/day, $\sigma_d = 30$ bars, $\bar{L} = 5$ days, and $\sigma_{LT} = 1$ day.

$$\sigma_{dLT} = \sqrt{\bar{L}\sigma_d^2 + \bar{D}^2\sigma_{LT}^2} = \sqrt{(5)(30)^2 + (275)^2(1)^2} = 283.06 \text{ bars}$$

Consult the body of the Normal Distribution appendix for 0.9900. The closest value is 0.9901, which corresponds to a z value of 2.33. We calculate the safety stock and reorder point as follows:

$$\text{Safety stock} = z\sigma_{dLT} = (2.33)(283.06) = 659.53 \text{ or } 660 \text{ bars}$$

$$\text{Reorder point} = \bar{d}\bar{L} + \text{Safety stock} = (275)(5) + 660 = 2,035 \text{ bars}$$

Solved Problem

c. The total annual cost for the Q system is

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + (IC)(\text{Safety stock})$$

$$C = \frac{2,587}{2}(\$0.30) + \frac{100,375}{2,587}(\$10) + (\$0.30)(660) = \$974.05$$

Restrições ao Modelo de Lote Econômico

- **Variações nos valores de frete**
 - fretes unitários podem variar
 - descontos por volume
- **Descontos de preço para grandes compras**
- **Outros ajustes**
 - lote econômico de produção
 - múltiplos itens na compra
 - limitações de orçamento

Análise de Sensibilidade de Q*

- Qual o impacto de considerar um lote diferente do econômico?
- Lembrando que

$$CT = \left(\frac{D}{Q}\right) \times S + \left[I \times C \times \left(\frac{Q}{2}\right) \right]$$

- Considerando o seguinte exemplo :
 - $D = 2000$ $S = 500$ $I = 12.5\%$ $C = 50$
 - O lote econômico $Q^* = 400$

Custo de					
Manut					
Lote (Q)	Custo Pedido (D/Q)S	Estoque (ICQ/2)	Custo Total	Q/Q*	CT/CT*
800	1,250	5,000	6,250	200%	125%
600	1,667	3,750	5,417	150%	108%
400	2,500	2,500	5,000	100%	100%
200	5,000	1,250	6,250	50%	125%
20	50,000	125	50,125	5%	1003%

Análise de Sensibilidade da Demanda

- O que ocorre se a demanda variar
- Mesmo exemplo anterior :
 - $D = 2000$ $S = 500$ $I = 12.5\%$ $C = 50$
 - Lote econômico $Q^* = 400$

Custo de					
Manut					
Demanda (D')	Custo Pedido (D'/Q)S	Estoque (ICQ/2)	Custo Total	D'/D	CT'/CT
1,500	1,875	2,500	4,375	0.75	0.88
1,800	2,250	2,500	4,750	0.90	0.95
1,900	2,375	2,500	4,875	0.95	0.98
2,000	2,500	2,500	5,000	1.00	1.00
2,100	2,625	2,500	5,125	1.05	1.03
2,500	3,125	2,500	5,625	1.25	1.13

Desconto progressivo no preço C com lote Q

- Empresa do setor de suplementos vitamínicos com venda pela internet.
- **Compra vitaminas de um laboratório**
 - Demanda (D) = 10 mil frascos por mês
- **Custo por pedido (S) = \$100**
- **Custo de manutenção de estoque (I) = 20% ao ano**
- **Preço do produto (C) com desconto por quantidade:**

Quantidade pedida (frascos)	Preço Unitário (\$/frasco)	% Desconto
0 - 5000	3,00	0,0%
5001 - 10000	2,96	1,3%
> 10000	2,92	2,7%

- **Qual o tamanho do lote econômico?**

Método de cálculo para preço com desconto

- Calcular o lote econômico (Q) para cada faixa de desconto através da fórmula $Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}}$
- Se o valor do lote resultar dentro da faixa de desconto (por exemplo, 0 – 5000), OK.
- Caso contrário, ajustar o lote para o extremo da faixa mais próximo
- Calcular o custo total anual para cada faixa

$$CT = \left(\frac{D}{Q}\right) \times S + \left[I \times C \times \left(\frac{Q}{2}\right) \right] + D \times C$$

- Selecionar a faixa de desconto correspondente ao de menor custo total

Resolução

Demanda	D=	120000 frascos/ano
Custo de Pedido	S=	100 \$/pedido
Custo manut estoque	I=	20% ao ano

Cálculos

Quantidade pedida (frascos)	Lote Econômico (Q)	Lote Econômico Corrigido (Q')	Custo Pedido (D/Q')S	Custo de Manut Estoque (ICQ/2)	Custo de Aquisição (DC)	Custo Total	
0 - 5000	6.324,6	5.000	2.400	1.500	360.000	363.900	
5001 - 10000	6.367,1	6.367	1.885	1.885	355.200	358.969	
> 10000	6.410,6	10.000	1.200	2.920	350.400	354.520	ótima