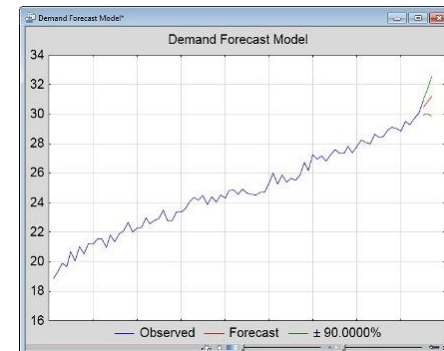




Previsão de Demanda



Logística

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

março de 2016

Previsão de Demanda

- **Conhecer a demanda futura é fundamental para a gestão de estoques**
 - Previsões sempre estão erradas!
- **Parte da demanda futura é previsível**
 - Há regularidade (média constante)
 - Pode haver tendência (crescimento ou redução)
 - Pode haver sazonalidade
- **Parte da demanda futura é imprevisível**
 - Variações erráticas, irregulares, sem previsão
 - Estoque tem função de segurança contra desabastecimento

“Previsões estão sempre erradas”

- Demanda é essencialmente uma variável contínua
- Toda estimativa tem uma faixa de erro
- Previsões são feitas em nível desagregado
 - Por SKU
 - Por local
 - Por período de tempo
- ***Things happen***

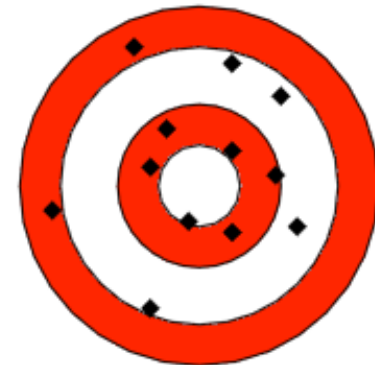
Accuracy x Bias

- Accuracy - Closeness to actual observations
- Bias - Persistent tendency to over or under predict

Accurate



Not Accurate

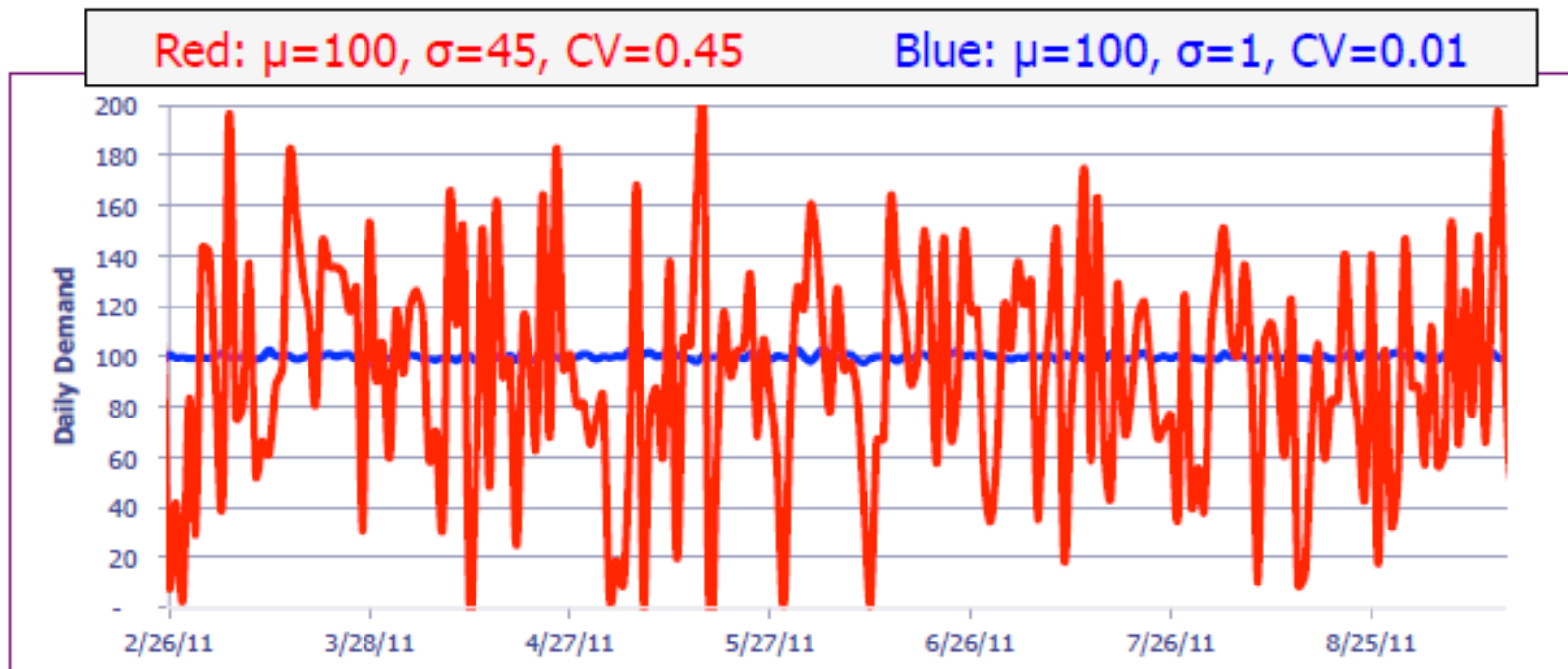


Biased

Not Biased

Previsões agregadas são mais precisas

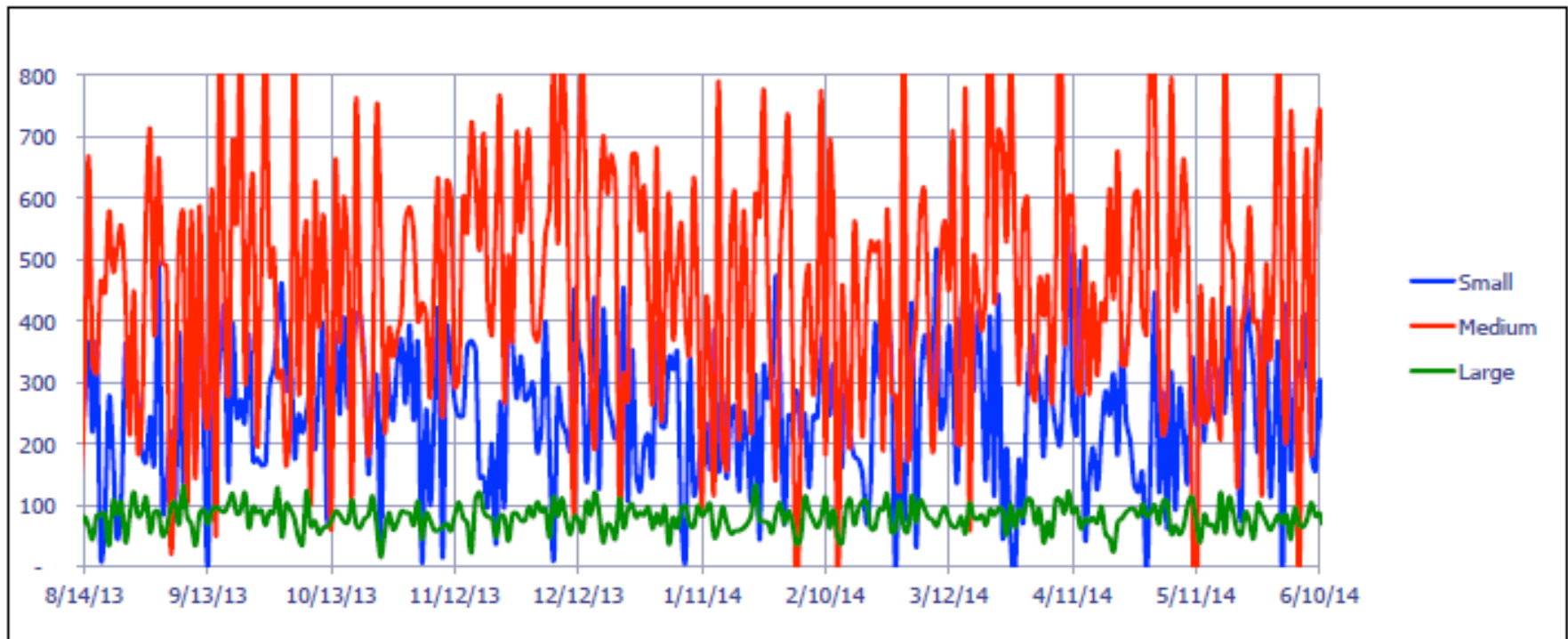
- Agregação por SKU, período, local
- Coeficiente de variação (CV)
 - Definição: Desvio Padrão / Média = σ/μ
 - Fornece uma medida relativa da volatilidade ou incerteza
 - Quanto mais alto o valor maior a volatilidade



Previsões desagregadas

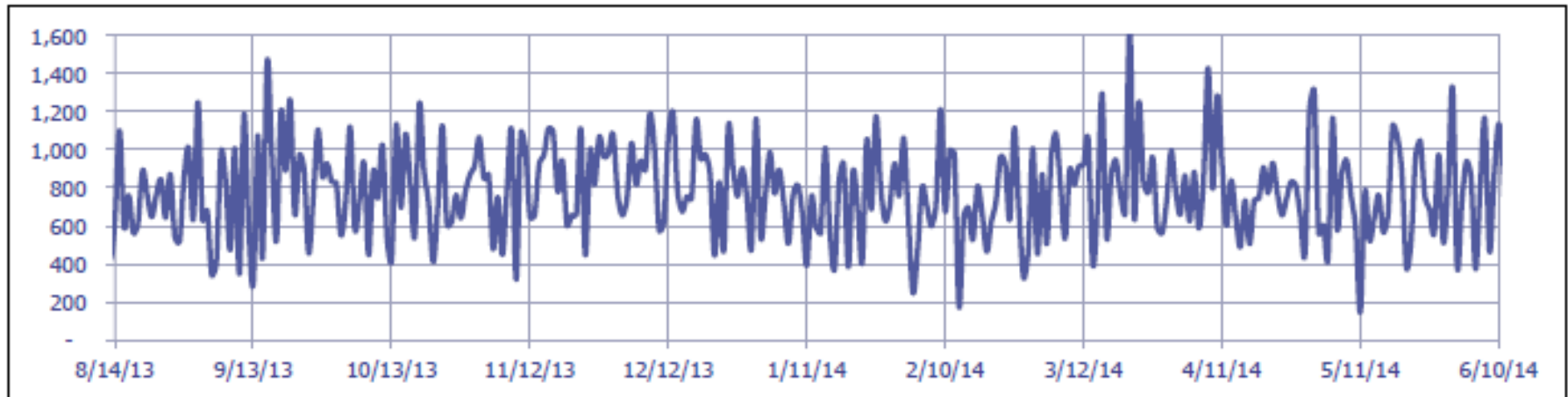
- Copos descartáveis para refrigerante

- Tamanho Grande $\sim N(80, 30)$ CV = 0,375
- Tamanho Médio $\sim N(210, 450)$ CV = 0,467
- Tamanho Pequeno $\sim N(250, 110)$ CV = 0,440



Demanda agregada

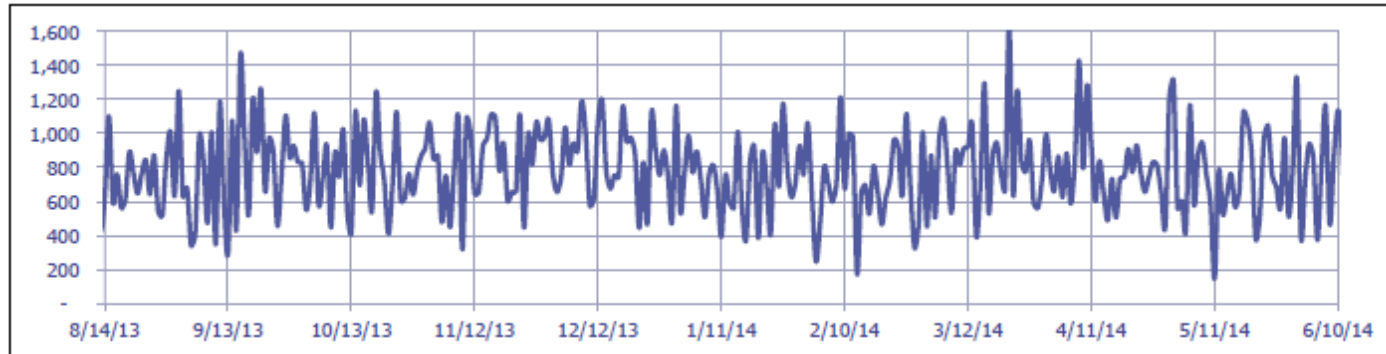
- $\mu = (80 + 450 + 250) = 780$ unidades/dia
- $\sigma = \text{sqrt}(302 + 2102 + 1102) = 239$ unidades por dia
- $\sim N(780, 239)$ CV = 0,306



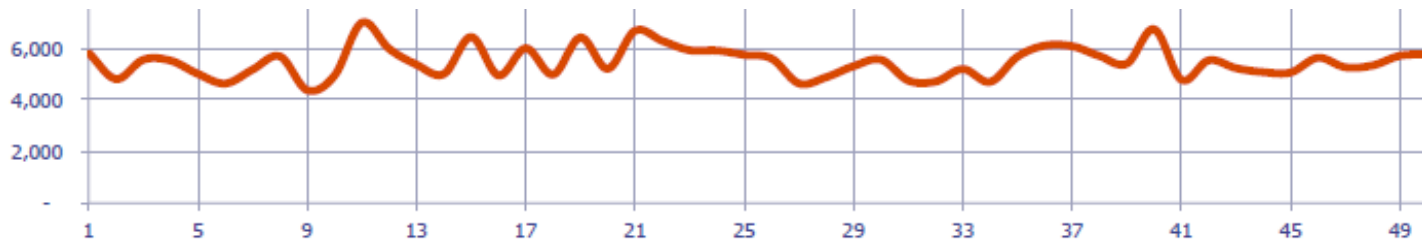
- Modularidade de componentes: por exemplo, tampa
 - Reduz variabilidade
 - Melhora previsibilidade
 - Reduz necessidade de estoque de segurança

Agregação Temporal

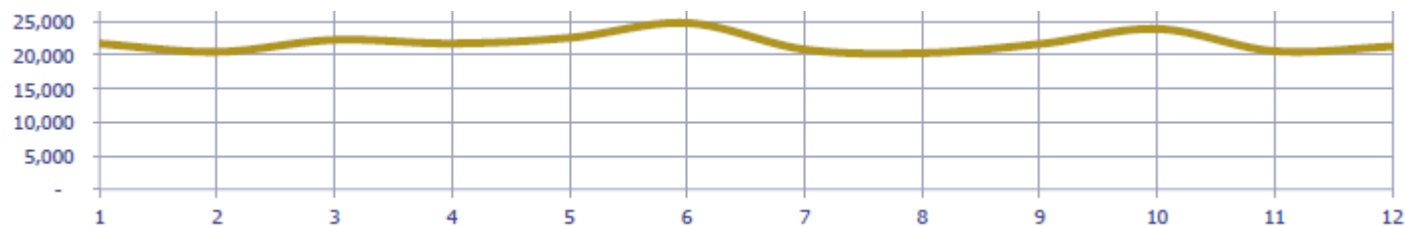
- **Demanda Diária** $\sim N(780, 239)$ $CV = 0,306$



- **Demanda semanal** $\sim N(5458, 632)$ $CV = 0,116$



- **Demanda mensal** $\sim N(21840, 1264)$ $CV = 0,058$



Agregação Espacial

- **Três lanchonetes**

- Cada uma delas com demanda semanal $\sim N(5458, 632)$ $CV = 0,116$



- Demanda agregada (por exemplo, em um único centro de distribuição):
- $\mu = 5458 + 5458 + 5458 = 16374$ unidades por dia
- $\sigma = \text{sqrt}(3 \times 632^2) = 1095$
- $\sim N(16374, 1095)$ $CV = 0,067$

Tipos de demanda

- **Demanda dependente**

- Demanda de itens ou componentes utilizados na produção final de algum produto
- Por exemplo, pneus de carros numa montadora

- **Demanda independente**

- Demanda de produtos finais vendidos ou comercializados
- Por exemplo, carros, TVs, computadores, etc



Métodos de Previsão de Demanda

- **Temporais: baseados em série histórica**
 - Há regularidade (média constante)
 - Pode haver tendência (crescimento ou redução)
 - Pode haver sazonalidade
- **Causais ou Explicativos: baseados em variáveis explicativas**
 - Conseguem tentar prever parcela da demanda imprevisível
 - Variações erráticas, irregulares, sem previsão
 - Exemplo: previsão de consumo de cerveja ou sorvete em função do tempo (meteorologia), dos feriados, etc.

Métodos empíricos (subjetivos)

- **Baseados em julgamento**
 - Estimativa pela força de vendas
 - Painel de Especialistas
 - Técnicas baseadas no método de Delphi
- **Experimentais**
 - Pesquisas com clientes
 - Sessões de focus group
 - Experimentos de marketing

Métricas de Previsão

- **Erro na previsão para o período t :**

$$e_t = A_t - F_t$$

A_t = valor observado/ocorrido no período t

F_t = valor previsto para o período t

- **Desvio médio e desvio médio absoluto**

$$DM = \frac{\sum_{t=1}^n e_t}{n}$$

$$DMA = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n}$$

n = número de observações

Métricas de Previsão

- Erro médio quadrático e sua raiz

$$EMQ = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n}$$

$$rEMQ = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n}}$$

- Erro médio percentual e erro médio percentual absoluto

$$EMP = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{e_t}{A_t}}{n}$$

$$EMPA = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{A_t}}{n}$$

Exemplo: Previsão de Sorvete em Lanchonete

Dia	Previsto	Realizado
1	50	43
2	50	42
3	50	66
4	50	38
5	75	86

Métricas de Previsão

Dia	F_t	A_t	e_t	$ e_t $	e_t^2	$ e_t/A_t $
1	50	43	-7	7	49	0.163
2	50	42	-8	8	64	0.190
3	50	66	16	16	256	0.242
4	50	38	-12	12	144	0.316
5	75	86	11	11	121	0.128
Soma			0	54	634	1.039
Média			0	10.8	126.8	0.208

EMQ 126.8

- Desvio média absoluto: $DMA = 54/5 = 10.8$
- Erro médio quadrático: $EMQ = 126.8 / 5 = 11.3$
- Erro médio percentual absoluto: $EMPA = 1.039 / 5 = 0.208 = 20.8\%$

Modelos de Previsão de Demanda Baseados em Série Histórica

- **Utiliza dados do passado para prever o futuro**
- **Média Móvel**
- **Suavização Exponencial**
 - Simples
 - Com tendência
 - Com sazonalidade
 - Com tendência e sazonalidade

Média Móvel para Previsão de Demanda

- A demanda futura de um período t (semana, mês) é dada pela média das demandas de x períodos (semanas, meses) anteriores a t
- A cada período t , a média muda (porisso chama-se média móvel ou corrida)
- Igual peso para todas as observações
- Exemplo:

Semana	Venda (At)	Média Móvel)
1	103	
2	94	
3	92	
4	101	
5	107	97.5
6	95	98.5
7	94	98.8
8	91	99.3
9	102	96.8
10	105	95.5


$$\frac{103 + 94 + 92 + 101}{4}$$

Suavização Exponencial Simples

- Cada observação é ponderada considerando a demanda real e a previsão para o período anterior
- Pesos decrescem exponencialmente com o tempo
- Previsão para o próximo período $t+1$ = $\alpha(\text{demanda real para } t) + (1 - \alpha)\text{previsão para } t$

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)F_t$$

F_{t+1} = previsão para o período $t+1$

A_t = demanda real (ocorrida) no período t

F_t = previsão para o período t

α = constante de suavização (amacramento) exponencial

Suavização exponencial simples

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha) F_t$$

- Mas $F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha) F_{t-1}$
- Assim

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha) [\alpha A_{t-1} + (1 - \alpha) F_{t-1}]$$

$$F_{t+1} = \alpha A_t + \alpha(1 - \alpha) A_{t-1} + (1 - \alpha)^2 F_{t-1}$$

- Generalizando, o termo geral pode ser escrito como:

$$F_{t+1} = \alpha(1 - \alpha)^0 A_t + \alpha(1 - \alpha) A_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 A_{t-2} + \dots$$

Suavização Exponencial Simples

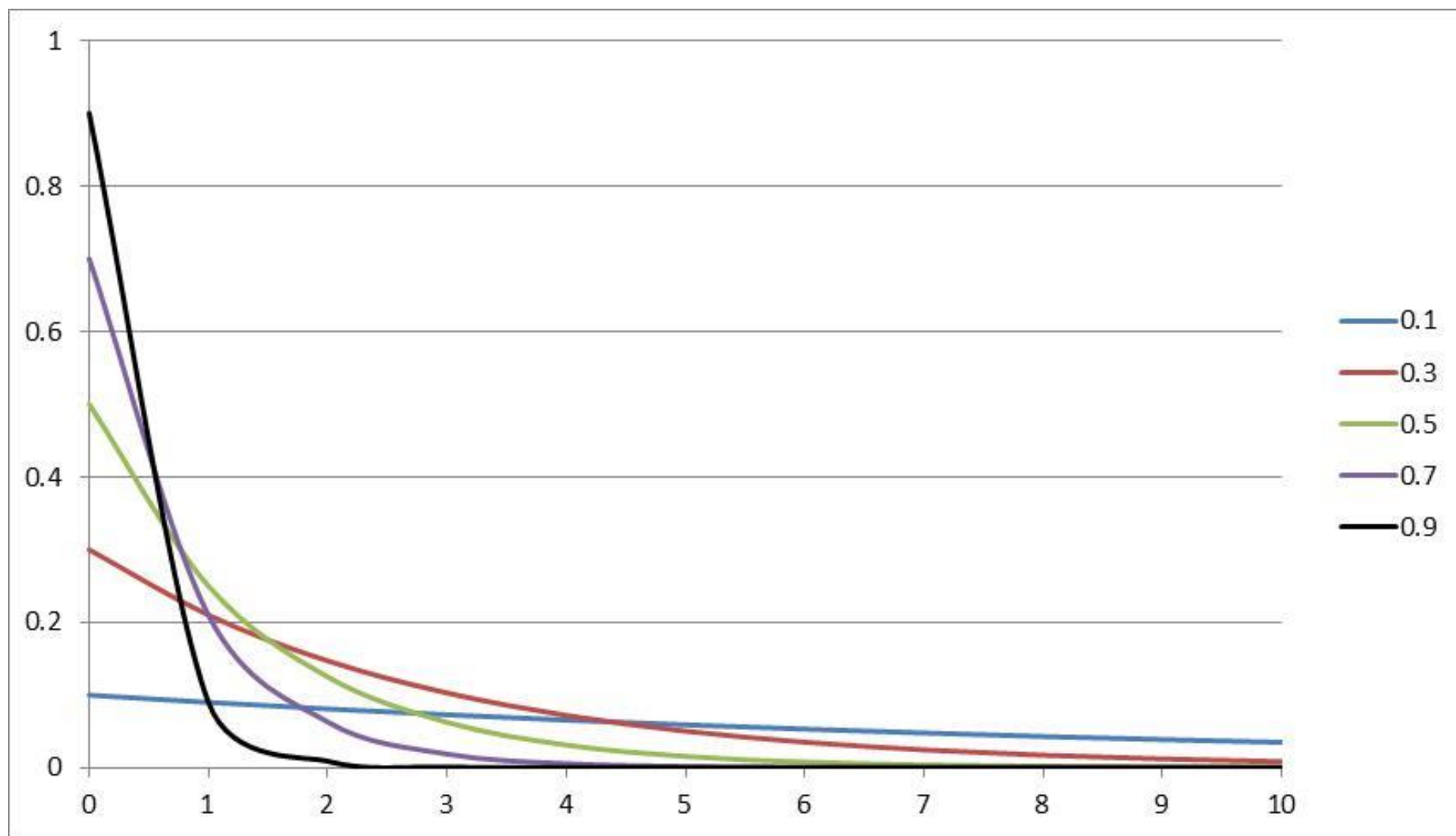
- O valor de alpha indica o valor da informação “nova” versus a velha

valor de α					
t	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
1	0.09	0.21	0.25	0.21	0.09
2	0.081	0.147	0.125	0.063	0.009
3	0.0729	0.1029	0.0625	0.0189	0.0009
4	0.06561	0.07203	0.03125	0.00567	9E-05
5	0.059049	0.050421	0.015625	0.001701	9E-06
6	0.053144	0.035295	0.007813	0.00051	9E-07

$\alpha \rightarrow 1$ leva a suavização “nervosa”, volátil, imediata

$\alpha \rightarrow 0$ leva a suavização lenta, cumulativa

Efeito do coeficiente de suavização alfa



Example

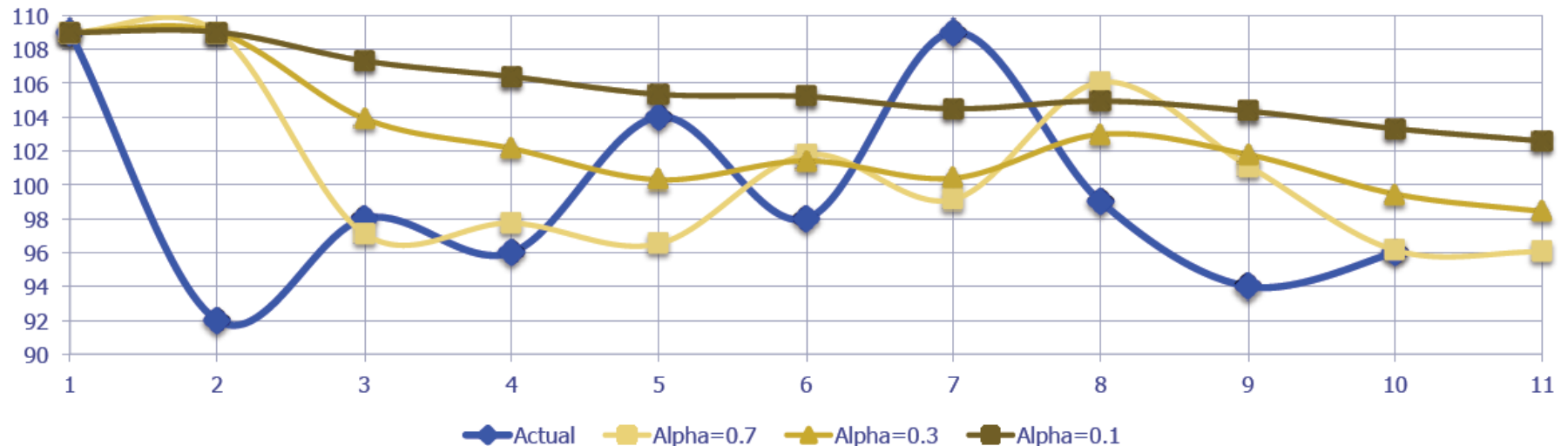
Calculate the forecast for period 6
from period 5 with alpha = 0.3:

$$\begin{aligned}\hat{x}_{5,6} &= (\alpha)x_5 + (1-\alpha)\hat{x}_{4,5} \\ &= (.3)(104) + (0.7)(100.3) = 101.4\end{aligned}$$

What is the forecast for period 12
from period 10 with alpha = 0.3?

(hint: it is the same as the forecast for period 13, 14, . . .)

t	x_t	$\hat{x}_{t,t+1}$ Exp. Smoothing		
		Alpha =0.7	Alpha =0.3	Alpha =0.1
1	109	109.0	109.0	109.0
2	92	97.1	103.9	107.3
3	98	97.7	102.1	106.4
4	96	96.5	100.3	105.3
5	104	101.8	101.4	105.2
6	98	99.1	100.4	104.5
7	109	106.0	103.0	104.9
8	99	101.1	101.8	104.3
9	94	96.1	99.4	103.3
10	96	96.0	98.4	102.6



Exemplo

					$\alpha =$	0.20	
						Ajuste Exponencial	
Semana	Venda (At)		Média Corrida	Desvio		Ft	Desvio
1	103					103.00	
2	94					103.00	
3	92					101.20	
4	101					99.36	
5	107		97.5			99.69	
6	95		98.5			101.15	
7	94		98.8			99.92	
8	91		99.3			98.74	
9	102		96.8	-5.25		97.19	-4.81
10	105		95.5	-9.50		98.15	-6.85
11	110		98	-12.00		99.52	-10.48
12	95		102	7.00		101.62	6.62
13	92		103	11.00		100.29	8.29
14	106		100.5	-5.50		98.63	-7.37

Suavização Exponencial com correção de tendência

- **Incorpora fator que procura levar em conta tendência da série histórica:**
 - Crescimento
 - Declínio

Suavização Exponencial com correção de tendência

$$F_{t+1} = S_{t+1} + T_{t+1}$$

$$S_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)F_t$$

$$T_{t+1} = \beta(S_{t+1} - S_t) + (1 - \beta)T_t$$

F_{t+1} = previsão com correção de tendência para o período $t+1$

A_t = demanda real (ocorrida) no período t

F_t = previsão com correção de tendência para o período t

T_t = tendência para o período t

α = constante de suavização (amaciamento) exponencial

β = constante ponderada de tendência

Exemplo

			$\alpha =$	0.1		
			$\beta =$	0.2		
			Ajuste Exponencial com Tendência			
Semana	Venda (At)		St	Tt	Ft	Desvio
1	103		103.00	0.00	103.00	
2	94		103.00	0.00	103.00	
3	92		102.10	-0.18	101.92	
4	101		100.93	-0.38	100.55	
5	107		100.59	-0.37	100.23	
6	95		100.90	-0.23	100.67	
7	94		100.10	-0.35	99.75	
8	91		99.18	-0.46	98.72	
9	102		97.95	-0.62	97.33	-4.67
10	105		97.80	-0.52	97.27	-7.73
11	110		98.05	-0.37	97.68	-12.32
12	95		98.91	-0.12	98.79	3.79
13	92		98.41	-0.20	98.21	6.21
14	106		97.59	-0.32	97.27	-8.73

Modelos Causais

- Utilizados quando a demanda pode ser correlacionada com um ou mais fatores/variáveis conhecidas e mensuráveis
- Demanda (y) é função de variáveis dependentes ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$)
- Exemplo:

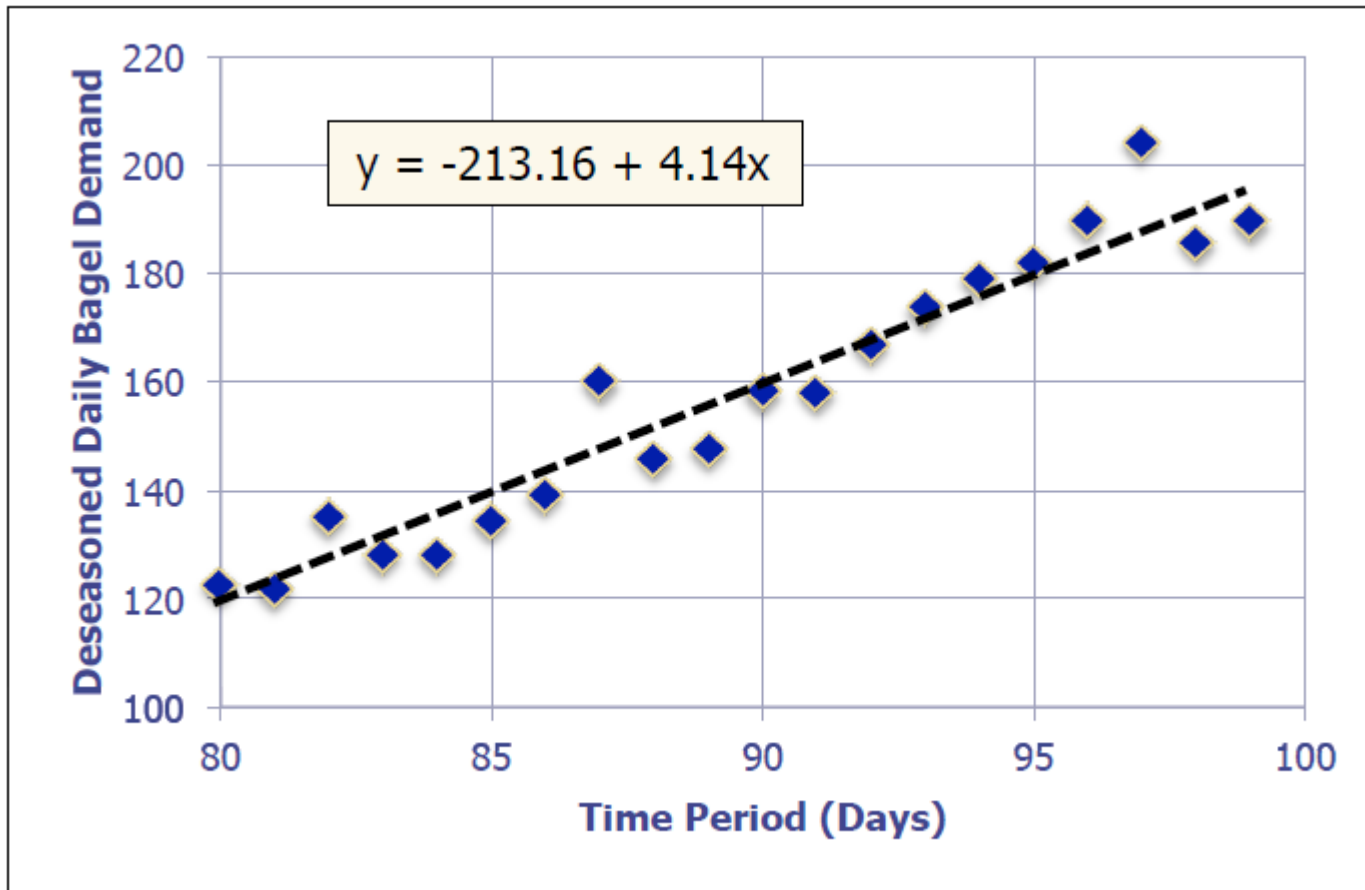


Fralda descartável
 $f(\text{nascimentos, renda})$



peças de funilaria
 $f(\text{tempo/chuva/neve})$

Regressão Linear Simples



Regressão Linear Simples

- Resíduos (e_i) representam as diferenças entre valores ocorridos e previstos

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n$$

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

$$e_i = y_i - b_0 - b_1 x$$

- Como minimizar os resíduos?
 - Minimizar a soma dos erros
 - Minimizar a soma dos erros absolutos
 - Minimizar a soma dos quadrados dos erros

$$\sum_{i=1}^n (e_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x)^2$$

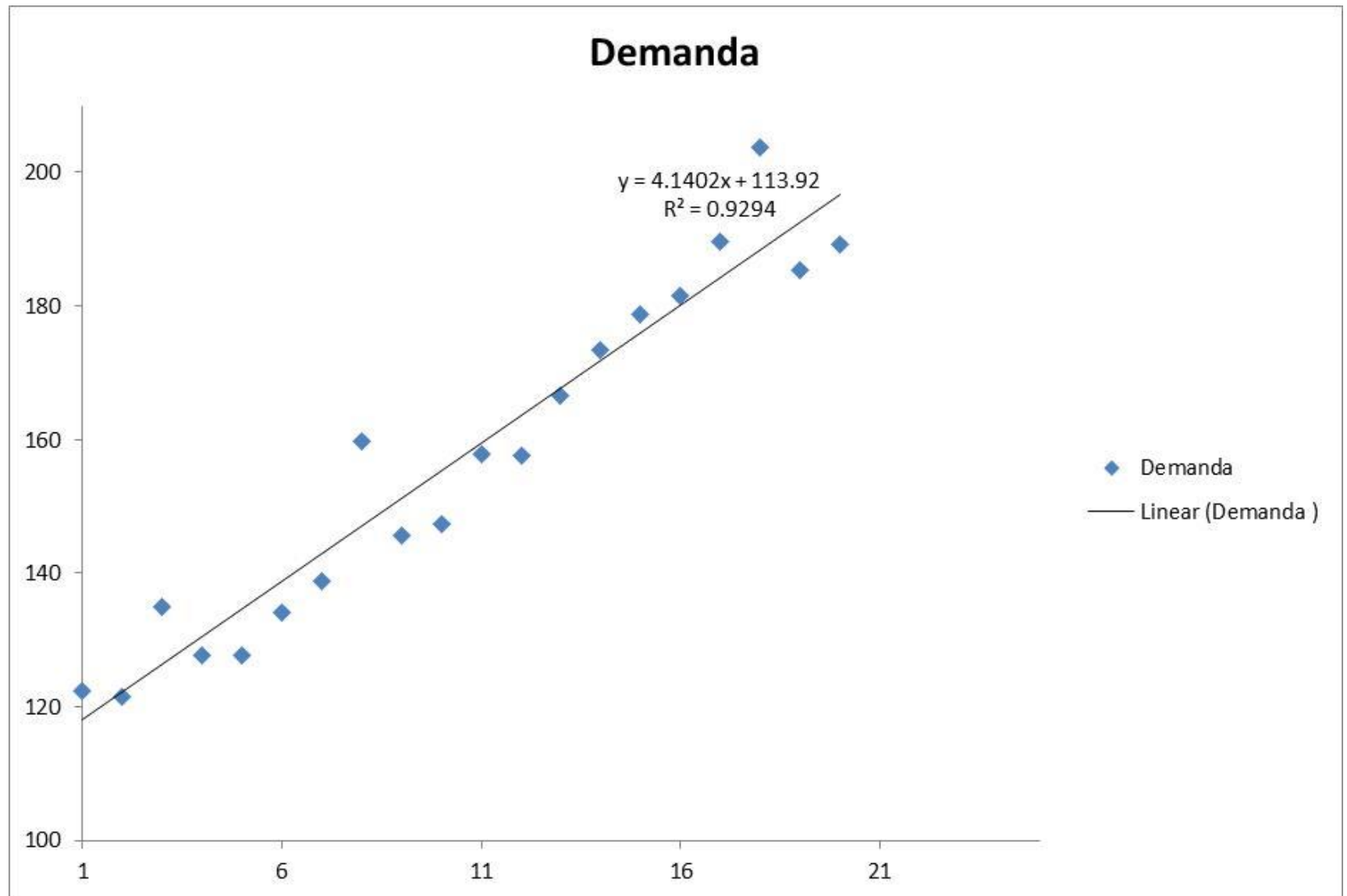
Exemplo

x	y				(x-med(x))*
Período	Demanda	x - med(x)	y - med(y)	(x - med(x))^2	(y - med(y))
1	122.5	-9.5	-34.9	90.25	331.5025
2	121.7	-8.5	-35.7	72.25	303.4075
3	135.2	-7.5	-22.2	56.25	166.4625
4	128.0	-6.5	-29.4	42.25	191.0675
5	128.0	-5.5	-29.4	30.25	161.6725
6	134.4	-4.5	-23.0	20.25	103.4775
7	139.0	-3.5	-18.4	12.25	64.3825
8	160.0	-2.5	2.6	6.25	-6.5125
9	145.8	-1.5	-11.6	2.25	17.3925
10	147.6	-0.5	-9.8	0.25	4.8975
11	158.1	0.5	0.7	0.25	0.3525
12	157.8	1.5	0.4	2.25	0.6075
13	166.7	2.5	9.3	6.25	23.2625
14	173.6	3.5	16.2	12.25	56.7175
15	179.0	4.5	21.6	20.25	97.2225
16	181.8	5.5	24.4	30.25	134.2275
17	189.8	6.5	32.4	42.25	210.6325
18	204.0	7.5	46.6	56.25	349.5375
19	185.5	8.5	28.1	72.25	238.8925
20	189.4	9.5	32.0	90.25	304.0475
10.5	157.4	0	0.0	665.00	2753.2500

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

Gráfico



Regressão Linear Múltipla

Dada uma variável dependente y e k variáveis explicativas $x_1, \dots, x_k$ e n observações destas variáveis o modelo de regressão linear múltipla é dado por

$$y_i = \alpha + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (7.4)$$

Deve-se ter um certo cuidado na interpretação do R^2 uma vez que é sempre possível aumentar o seu valor acrescentando-se mais variáveis regressoras ao modelo. Uma forma de corrigir isto é calcular o R^2 ajustado,

$$R^2_{\text{ajustado}} = 1 - \frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - k}.$$

O Teste F

Suponha agora que queremos testar a hipótese mais geral de que não existe qualquer relação linear entre a variável dependente e as regressoras no seu modelo.

$$F = \frac{n - k + 1}{k} \frac{R^2}{1 - R^2}.$$

Regressão Linear Múltipla

Período	Preço	Demanda
2	\$ 2.25	654
4	\$ 2.35	652
6	\$ 2.45	684
8	\$ 2.55	658
10	\$ 2.65	657
12	\$ 2.55	706
14	\$ 2.45	744
16	\$ 2.55	811
18	\$ 2.65	763
20	\$ 2.75	765
22	\$ 2.65	792
24	\$ 2.75	790
26	\$ 2.65	868
28	\$ 2.55	897
30	\$ 2.45	911
32	\$ 2.35	950
34	\$ 2.25	981
36	\$ 2.15	1069
38	\$ 2.25	965
40	\$ 2.35	986

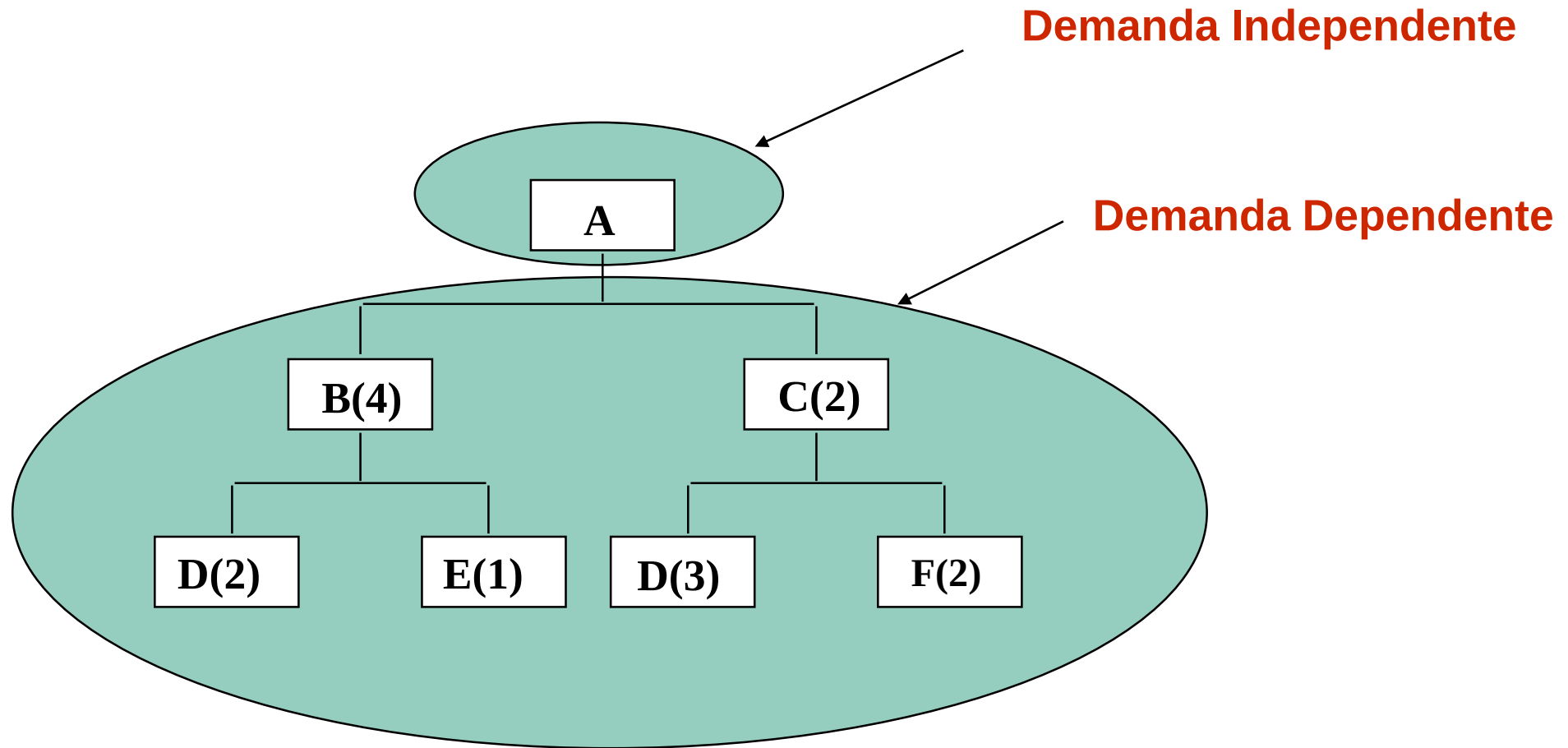
Modelo 1: considerando apenas o tempo		
=proj.lin(D3:D22,B3:B22,1,1)		
10.58	593.03	
0.73	17.57	
0.9203	37.83	
207.93	18	
297585.8	25760.8	

Modelo 2: considerado tempo e preço		
=proj.lin(D3:D22,B3:C22,1,1)		
-148.32	9.96	973.75
37.80	0.57	97.91
0.9582	28.20	#N/D
194.82	17	#N/D
309828.5	13518.0	#N/D

Comparando os modelos via R2 ajustado		
	(n-1)/(n-k-1)	R2 ajustado
Model 1	1.056	0.9159
Model 2	1.118	0.9533

$$R^2_{\text{ajustado}} = 1 - \frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - k}$$

MRP – *Material Requirement Planning*

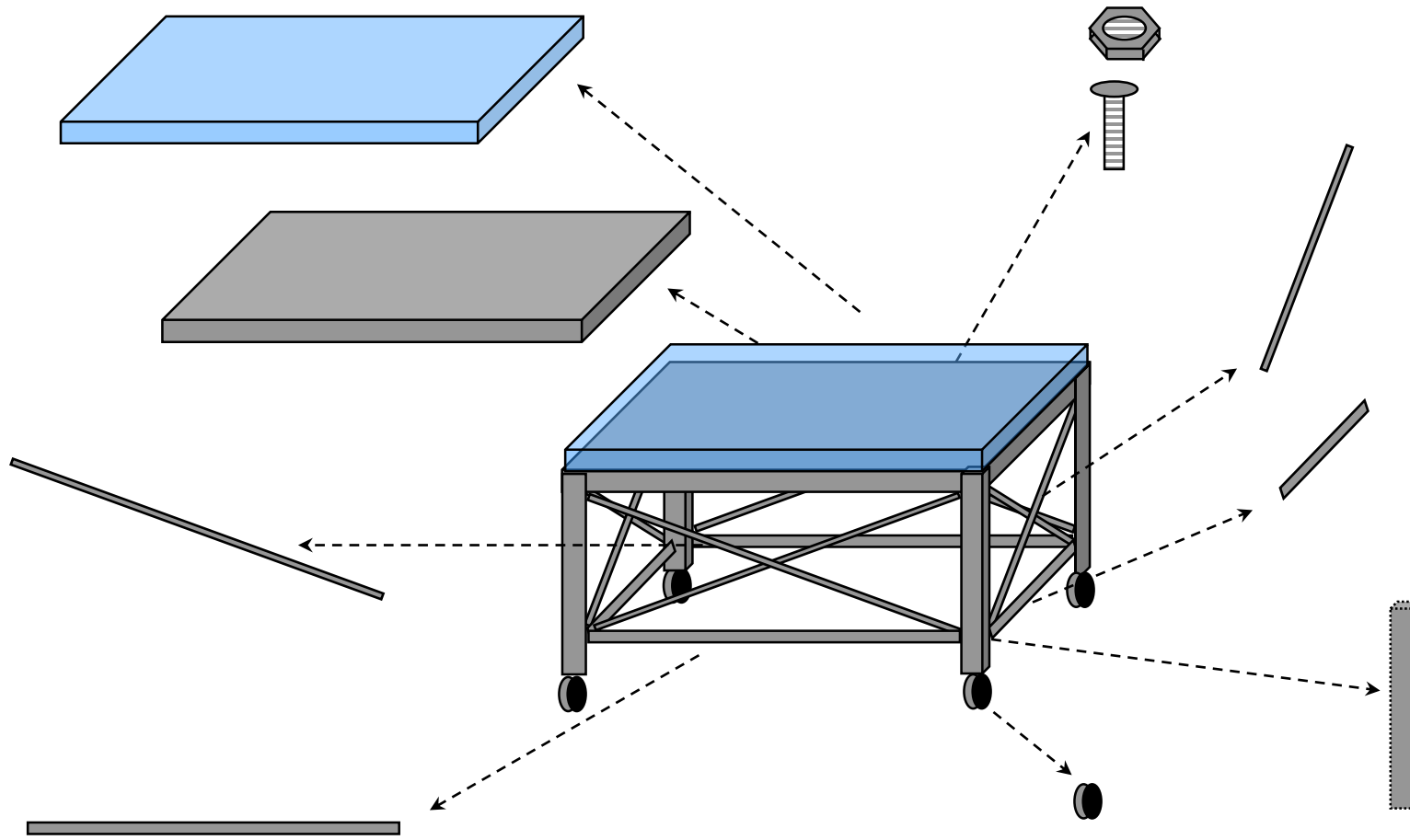


**Demanda independente apresenta incertezas.
Demanda dependente pode ser determinada com “mais” certeza**

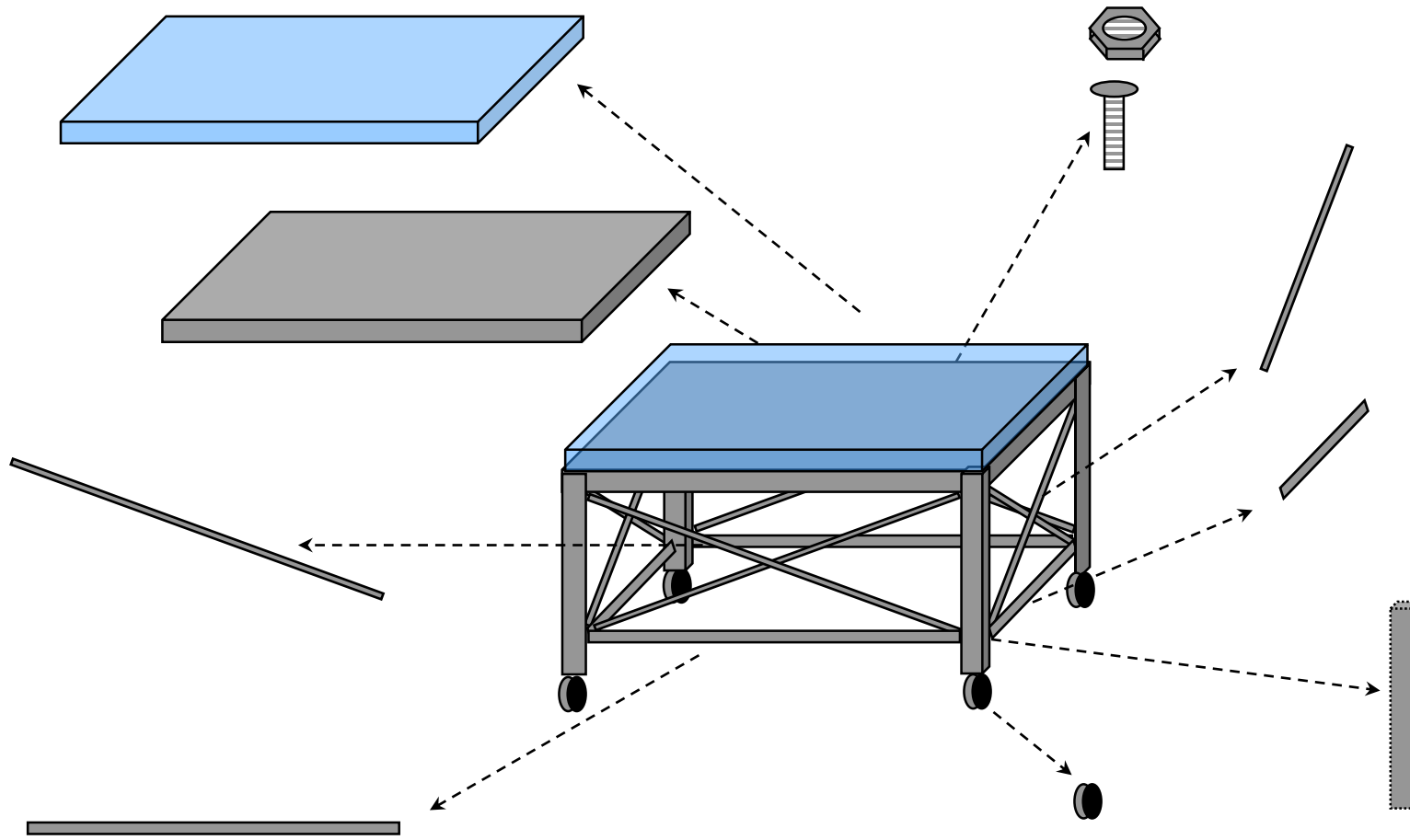
Demanda Dependente

- **Demanda de componentes ou itens que são montados e utilizados na produção dos produtos finais.**
- **Uma vez que a demanda independente seja conhecida, a demanda dependente pode ser determinada.**
- **Exemplos**
 - Automóveis
 - Aviões
 - Computadores
 -

Estrutura de Produtos (*Bill-Of-Materials* BOM)

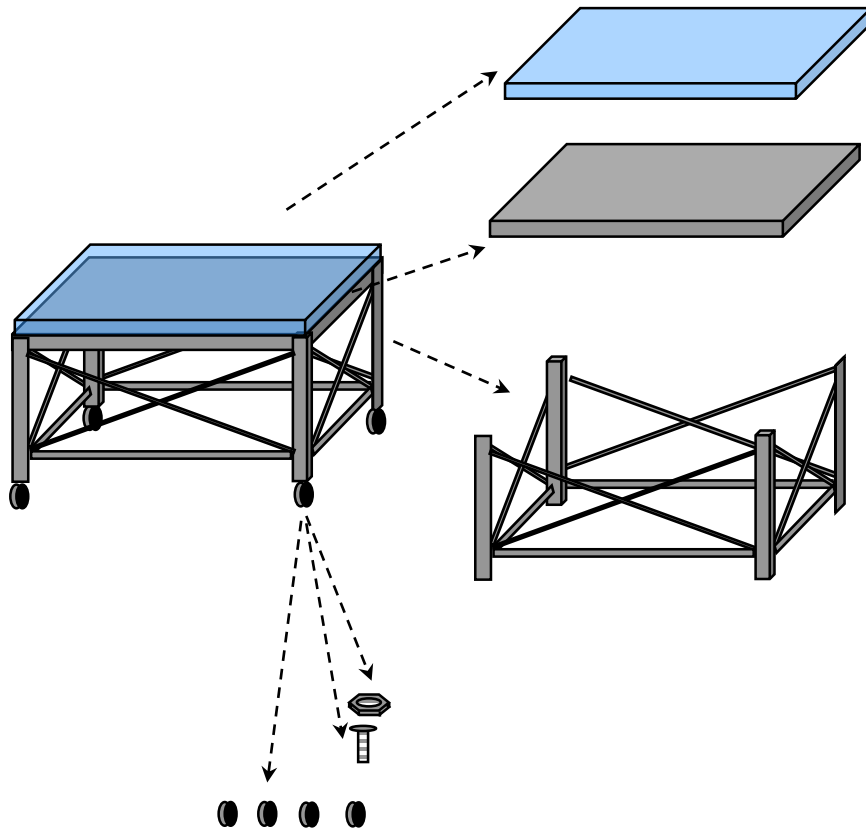


Estrutura dos Produtos (Bill-Of-Materials BOM)



Estrutura dos Produtos (BOM)

BOM com um só nível



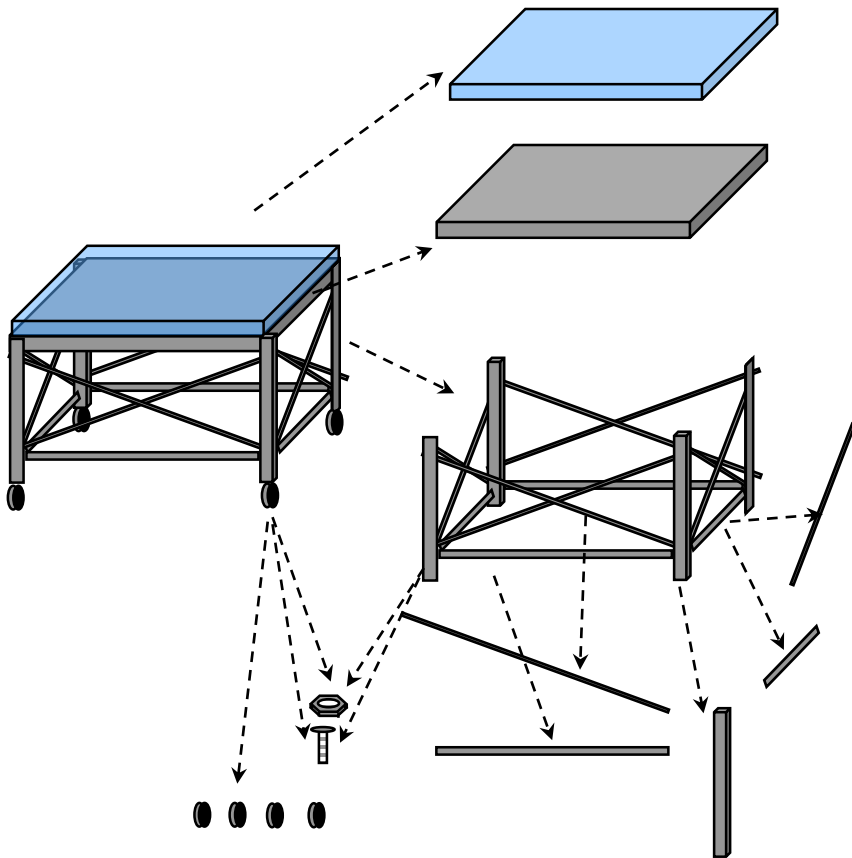
Peça nºM012: Mesa com rodas

Nº da peça	Descrição	Quant.	Unidades
3011	Tampo acrílico	1	unid
3012	Tampo metálico	1	unid
2050	Estrutura base	1	unid
5010	Roda tipo metálico	4	unid
1001	Parafuso aço M6	4	unid
1011	Porca aço M6	4	unid
9001	Tinta	1	¼ litro

Apontador para outro subconjunto

Estrutura dos Produtos (BOM)

BOM com vários níveis

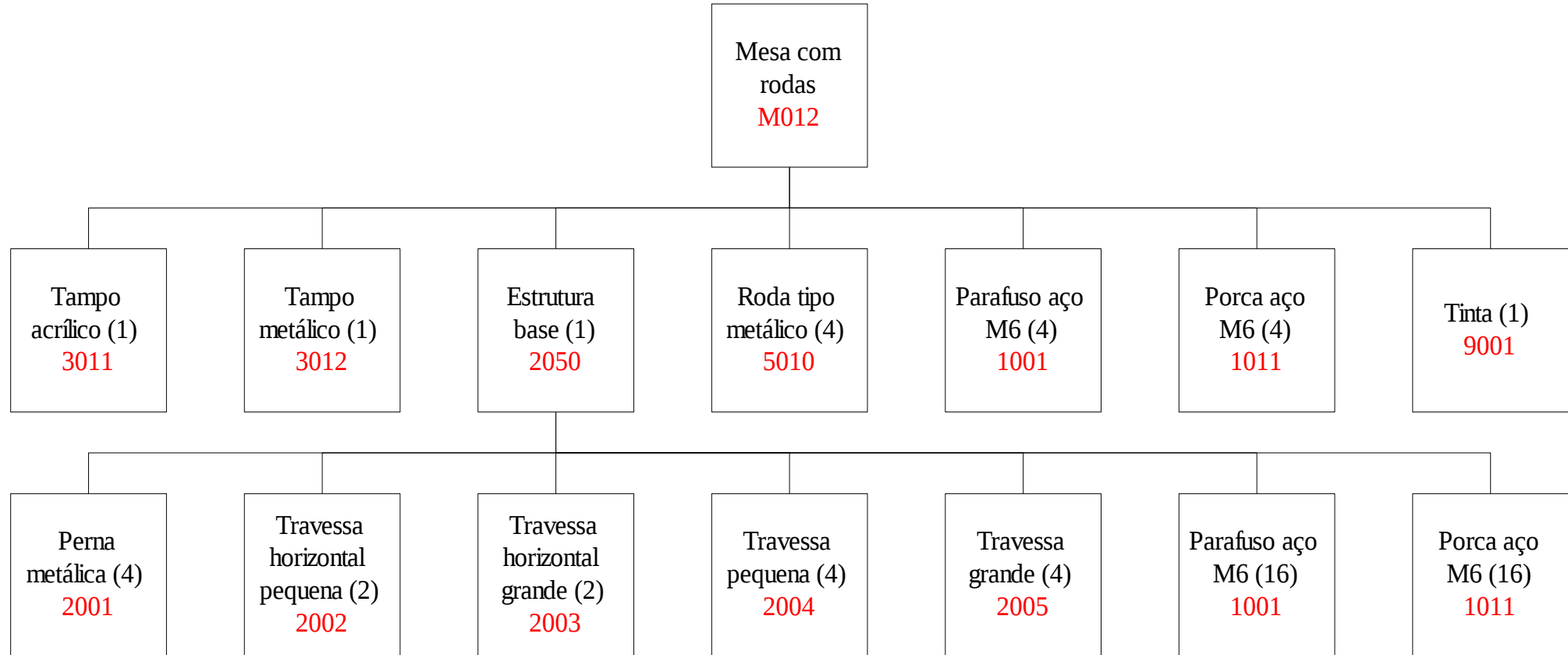


Peça nºM012: Mesa com rodas

Nº da peça	Descrição	Quant.	Unidades	Nível
3011	Tampo acrílico	1	unid	1
3012	Tampo metálico	1	unid	1
2050	Estrutura base	1	unid	1
2001	Perna metálica	4	unid	2
2002	Travessa hor. peq	2	unid	2
2003	Travessa hor. gra.	2	unid	2
2004	Travessa peq.	4	unid	2
2005	Travessa gra.	4	unid	2
1001	Parafuso aço M6	16	unid	2
1011	Porca aço M6	16	unid	2
5010	Roda tipo metálico	4	unid	1
1001	Parafuso aço M6	4	unid	1
1011	Porca aço M6	4	unid	1
9001	Tinta	1	¼ litro	1

Estrutura dos Produtos (BOM)

BOM com vários níveis



MRP

Exemplo - dados

Nº da peça	Descrição	Quant.	Unidades	Disponib Estoque	Prazo entrega (sem)
M012	Mesa com rodas			3	1
3011	Tampo acrílico	1	unid	10	2
3012	Tampo metálico	1	unid	12	1
2050	Estrutura base	1	unid	3	1
5010	Roda tipo metálico	4	unid	100	1
1001	Parafuso aço M6	4	unid	1000	0
1011	Porca aço M6	4	unid	1000	0
9001	Tinta	1	¼ litro	1000	1

Exemplo - explosão do Plano Director da Produção

Quantidades necessárias

[illegible]

MRP

Exemplo - produção por lotes

Semana atual - semana 27

Semana	28	29	30	31	32	33	34	35	Tot
M012 (p.e.=1)									
Nec. brutas	1	2	3	0	4	1	3	2	16
Disponibilid (3)	2	0	-3	-3	-7	-8	-11	-13	3
Nec líquidas	0	0	3	0	4	1	3	2	13
Ordens planejadas	0	10	0	0	0	10	0	0	20
3011 (p.e.=2)									
Nec. brutas	0	10	0	0	0	10	0		20
Disponibilid (10)	10	0	0	0	0	-10	-10		10
Nec líquidas	0	0	0	0	0	10	0		10
Ordens planejadas	0	0	0	20	0	0	0	0	20

5010 (p.e.=1)									
Nec. brutas	0	40	0	0	0	40	0		80
Disponibilid (100)	100	60	60	60	60	20	20		100
Nec líquidas	0	0	0	0	0	0	0		0
Ordens planejadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quantidades necessárias

Lote de Produção

MRP

Exemplo - produção por lotes

Necessidades líquidas

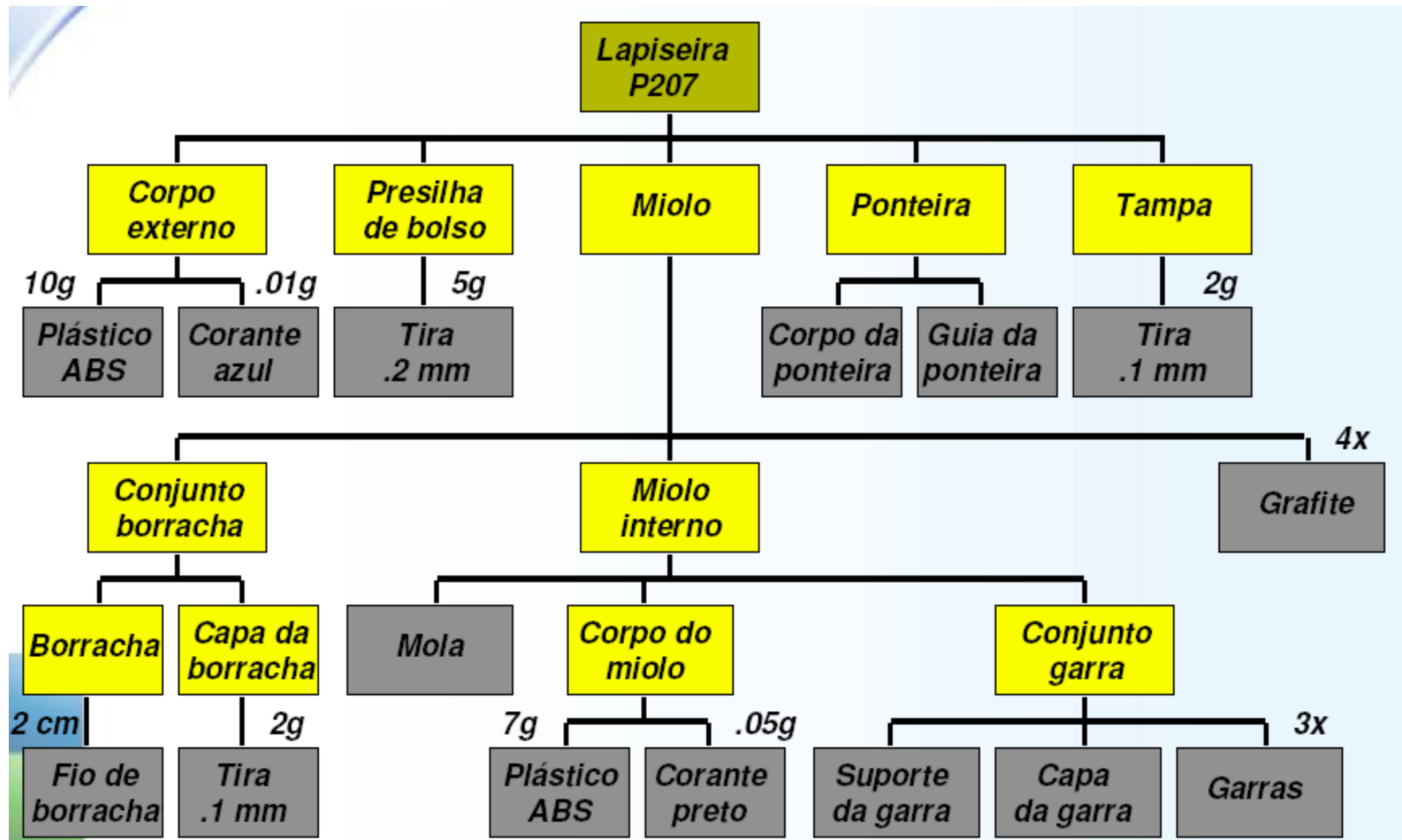
=

Necessidades brutas-(Existências+Recebimentos programados)

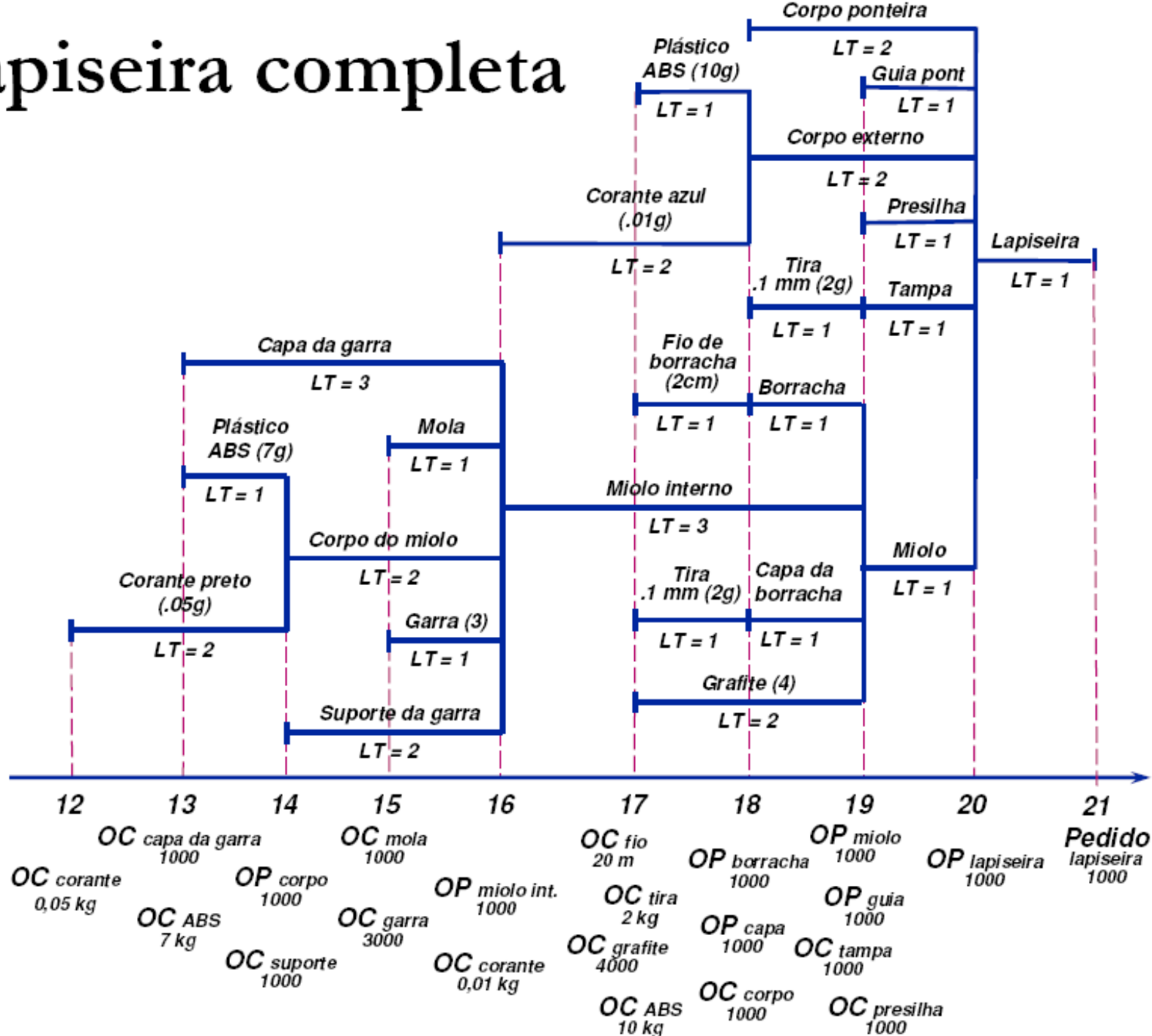
Semana 29	30	31	32	33	34	35
M012 (p.e.=1)						
Nec. brutas	3	0	4	1	3	2
Receb. program	10				10	
Existências (0)	7	7	3	2	9	7
Nec líquidas	0	0	0	0	0	0
Ordens planeadas	0	0	0	10	0	0

Outro Exemplo

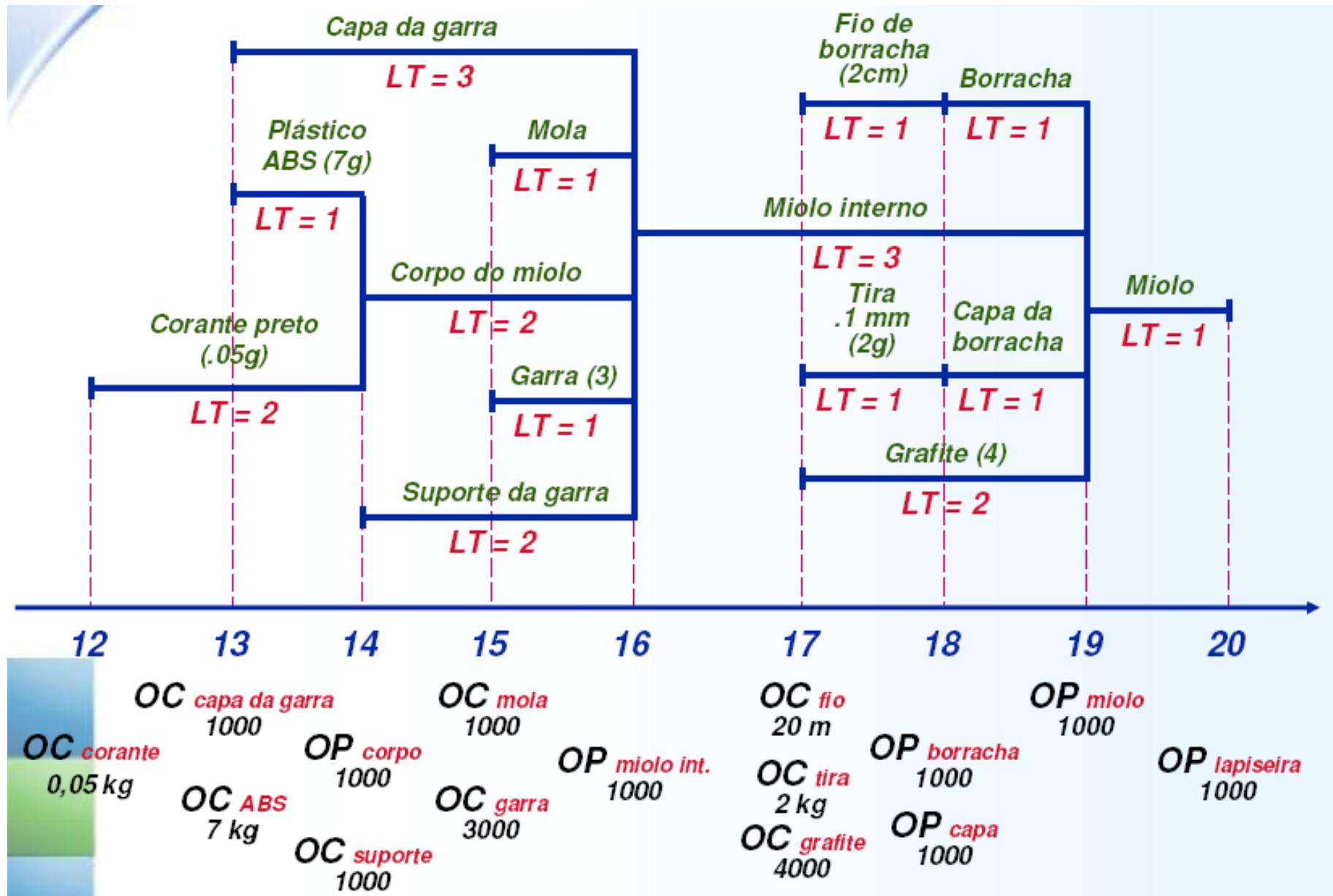
Estrutura de Produto



Lapiseira completa



Explosão das necessidades brutas



MRP

- Quantidades que devem estar disponíveis na data (saídas de estoque)
- podem ocorrer durante o período

- Recebimentos referentes a ordens já liberadas (entradas no estoque)
- Devem ocorrer no início do período indicado

HOJE

Lead Time = 3 períodos

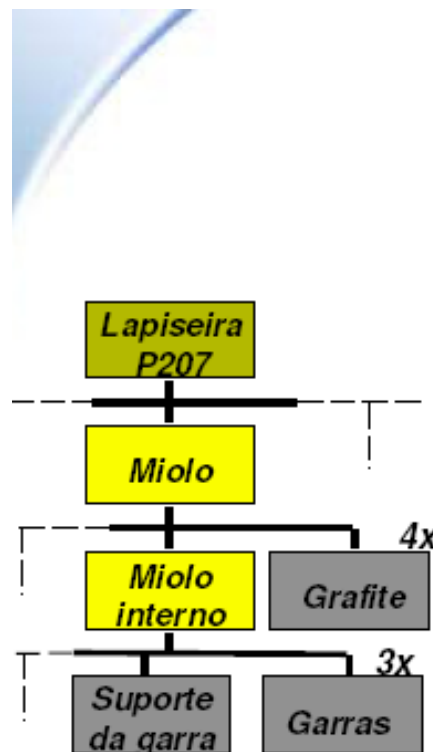
Miolo Interno	Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Necessidades Brutas		100	20		80	120		70	150
Recebimentos Programados				100					
Estoque Disponível	150	50	30	130	50	0	0	0	0
Chegada de Ordens Planejadas						70		70	150
Plano de Liberação de Ordens			70		70	150			

- Quantidade disponível no final do período, após a retirada das necessidades brutas e a entrada dos recebimentos programados

- A quantidade destacada refere-se ao estoque disponível atual (“em mãos”)

- Ordens geradas para impedir que o estoque disponível projetado seja menor do que o estoque de segurança
- Podem indicar data de chegada e data de liberação da ordem, sempre referindo-se a início de período

MRP – Relacionamento entre itens



LAPISEIRA

Liber. de Ordens	300	200	500	500	1000
------------------	-----	-----	-----	-----	------

MIOLO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LOTE										
MÍNIMO 300										
LT = 1										
ES = 0										
Nec. Brutas		300		200			500	500		1000
Rec. Progr.										
Estoque Disp.	350	350	50	50	150	150	150	0	0	0
Ordens Planejadas				300			350	500		1000
Liber. de Ordens			300			350	500		1000	

GRAFITE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LOTE										
MULTIPLO 500										
LT = 2										
ES = 250										
Nec. Brutas			1200			1400	2000		4000	
Rec. Progr.										
Estoque Disp.	250	250	250	550	550	550	650	650	650	650
Ordens Planejadas			1500			1500	2000		4000	
Liber. de Ordens	1500			1500	2000		4000			

MIOLO INTERNO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LOTE										
LOTE A LOTE										
LT = 3										
ES = 300										
Nec. Brutas			300			350	500		1000	
Rec. Progr.			300							
Estoque Disp.	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Ordens Planejadas						350	500		1000	
Liber. de Ordens			350	500		1000				

SUPORTE GARRA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LOTE										
MÍNIMO 500										
LT = 2										
ES = 100										
Nec. Brutas			350	500		1000				
Rec. Progr.										
Estoque Disp.	120	120	120	270	270	270	100	100	100	100
Ordens Planejadas			500	500		830				
Liber. de Ordens	500	500		830						

GARRA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LOTE										
MINIMO 1500										
LT = 1										
ES = 150										
Nec. Brutas			1050	1500		3000				
Rec. Progr.										
Estoque Disp.	450	450	450	900	900	900	150	150	150	150
Ordens Planejadas			1500	1500		2250				
Liber. de Ordens		1500	1500		2250					