



## EA 044 Planejamento e Análise de Sistemas de Produção

# Introdução

# Tópicos

1-Produção e operação

2-Produção como processo

3-Setores, tipos, ciclo, planejamento

4-Gestão, competição e estratégias

5-Pesquisa operacional e otimização

# 1-Produção e operação

- Produção
  - mecanismo de transformação de matéria prima em bens com valor
- Transformação
  - trabalho
  - máquinas
  - energia
  - ferramentas
- Operação e processo de produção
  - cada passo no processo de transformação

# Operações e processos de produção

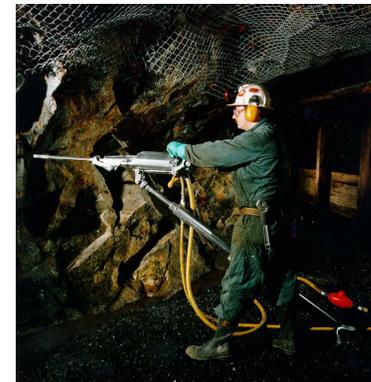
Fresar



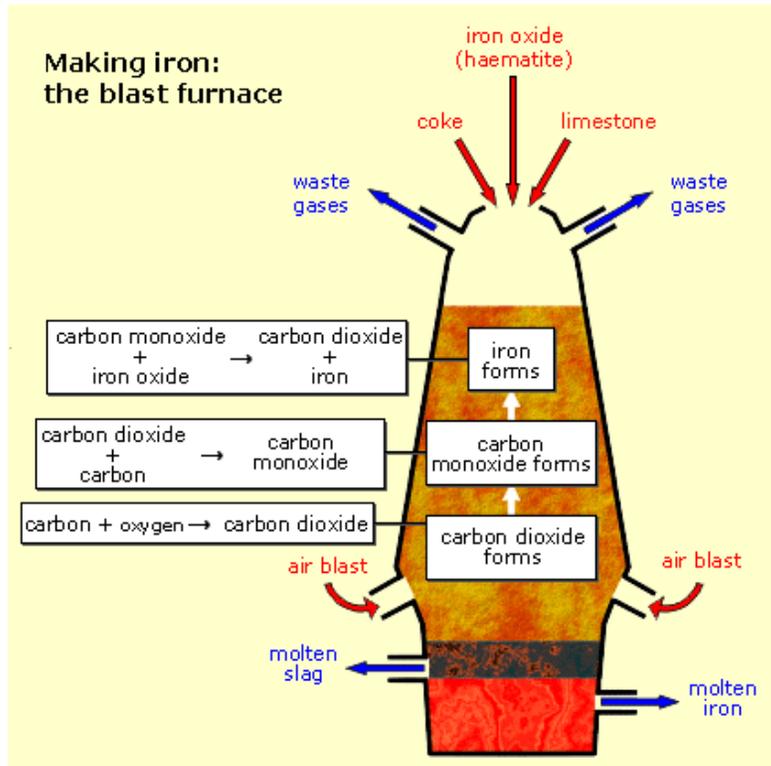
Tornear



Furar



# Redução (alto forno gusa)



# Conversão (conversor aço)



# Solidificação (lingotamento contínuo)



Escavar  
(mineração)

Converter  
(energia elétrica)



Processar e montar  
(alimentos)



# Ferramentas para

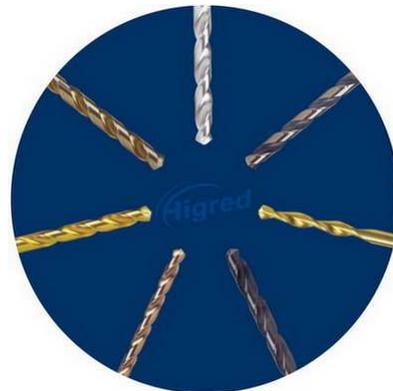
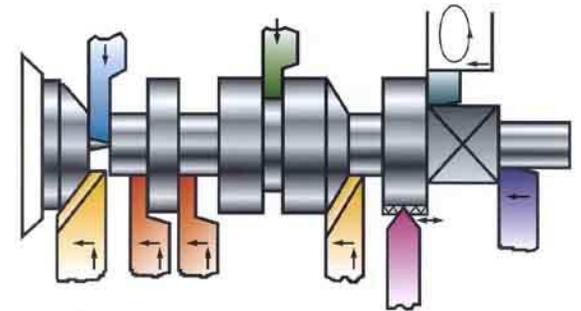
## Fresar



## Furar



## Tornear



# Célula, centro e máquina

## Célula manufatura



Fresa  
(CNC)



Centro de usinagem  
(CNC)

Torno



Torno  
(CNC)



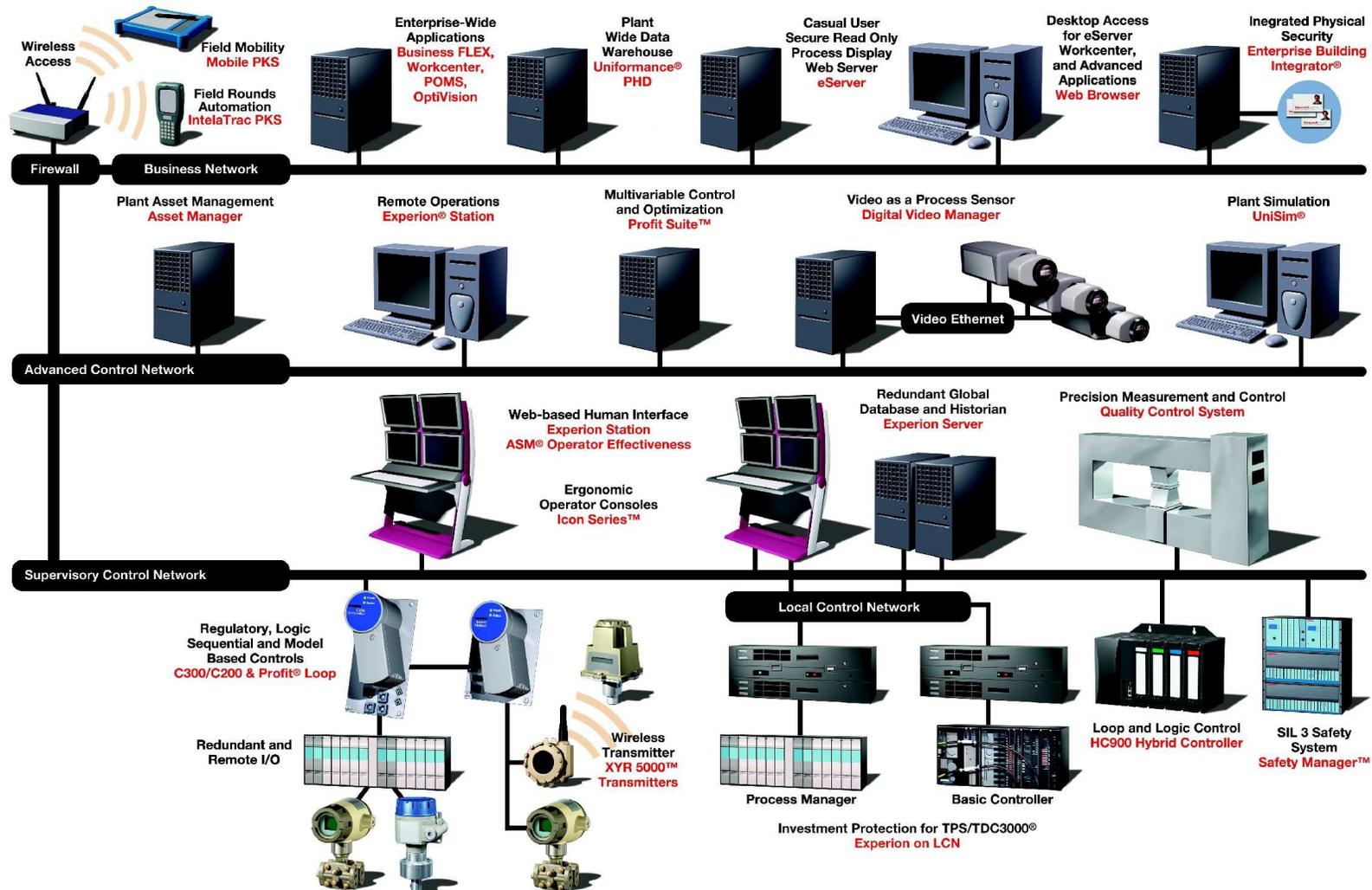
CNC  
(Comando Numérico Computadorizado)



# Sistemas flexíveis de manufatura (FMS)



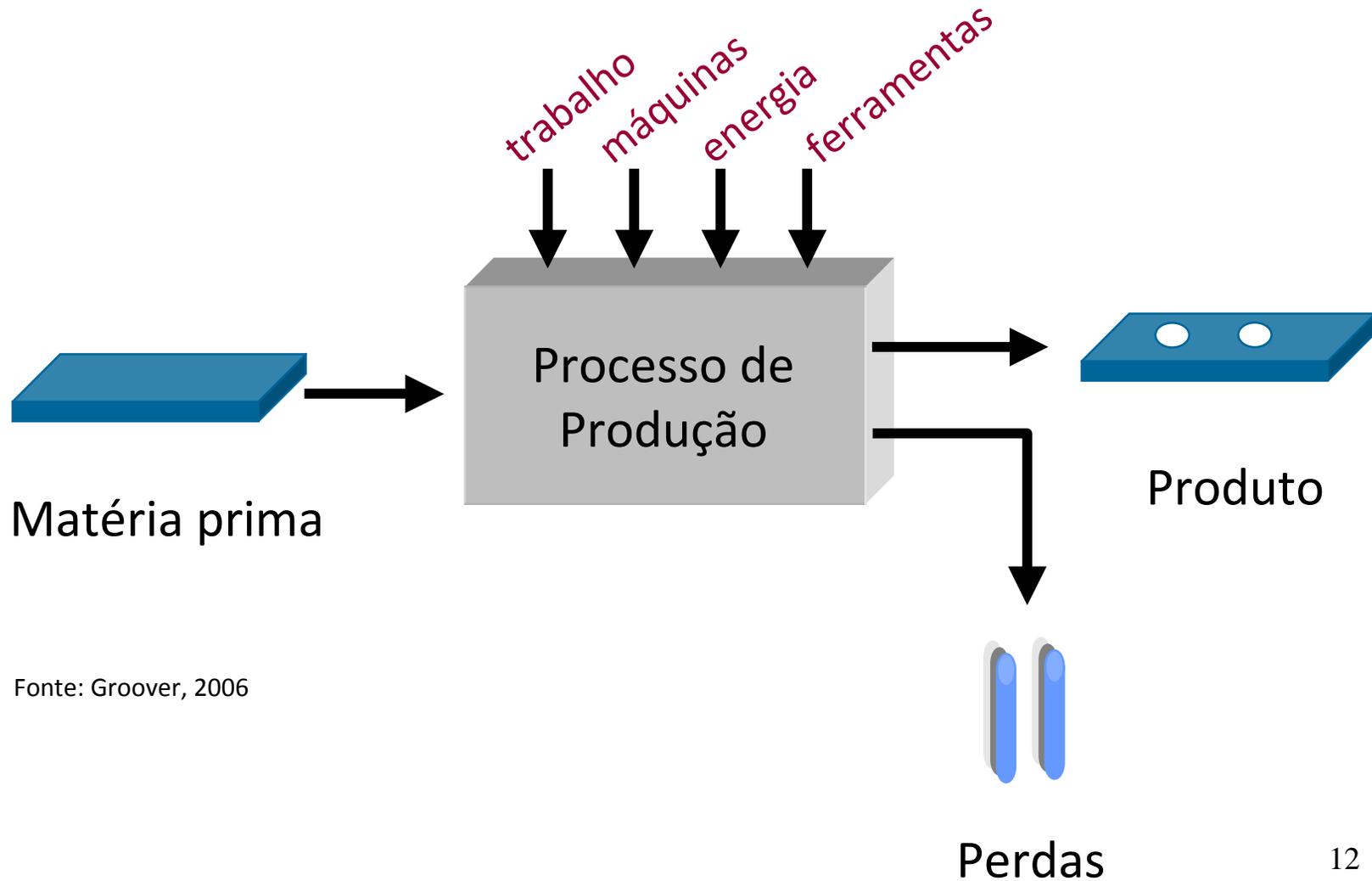
# Sistemas Integrados de Informação e Controle



For more information about Honeywell's products and services, visit our website [www.honeywell.com/ps](http://www.honeywell.com/ps) or contact your Honeywell account manager at 877.466.3993 or 602.313.6665.

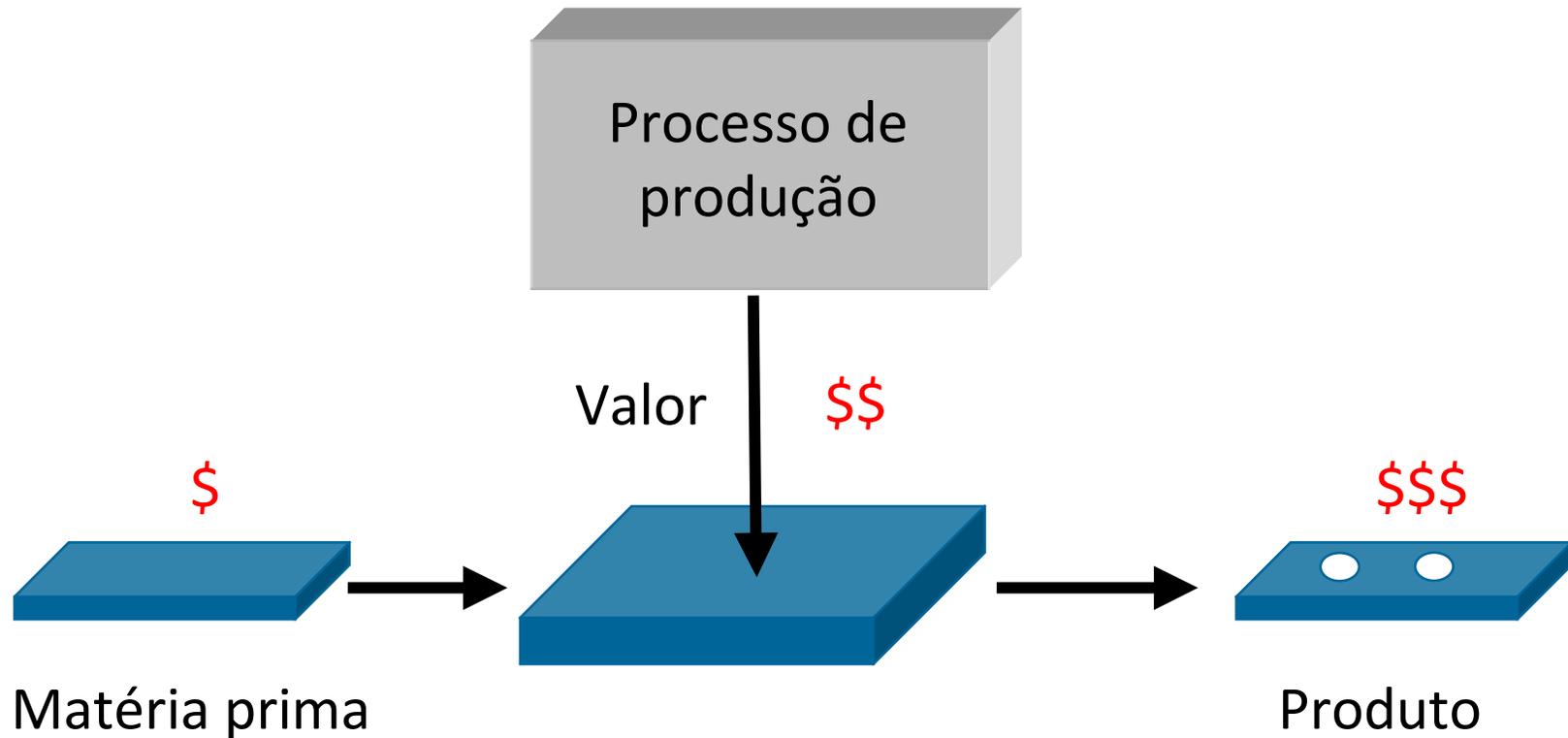
© Honeywell International Inc. All product names shown are U.S. trademarks of Honeywell International Inc.

## 2-Produção como processo (técnico)



Fonte: Groover, 2006

# Produção como processo (econômico)



Fonte: Groover, 2006

# Setores de produção

- Primário
  - cultiva e explora recursos naturais
  - agricultura, mineração, etc.
- Secundário
  - produtos de indústrias primárias em bens de consumo e capital
  - manufatura, construção, energia etc.
- Terciário
  - serviços
  - transportes, comunicação, entretenimento, etc.

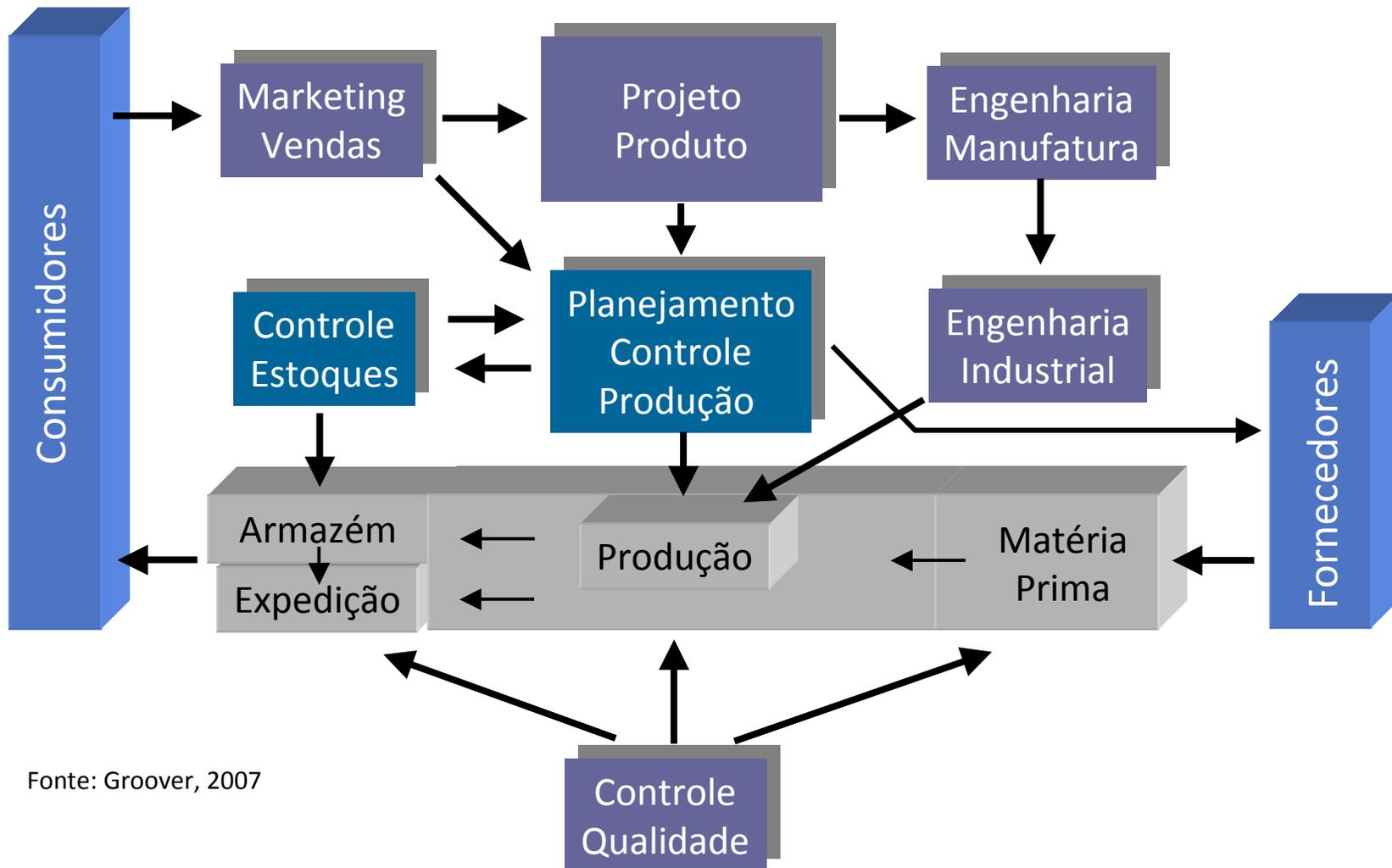
# Exemplos

Primário	Secundário		Terciário	
Agricultura	Aeroespacial	Eletrônicos	Banco	Seguro
Floresta	Automotivo	Alimentos	Comunicação	Imobiliário
Pesca	Bebidas	Papel	Educação	Turismo
Petróleo	Química	Eletricidade	Governo	Transporte
Mineração	Computadores	Têxtil	Saúde	Entretenimento

# Tipos de indústrias

- Manufatura
  - produção de itens discretos
  - autos, computadores, máquinas, eletrodomésticos, etc.
- Processo
  - produção de bens contínuos
  - petróleo, cimento, aço, energia elétrica, química, etc.
- Híbridas
  - processos contínuos e discretos
  - maioria das indústrias tem caráter híbrido
  - siderurgia, plástico, alimento, mineração

# Ciclo de produção



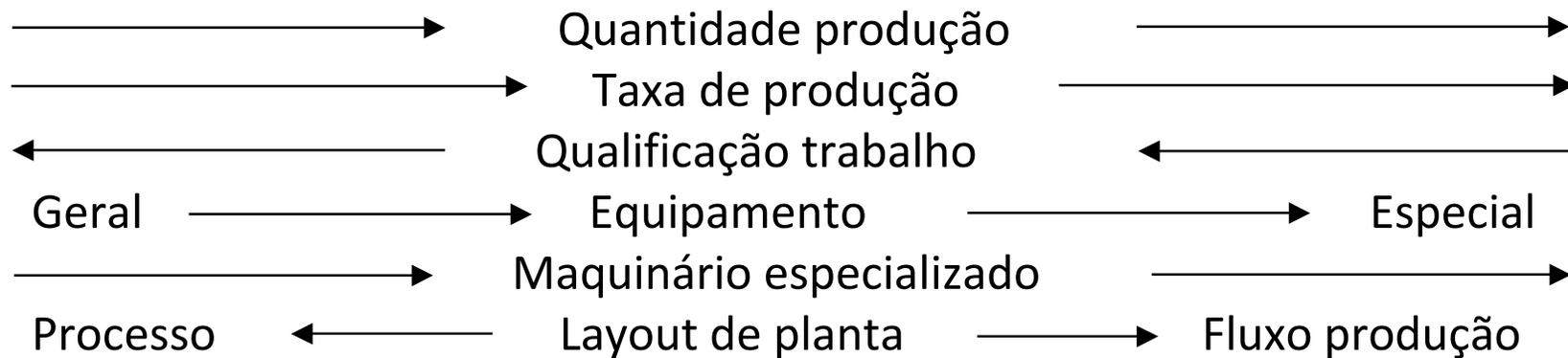
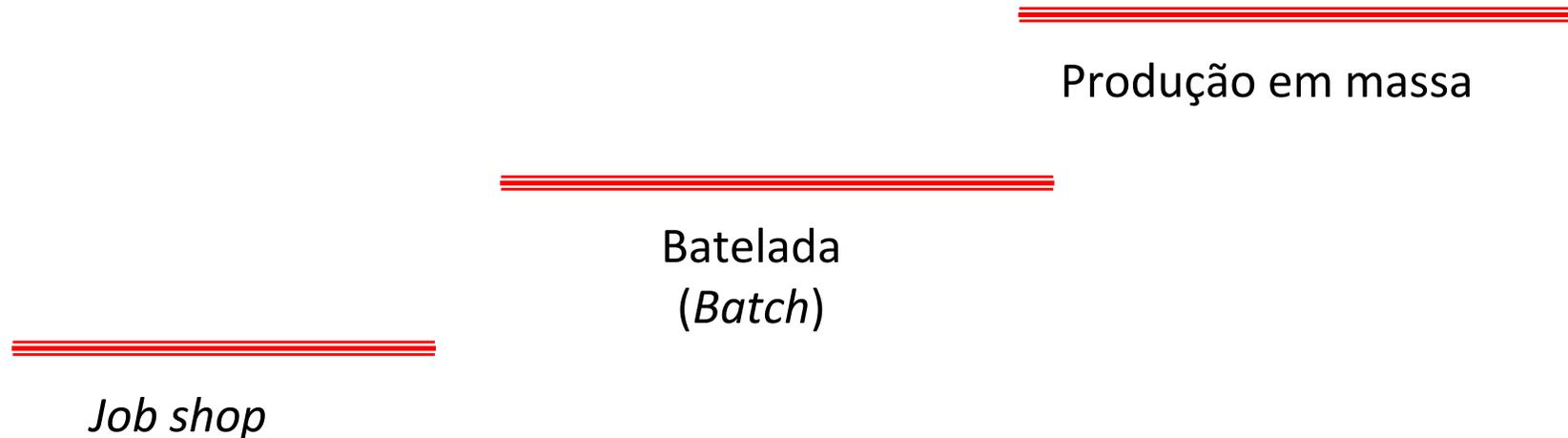
Fonte: Groover, 2007

# Planejamento e controle de produção

- Plano mestre de produção
  - lista produtos a serem produzidos
  - qtde e data entrega consistente com capacidade
- Planejamento de requisitos
  - matéria prima, componentes, partes
  - MRP
- *Scheduling*
  - data de início e de entrega cada produto
  - sequenciamento, roteamento de operações/tarefas
- Despacho e expedição

# Tipos de produção

Fonte: Groover, 2007



# Manufatura: processos discretos



Aeronáutica  
(helicóptero)



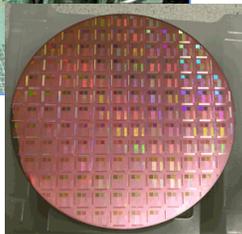
Componentes  
(compressores)

# Displays

## Automóveis



## Semicondutores

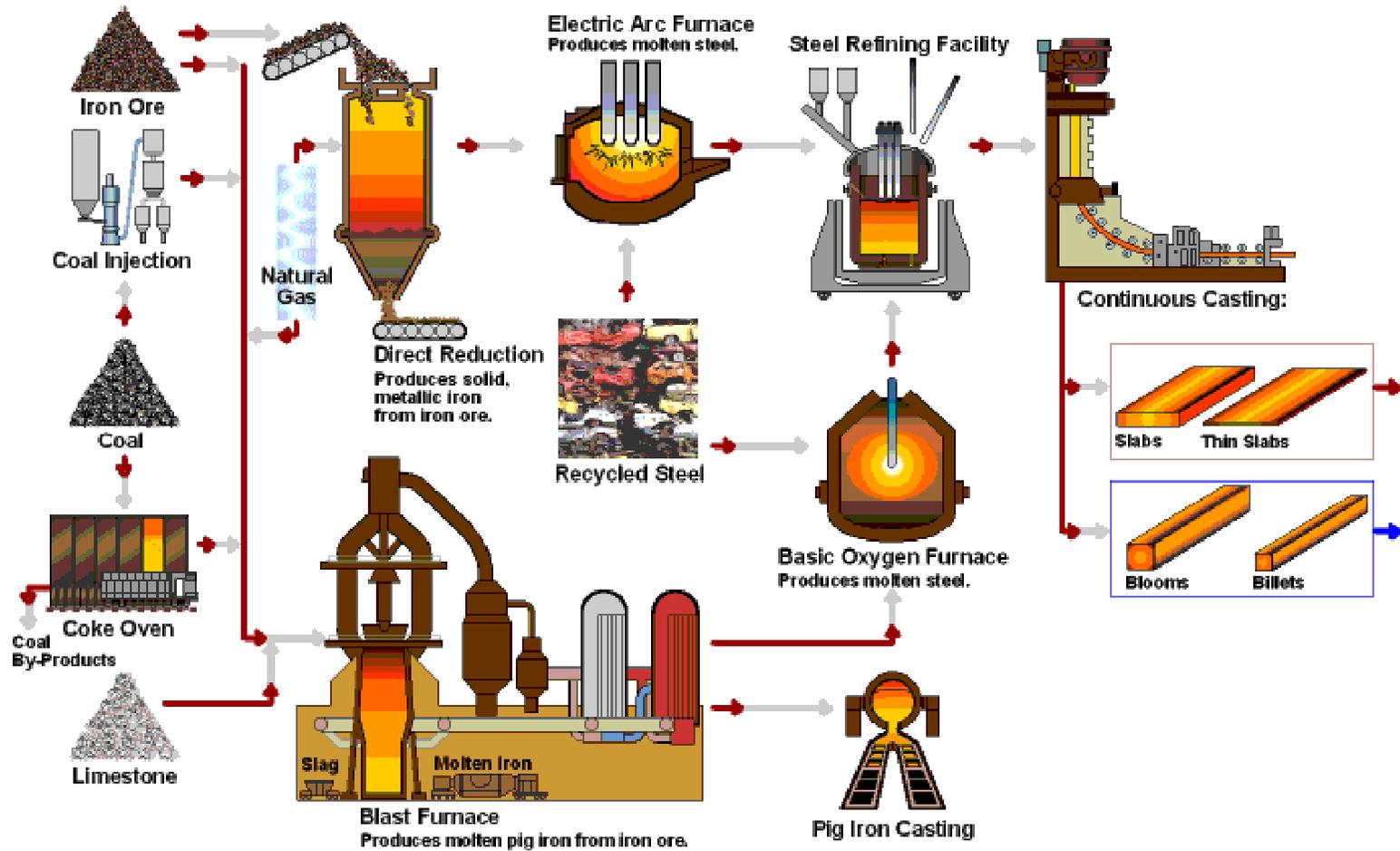


## Partes cerâmicas

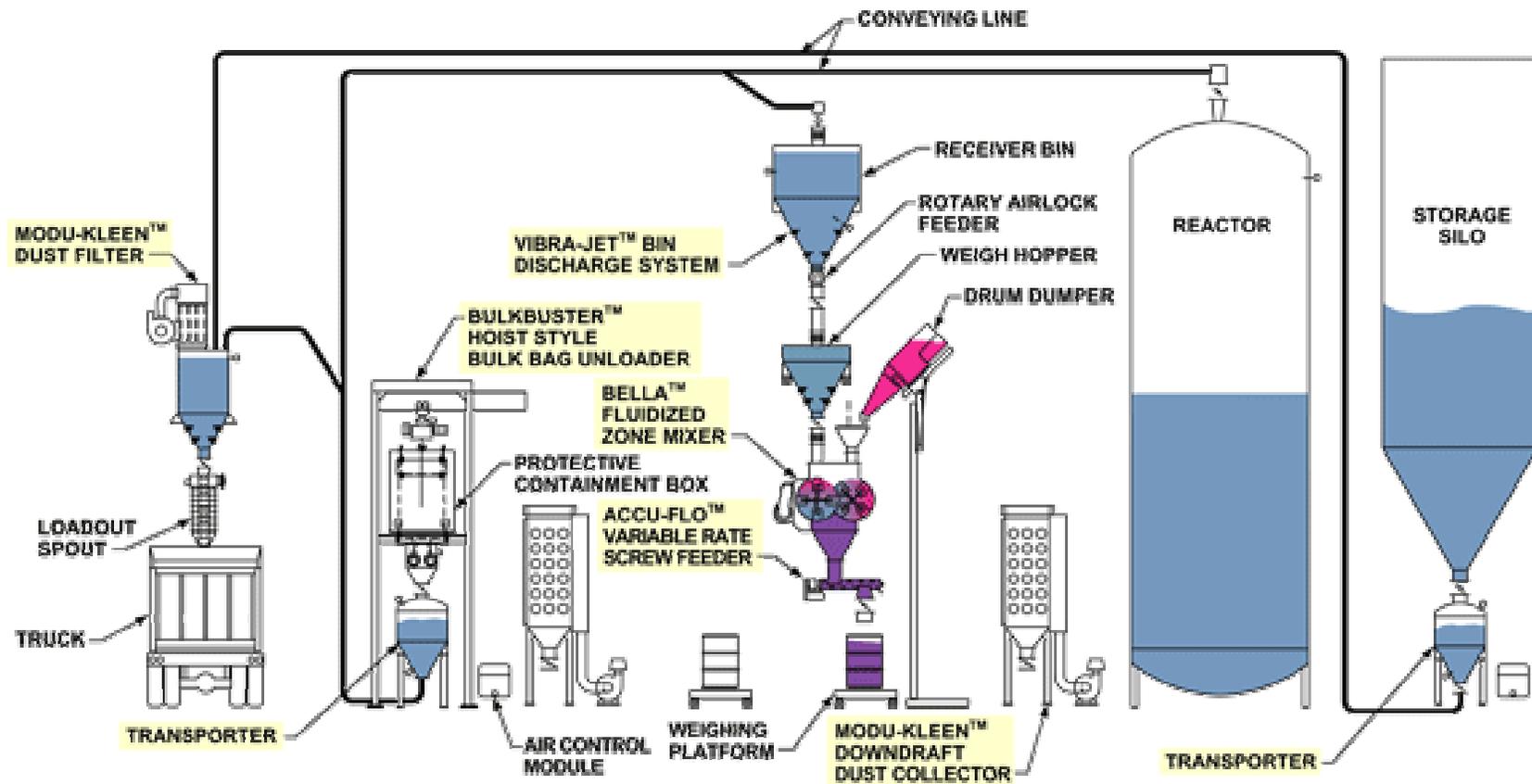


# Processos contínuos

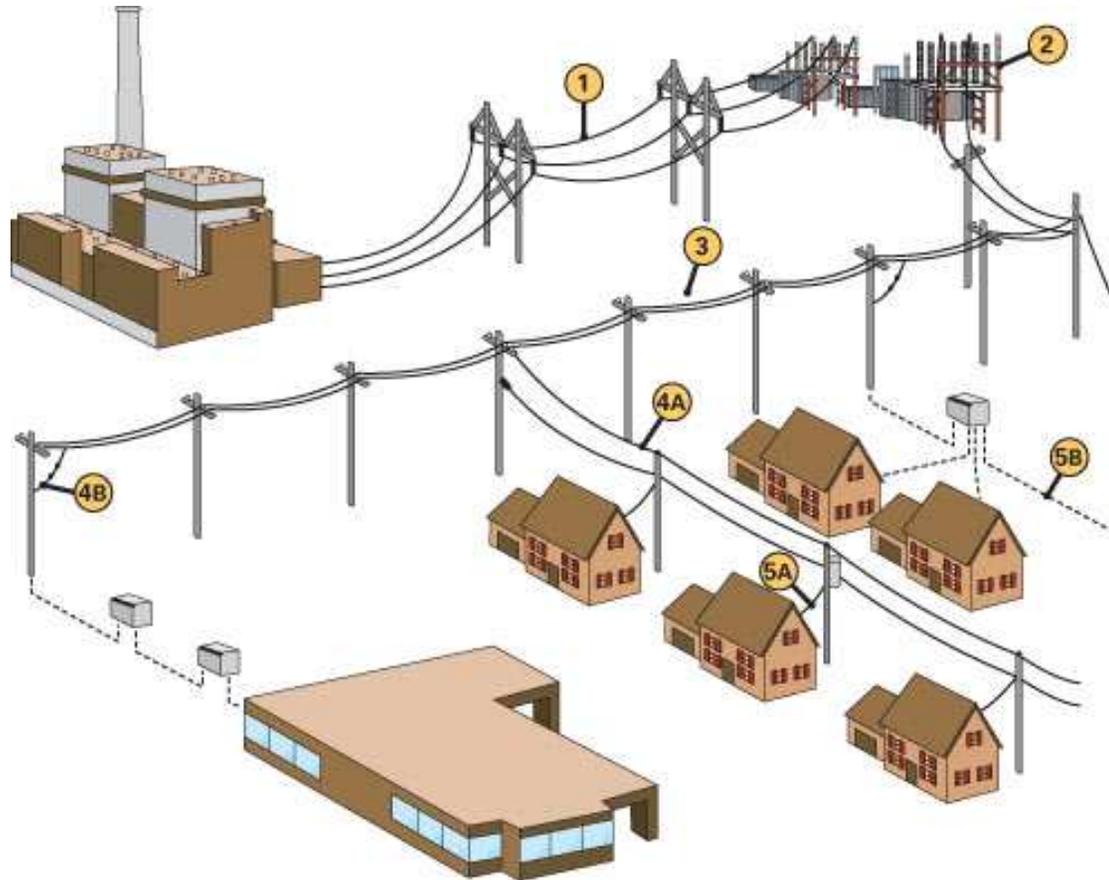
Aço



# Química



# Termoelétrica



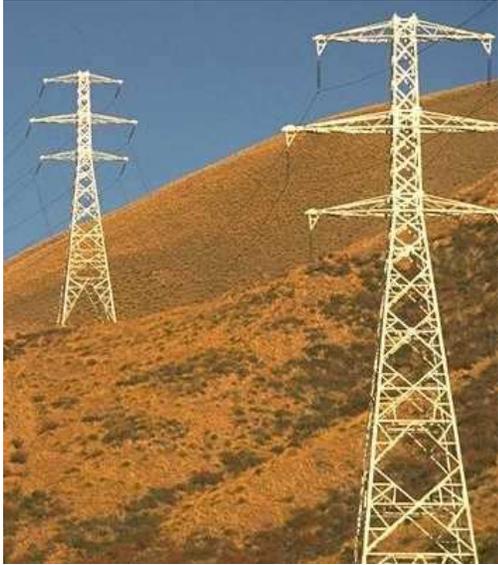
GTD

# Hidrelétrica

Geração



# Transmissão



Distribuição

## Refinaria petróleo



## Papel



# Processos híbridos

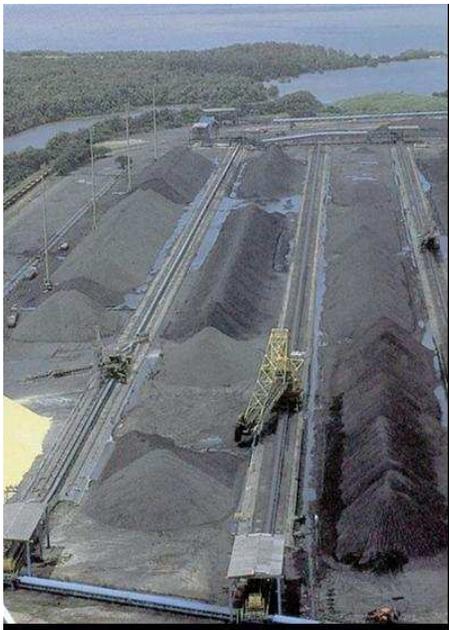
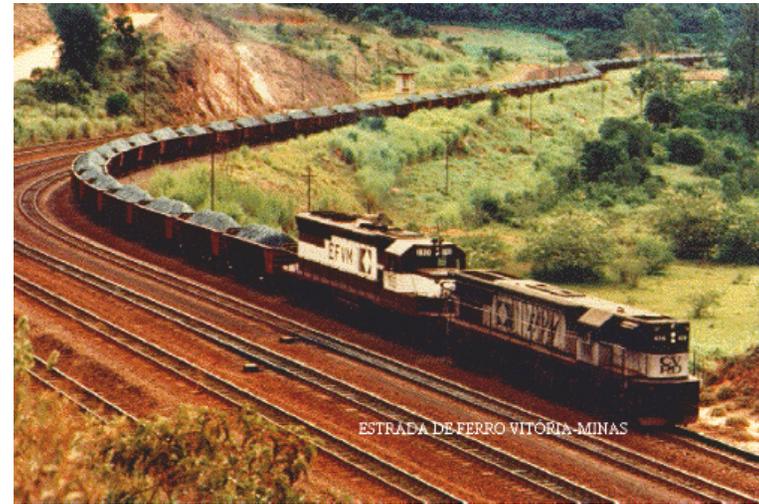


Siderurgia



Processamento alimento

# Mineração e transporte



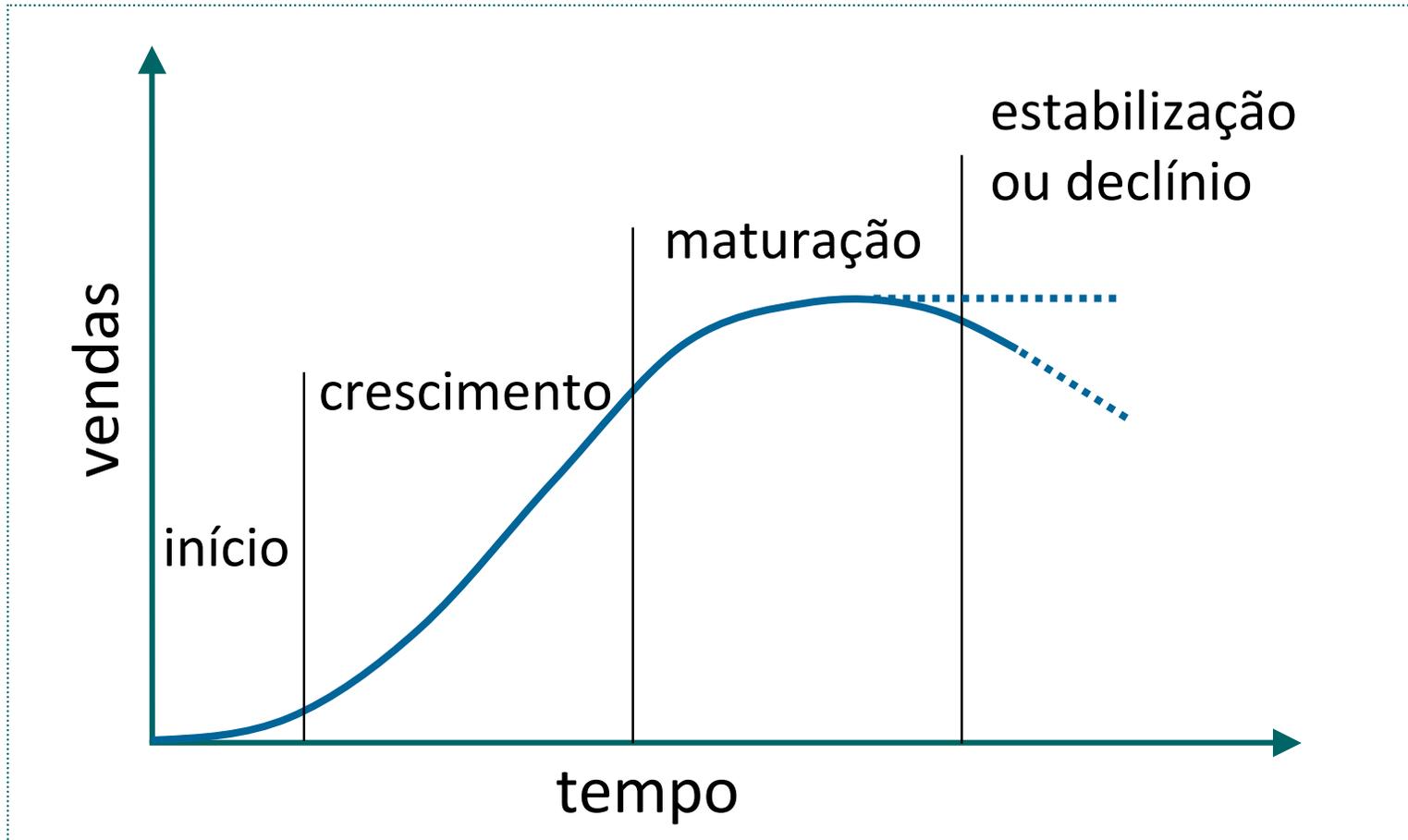
Detalhes com ilustrações e vídeos

<http://manufacturing.stanford.edu/hetm.html>

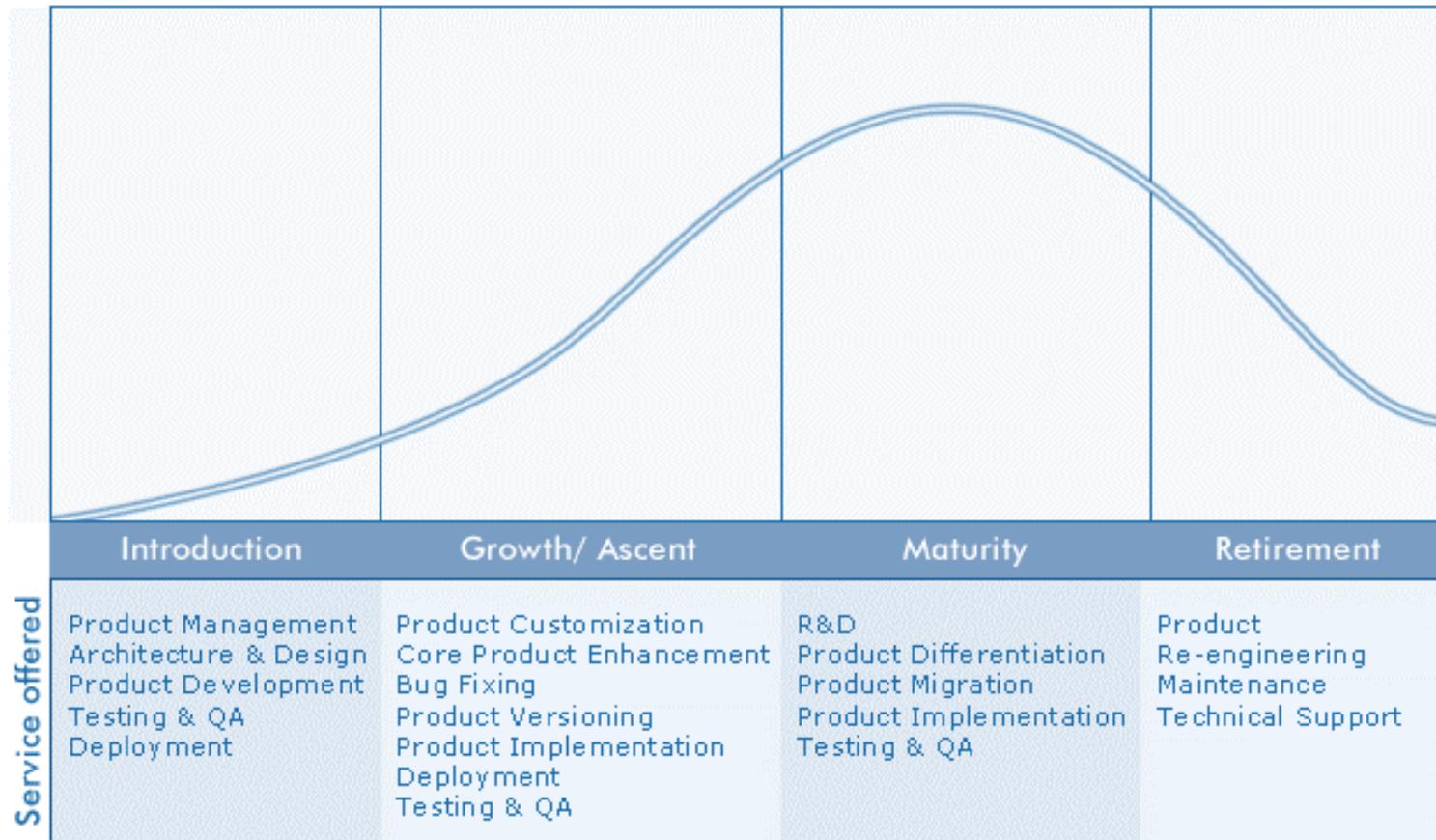
# 4-Gestão, competição e estratégias

- Gestão
  - gerenciar recursos para criar produtos e serviços
- Produção
  - bens
  - serviços
- Operação
  - logística e suporte da produção

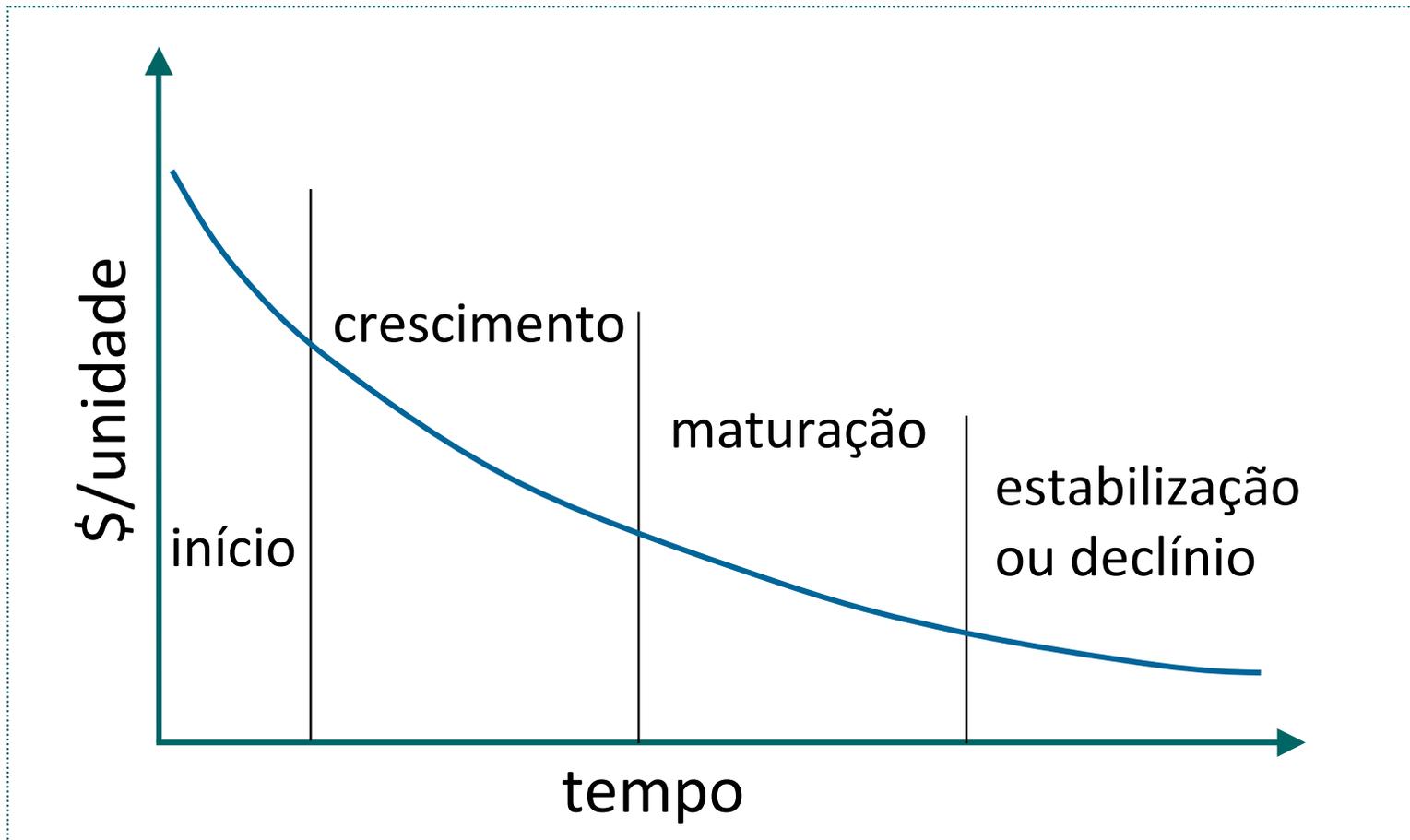
# Ciclo de vida de produto



## Services offered in various stages of Product Life Cycle



# Ciclo de vida de processo

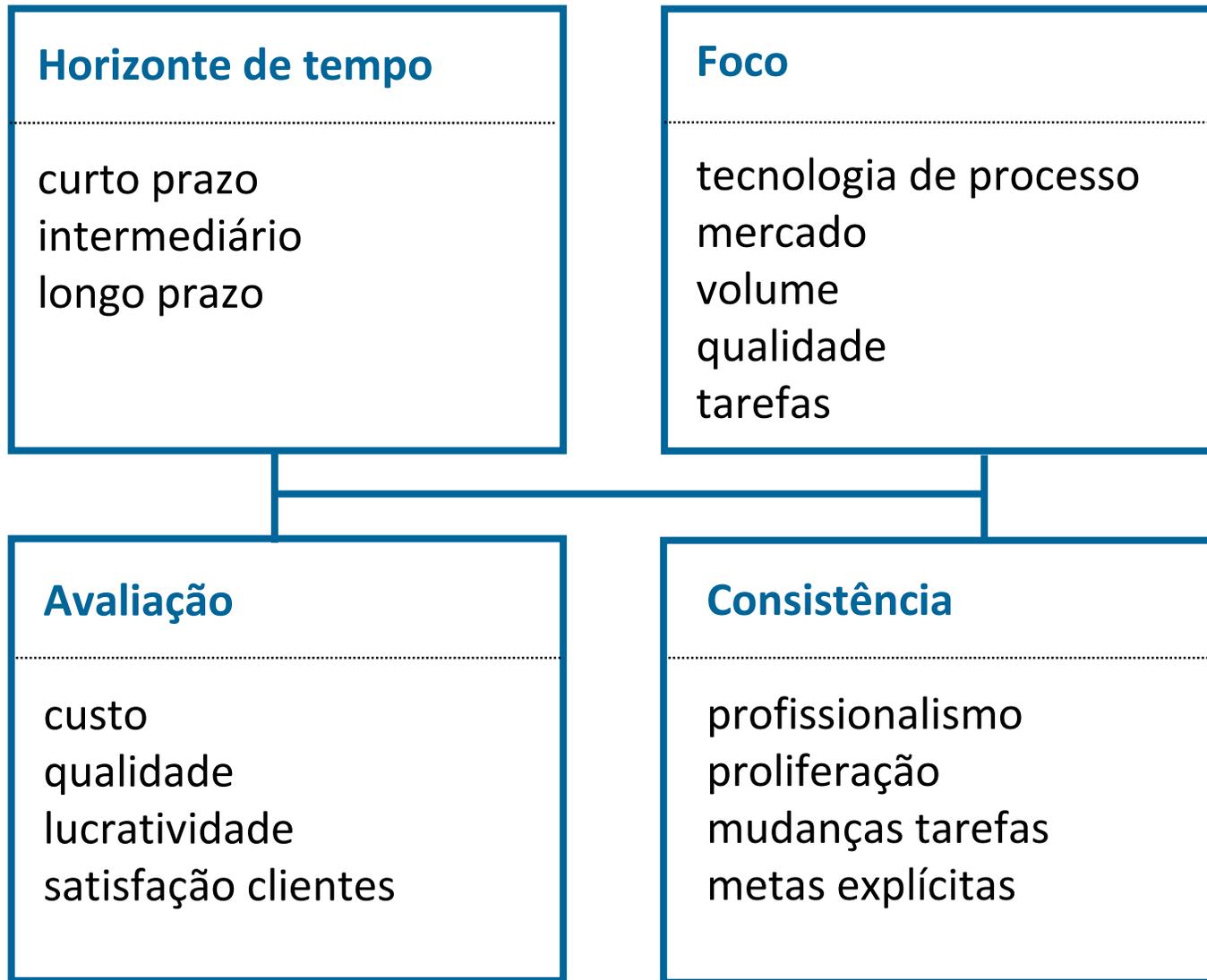


# Estratégia e competição

- Estratégia de negócio requer a definição de:
  - mercado onde a empresa compete
  - nível de investimento
  - alocação de recursos às diferentes unidades e integração
  - estratégias em áreas funcionais
    - estratégias de marketing
    - estratégias financeiras
    - estratégias operacionais
- Estratégias operacionais
  - Alocação de recursos para atingir objetivos

- **Competitividade (1990)**
  - baixo custo (problemático a longo prazo)
  - produto diferenciado (efetivo a longo prazo: exemplo BMW)
  
- **Dimensões estratégicas da competitividade (hoje)**
  - qualidade
  - velocidade de entrega
  - confiabilidade da entrega
  - flexibilidade

# Elementos de produção e operação estratégica

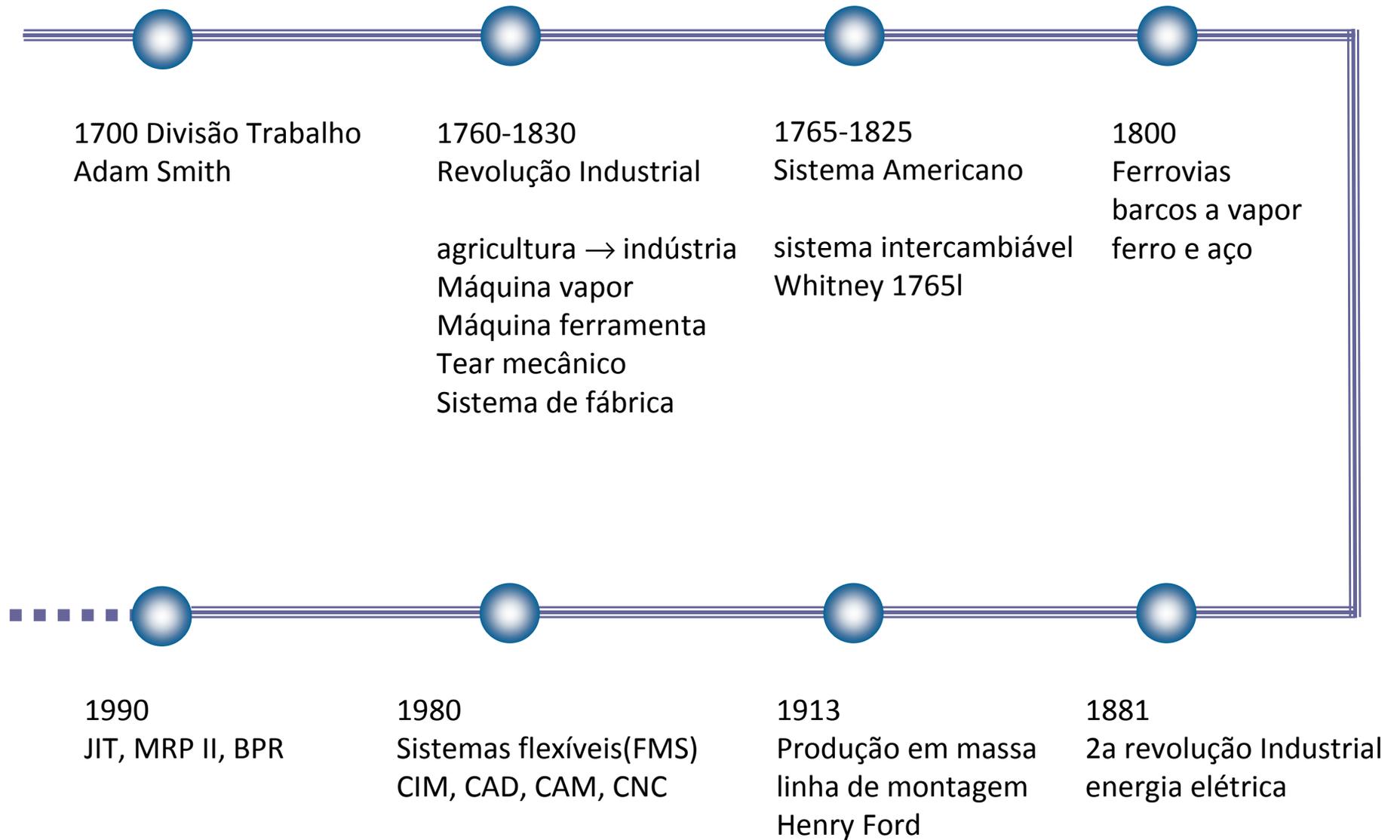


## ■ Iniciativas estratégicas

- BPR (*Business Process Reengineering*)
- TBC (*Time-based Competition*)
- CQ (*Competing on Quality*)
- JIT (*Just in Time*)
  - kanban
  - *workflow*
  - relacionamento clientes, fornecedores
  - controle qualidade
  - JIT efetivo se a demanda mercado é regular

# História da produção

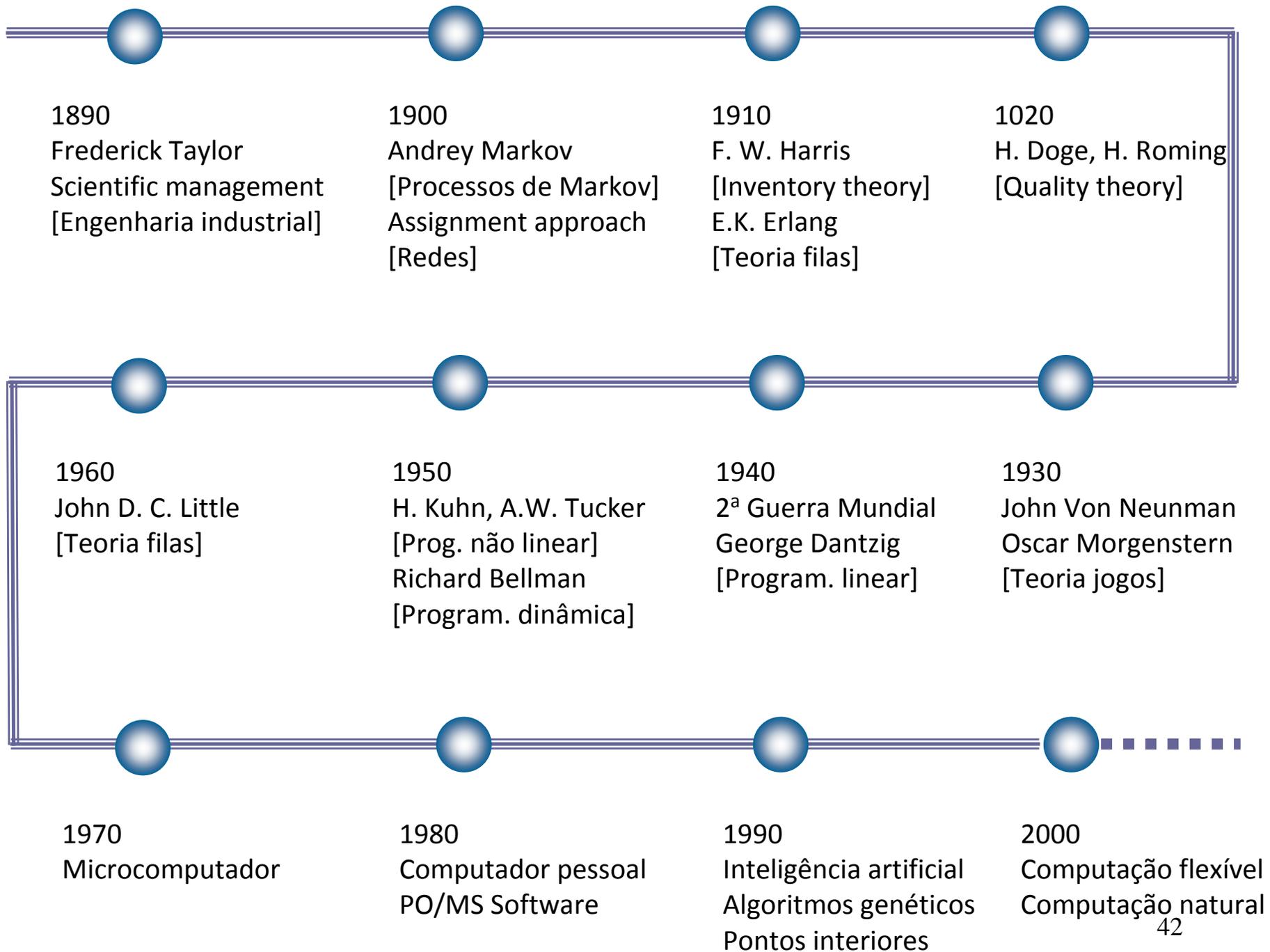
- Elementos principais da história
  - descoberta e invenção materiais e processos para fazer coisas
  - desenvolvimento sistemas de produção
- Processos (+ 6000 anos)
  - fundir
  - forjar
  - furar
  - ralar
- Sistemas de produção
  - métodos organizar pessoal, equipamentos, matéria prima, etc.
  - métodos eficientes de produção (otimização)



# 5-Pesquisa operacional e otimização

- O que é
  - estudo de como formular e construir modelos matemáticos de decisão
  - problemas de engenharia e de gestão/gerenciamento
  - analisar, compreender natureza dos problemas e soluções possíveis
- Origens ([http://en.wikipedia.org/wiki/Operations\\_research](http://en.wikipedia.org/wiki/Operations_research))
  - Inglaterra, século 19
  - Deriva de pesquisas aplicada à operações militares da 2ª guerra
  - Emerge como disciplina acadêmica nos fins da década de 1960

- **Problemas considerados nas origens**
  - organização de inspeção manutenção de esquadrões
  - planejamento e programação operações militares
  - melhoria da eficiência e logística de ataques
  
- **Problemas de interesse contemporâneo**
  - logística e transporte, internet
  - programação de produção e operação industrial
  - economia, finanças, negócios, marketing
  - setor público, planejamento urbano
  - recursos humanos e naturais
  - energia, *smart grids*, comunicação, computação
  - saúde, segurança, limpeza urbana



# Exemplo 1: montagem note/ultrabooks



# Planejamento produção

	NB1	NB2	UB1	NB3	UB2	Oferta
HD (uso médio)	0.3	1.7	-	1.4	-	3.000
Memória (GB)	4	2	2	2	1	8.000
CPU	1	1	1	1	1	7.000
Demanda (máx)	1.800		300	3.200		
	3.800					
Demanda (mín)		500		500	400	
Preço (\$)	6.000	4.000	3.000	3.000	1.500	

1-Memória: em módulos de 1 GB cada

2-Produção com restrição: somente NB2 e NB3, 1 HD cada

3-Alternativa: NB1 com 2 módulos ao invés de 4

# Decisões

- 1) com relação ao uso de HD: produzir modo restrito ou atender preferência do mercado ?
- 2) com relação à memória: usar alternativa para NB1 ?
- 3) *trade-offs* entre uso de HD e módulos de memória ?

Ideia: maximizar a receita total no período

# Modelo de otimização

$$\max 6x_1 + 4x_2 + 3x_3 + 3x_4 + 15x_5$$

$$\text{sa } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \leq 7$$

$$4x_1 + 2x_2 + 2x_3 + 2x_4 + x_5 \leq 8$$

$$x_2 + x_4 \leq 3$$

$$x_1 \leq 1.8$$

$$x_3 \leq 0.3$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 3.8$$

$$x_4 + x_5 \leq 3.2$$

$$x_2 \geq 0.5$$

$$x_4 \geq 0.5$$

$$x_5 \geq 0.4$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0$$

receita total

disponibilidade CPU

disponibilidade GB

disponibilidade HD

demanda máx NB1

demanda máx NB1

demanda máx NB1/2, UB1

demanda máx NB3,UB2

demanda mín NB2

demanda mín NB3

demanda mín UB2

1) produzir modo restrito ou dar preferência ao mercado:

$$x_2 + x_4 \leq 3 \quad \text{ou} \quad 0.3x_1 + 1.7x_2 + 3x_4 \leq 3$$

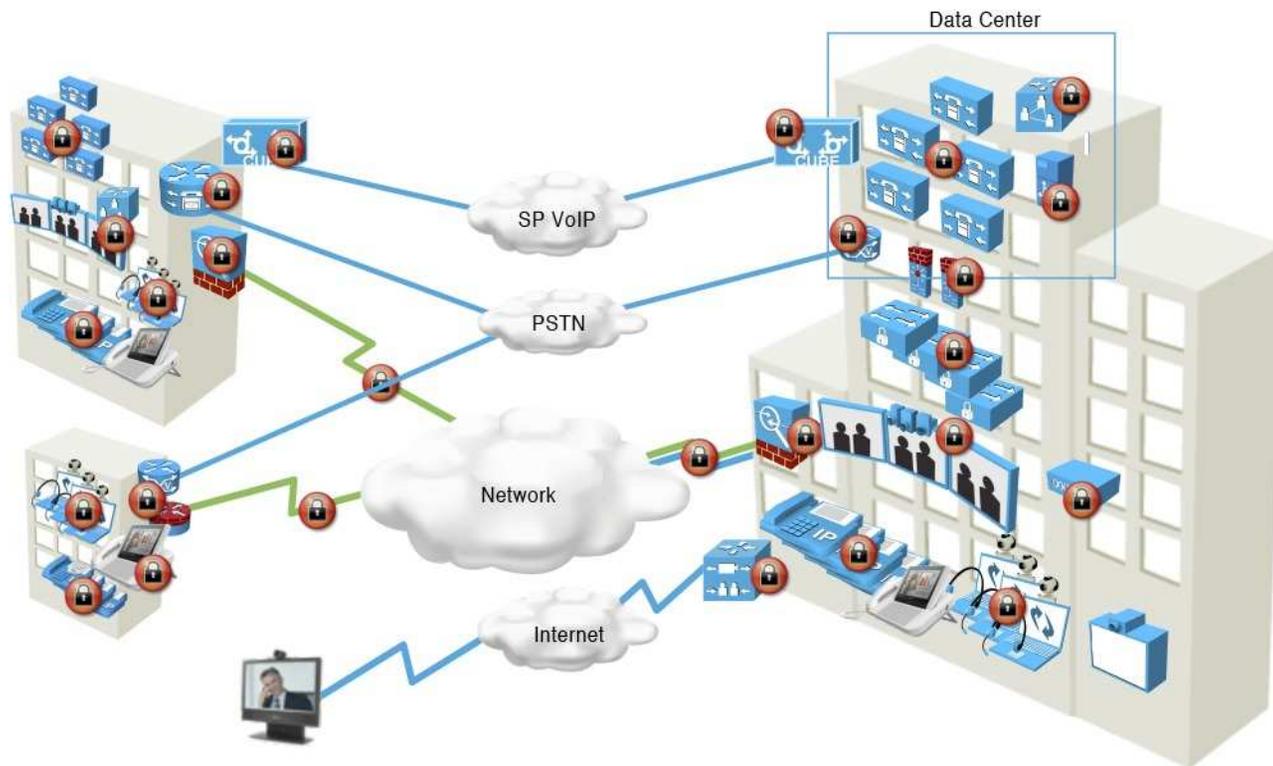
2) usar alternativa para NB1

$$4x_1 + 2x_2 + 2x_3 + 2x_4 + x_5 \leq 8 \quad \text{ou} \quad \begin{cases} 2x_1 \leq 4 \\ 2x_2 + 2x_3 + 2x_4 + x_5 \leq 8 \end{cases}$$

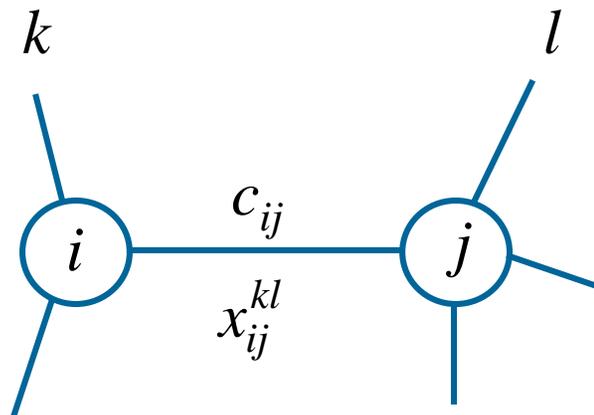
3) *trade-offs* entre uso de HD e módulos de memória

4 modelos, combinando as restrições dos itens 1) e 2)

# Exemplo 2: rede de comunicação



# Fluxo em rede



$(i, j) \in A$	link entre nós $i$ e $j$
$c_{ij}$	custo por bit \$
$b^{kl}$	dados gerados $k \rightarrow l$ bits/s
$u_{ij}$	capacidade $(i, j)$ bits/s
$x_{ij}^{kl}$	qtde dados $k \rightarrow l$ por $(i, j)$ bits

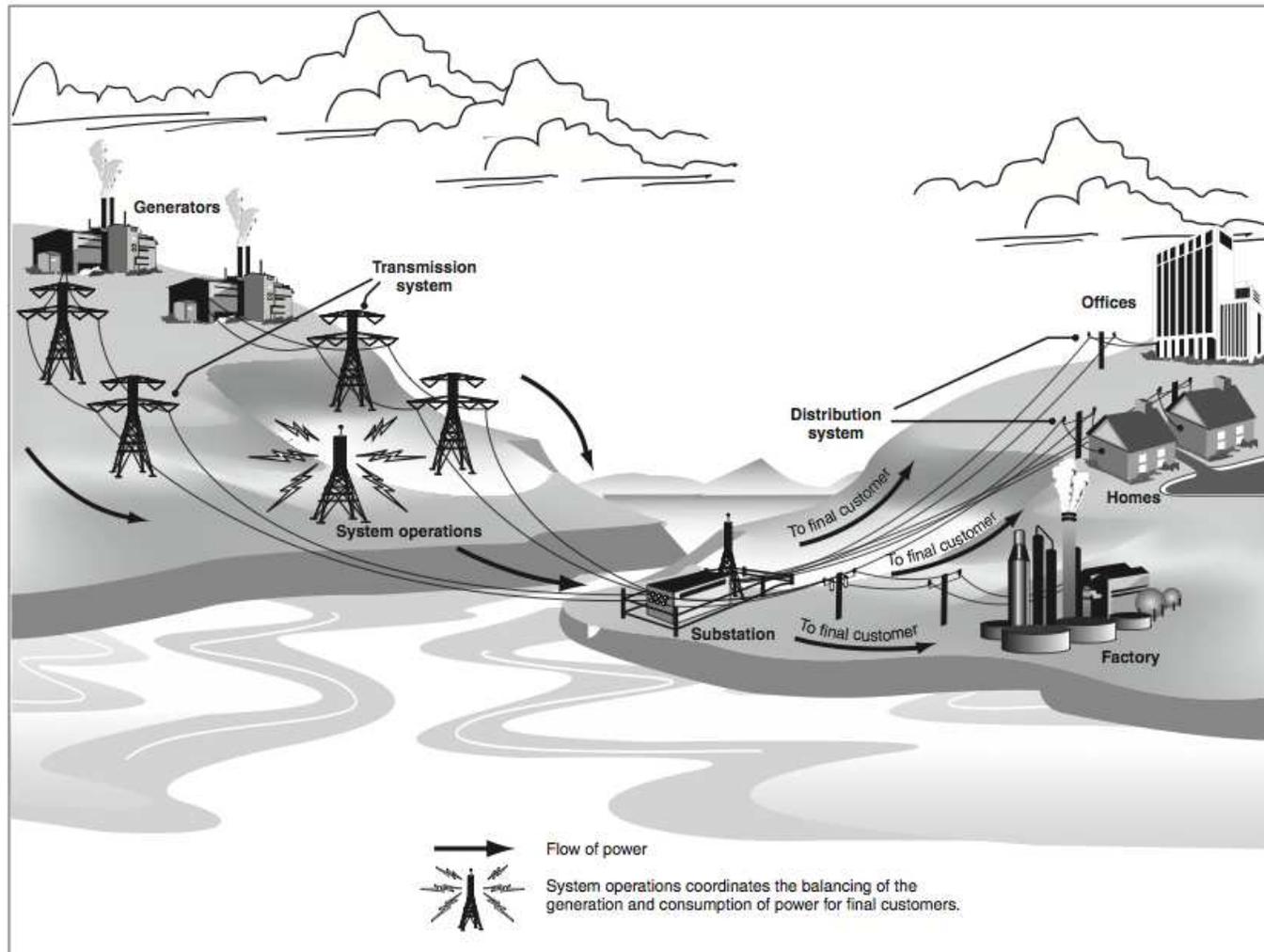
Decisão: caminhos ao longo dos quais todos os dados cheguem a seus destinos com custo mínimo ?

# Modelo de otimização

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n c_{ij} x_{ij}^{kl} && \text{custo total} \\ \text{sa} \quad & \sum_{\{j|(i,j) \in A\}} x_{ij}^{kl} - \sum_{\{j|(j,i) \in A\}} x_{ji}^{kl} = b_i^{kl} && i, k, l = 1, \dots, n \quad \text{conservação nó } i \\ & \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n x_{ij}^{kl} \leq u_{ij} && (i, j) \in A \quad \text{capacidade link} \\ & x_{ij}^{kl} \geq 0 && (i, j) \in A, k, l = 1, \dots, n \end{aligned}$$

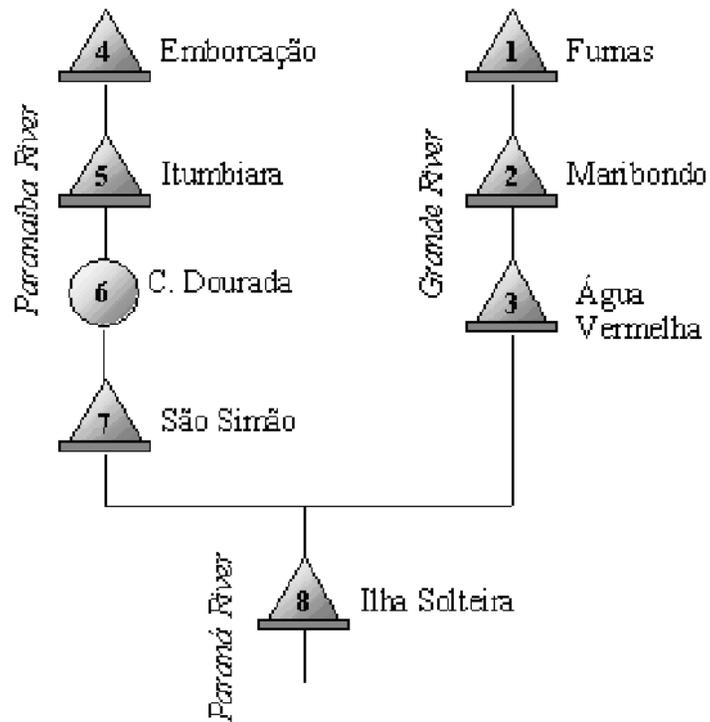
$$b_i^{kl} = \begin{cases} b^{kl} & \text{se } i = k \\ -b^{kl} & \text{se } i = l \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

# Exemplo 3: sistema energia elétrica



Source: GAO analysis.

# Exemplo 3: planejamento operação



Fonte: T. Marques, M. Cicogna, S. Soares, *Benefits of Coordination in Operation of Cascaded Hydroelectric Power Systems*, 4th Int. Conf. on Power and Energy Systems, Rhodes, Greece, June 28-30, 2004.

	Hydro plants	Power capacity (MW)	Reservoir capacity [ $hm^3$ ]
1	Furnas (F)	1312	17217
2	Marimbondo (M)	1488	5260
3	Agua Vermelha (AV)	1398	5169
4	Emborcação (E)	1192	13056
5	Itumbiara (I)	2280	12454
6	C. Dourada (CD)	638	0
7	São Simão (SS)	1710	5540
8	Ilha Solteira (IS)	3444	5516

Decisão: quanto gerar hidro (turbinagem) e térmica (complementação) ?

# Modelo de otimização

$$\min \sum_{t=1}^T \left[ \lambda_t \cdot \sum_{j=1}^J \psi_j(g_{j,t}) \right] + \lambda_T \cdot V(x_T)$$

sa  $G_t + P_t = D_t \quad \forall t$

$$G_t = \sum_{j=1}^J g_{j,t} \quad \forall t$$

$$\underline{g}_j \leq g_{j,t} \leq \bar{g}_j \quad \forall j, t$$

$$P_t = \sum_{i=1}^I p_{i,t} \quad \forall t$$

$$x_{i,t} = x_{i,t-1} + \left( y_{i,t} + \sum_{k \in \Omega_i} u_{k,t} - u_{i,t} \right) \cdot \frac{\Delta t_t}{10^6} \quad \forall i, t$$

custo operação e terminal

oferta em  $t$  = demanda em  $t$

total geração térmica em  $t$

capacidade térmica  $j$  em  $t$

total geração hidráulica em  $t$

volume reservatório  $i$  em  $t$

$$h_{l i,t} = \phi(x_{i,t}^{avg}) - \theta(u_{i,t}) - p c_{i,t} \quad \forall i, t$$

nível cabeça água de  $i$  em  $t$

$$x_{i,t}^{avg} = \frac{x_{i,t-1} + x_{i,t}}{2} \quad \forall i, t$$

volume médio de  $i$  em  $t$

$$p_{i,t} = k_i \cdot h_{l i,t} \cdot q_{i,t} \quad \forall i, t$$

geração hidráulica de  $i$  em  $t$

$$u_{i,t} = q_{i,t} + v_{i,t} \quad \forall i, t$$

vazão liberada de  $i$  em  $t$

$$\underline{x}_{i,t} \leq x_{i,t} \leq \bar{x}_{i,t} \quad \forall i, t$$

capacidade reservatório  $i$  em  $t$

$$\underline{u}_{i,t} \leq u_{i,t} \leq \bar{u}_{i,t} \quad \forall i, t$$

capacidade reservatório  $i$  em  $t$

$$\underline{q}_{i,t} \leq q_{i,t} \leq \bar{q}_{i,t}(h_{l i,t}) \quad \forall i, t$$

vazão turbinada por  $i$  em  $t$

$$v_{i,t} \geq 0 \quad \forall i, t$$

vertimento de  $i$  em  $t$

## Exemplo 4: produção de alimento



# Produção, armazenagem e distribuição

## ■ Características da indústria

- produtor de cereais e alimentos de conveniência
- 5 plantas (P) nos EUA e Canadá
- 7 centros de distribuição (CD)
- 15 empacotadores sub-contratados
- 80 produtos
- clientes atendidos a partir de 4 (P) e CD
- previsão semanal de demanda
- horizonte de planejamento: 30 semanas

## ■ Restrições

- capacidade das linhas de produção
- capacidade das linhas de empacotamento
- empacotar toda a produção semanal

## Decisões semanais

- 1) produção
- 2) estoque
- 3) empacotamento
- 4) quanto enviar de (P) e (CD)

ideia: minimizar custo total

custo total: soma custos de

- 1) produção cereal
- 2) empacotamento
- 3) estoque
- 4) transporte
- 5) penalidades por violar capacidades produção
- 6) penalidades por violar demanda satisfeita com atraso

Horizonte de planejamento: 30 semanas

## Resultado

sistema de otimização desenvolvido e instalado em 1990

economia operacional de US\$ 4.5 milhões (1995)

economia esperada de  $\approx$  US\$ 35 milhões por ano (tático)

Fonte: G. Brown, J. Keegan, K. Wood, The Kellogg Company Production Inventory and Distribution Interfaces, 31, 1-15, 2001.



# Inteligência artificial e computacional

## ■ Otimização: algoritmos e métodos

- aprendizagem
- estimação de estado
- controle e navegação autônoma
- classificação
- previsão
- *clustering*
- reconhecimento padrão
- robótica







# Referências

- Steven Nahmias, Production & Operations Analysis, 5<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2005
- Mikell Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, John Wiley, 2006
- Mikell Groover, Automation, Production Systems, and Computer Aided Manufacturing, Prentice-Hall, 2007

# Observação

Este material refere-se às notas de aula do curso EA 044 Planejamento e Análise de Sistemas de Produção da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp. Não substitui o livro texto, as referências recomendadas e nem as aulas expositivas. Este material não pode ser reproduzido sem autorização prévia dos autores. Quando autorizado, seu uso é exclusivo para atividades de ensino e pesquisa em instituições sem fins lucrativos.