

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**  
**Departamento de Engenharia Química**  
**Instituto de Sistemas e Robótica**



**Operação de Processos Assistida por Computador -  
a evolução necessária na produção industrial**

Sebastião Feyo de Azevedo  
E-mail: [sfeyo@fe.up.pt](mailto:sfeyo@fe.up.pt)  
URL: <http://www.fe.up.pt/~sfeyo/>

XIII Jornadas de Engenharia Química  
10-11 de Maio, 2000  
Instituto Superior Técnico, Lisboa

### **Plano para a comunicação**

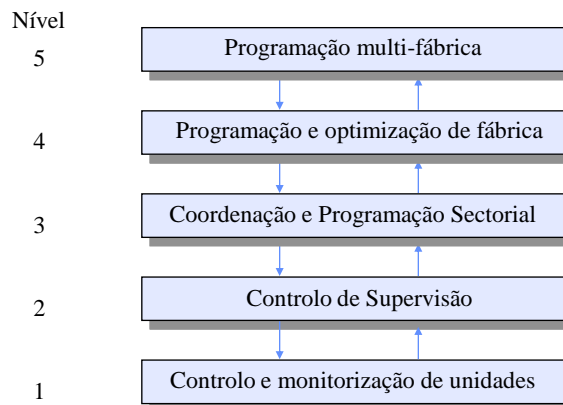
- ① **Âmbito**
  - ① Apreciar a interdisciplinaridade
- ② **Uma perspectiva de desenvolvimento integrado da tecnologia e da teoria**
  - ② Que dificuldades na operação de processos?
- ③ **Monitorização e controlo de processos**
  - ③ métodos convencionais
  - ③ novos métodos - com base em modelos
    - Sensores por programação
    - metodologias de controlo avançado
- ④ **Outros factores para a prática da teoria**
  - ④ O Factor Humano - investimento, conhecimento e estrutura industrial
- ⑤ **Principais ideias a reter**

## Operação de Processos Assistida por Computador Sobre o (velho) fosso entre a teoria e a prática

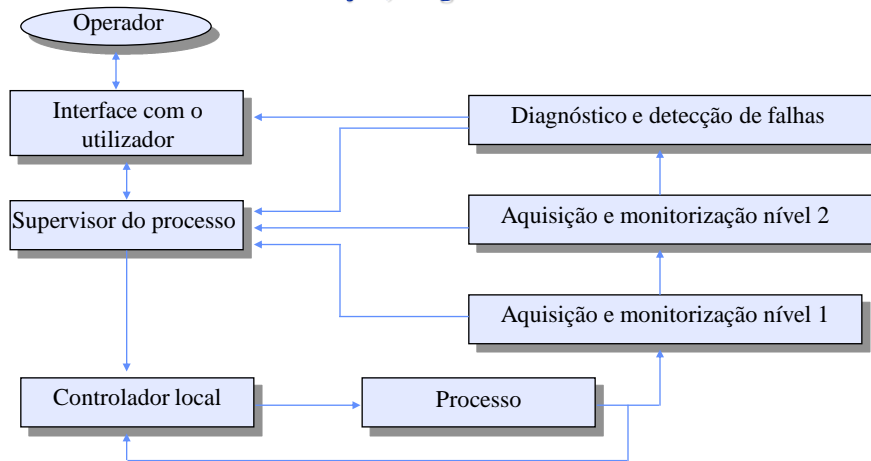
- ☞ O desenvolvimento de formas novas (ou melhoramentos na ) operação de processos só é bem sucedido quando
- ☞ É possível ligar a inovação teórica com a tecnologia disponível para implementação à escala industrial
- ☞ Avanços na tecnologia digital têm impacto decisivo na instrumentação e controlo, abrindo caminho para trazer metodologias e tecnologias novas para a operação de processos

**uma área nova de interesse**  
**Operação de Processos Assistida por Computador**

## Operação de Processos Assistida por Computador Âmbito - Níveis de actuação



## Operação de Processos Assistida por Computador Monitorização, diagnóstico e controlo



## Operação de Processos Assistida por Computador I - Medidas (I)

- ☞ Sensores e instrumentos analíticos - elementos primários em monitorização de processos.

apesar dos progressos tecnológicos observados - em larga medida, **o estrangulamento** está na (in)capacidade de medir propriedades dos processos

### ☞ **Actualmente**

- Medidas indirectas ainda são necessárias
- Servem como exemplo, do ainda não 'possível'-
  - medição fiável de biomassa em processos de fermentação
  - medição fiável de distribuição de tamanhos de cristais em cristalização industrial

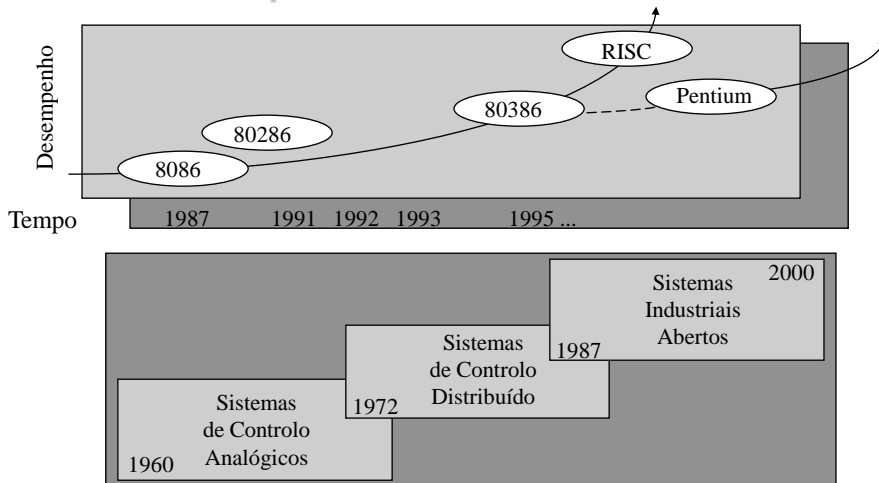
## Operação de Processos Assistida por Computador II - Sistemas de controlo industrial (I)

Um marco na história da OPAC,  
no fecho dos anos 80

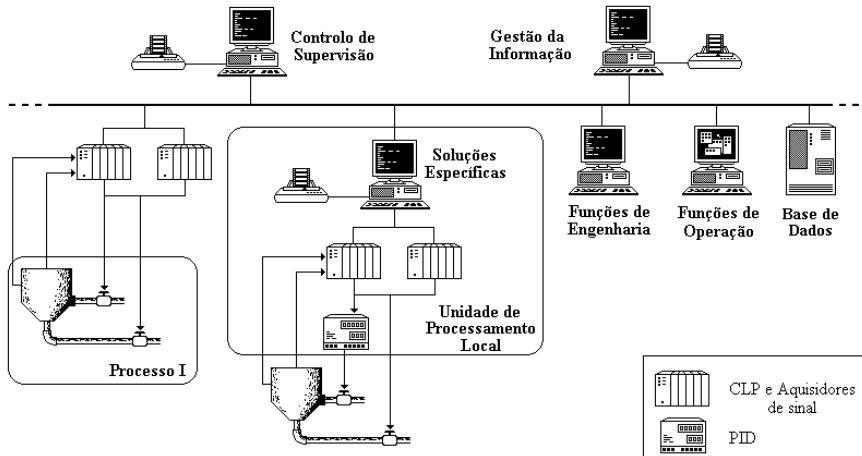
☞ **Hoje**, estão disponíveis sistemas comerciais com arquitecturas abertas, empregando sistemas operativos e protocolos de comunicação padronizados, o que permite -

- acção distribuída
- implementação simples de algoritmos complexos
- programação de supervisão com linguagens de nível alto
- integração de aplicações 'à medida' do problema

### Evolução em sistemas de controlo e em arquitecturas de sistemas de controlo



## Sistemas de controlo distribuído



## Operação de Processos Assistida por Computador III - Evolução na teoria (I)

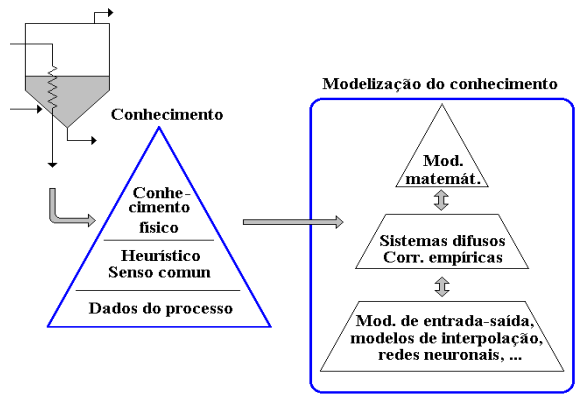
### 🔗 Evolução de conceitos em operação de processos

- No essencial, baseiam-se numa evolução da atitude relativamente ao conhecimento disponível -
  - Que conhecimento ?
  - Como o capturar ?
  - Como o representar e usar ?

OU

- Repensar de conceitos sobre capturar e representar 'conhecimento' do processo
- Empregar métodos de engenharia de 'conhecimento'

## Capturar e representar o conhecimento I - Formas de conhecimento



## Capturar e representar o conhecimento II - Modelos (I)

- Modelos mecanísticos (primeiros princípios)

Ex: modelo dinâmico para fermentadores

$$\frac{d\xi}{dt} = r(\xi) - D\xi + F - Q(\xi)$$

- Modelos estocásticos, de entrada-saída

$$A(q^{-1}) y(t) = B(q^{-1}) u(t) + C(t) w(t)$$

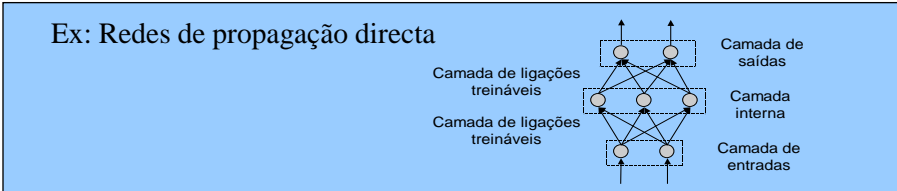
em que:  $q^{-1} y(t) = y(t-1)$

Ex: controlo de nível (h) com o caudal de saída (Q)

$$\hat{h}_k = \sum_{i=1}^2 a_i h_{k-i} + \sum_{j=1}^2 b_j Q_{k-j}$$

## Capturar e representar o conhecimento II - Modelos (II)

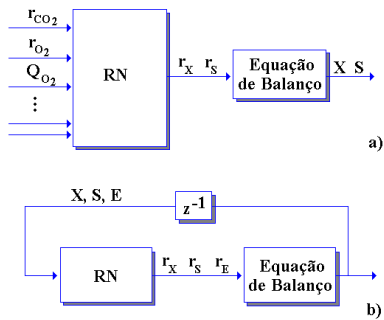
☞ modelos baseados em métodos e técnicas de IA



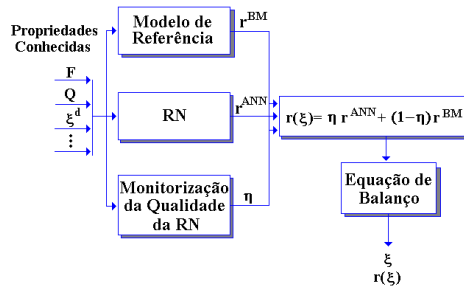
☞ Modelos híbridos (mecanísticos + RN e/ou métodos difusos e/ou bases de conhecimento)

- Capturar conhecimento escondido e evitar a violação dos 'primeiros princípios'.

## Modelização Híbrida - I



## Modelização Híbrida - II Monitorização do desempenho de uma RN



## Operação de Processos Assistida por Computador III - Evolução na teoria (II)

### ☞ Metodologias modernas para operação de processos

- Métodos com base em modelos -
  - modelos determinísticos
  - modelos estocásticos
  - modelos com base em conceitos de IA
  - modelos híbridos
- Empregar aproximações híbridas -combinar formas diferentes de conhecimento
  - redes neuronais difusas
  - redes modulares híbridas
- Naturalmente que - fazem uso da capacidade computacional hoje disponível !

## Operação de Processos Assistida por Computador Factores limitantes e o futuro

### ☞ Dificuldades na operação industrial

- Nas medidas do processo
- No ‘conhecimento’ humano em engenharia de sistemas de processos

AINDA ASSIM , -

### ☞ O trabalho para o futuro já começou -

- Repensar de conceitos sobre capturar e representar ‘conhecimento’ do processo
- Implementar métodos com base em modelos e adaptativos no equipamento industrial disponível, para operação em tempo-real

## Operação de Processos Assistida por Computador IV - Monitorização de processos (I)

### ☞ **Tópico na primeira linha do nosso interesse -**

- monitorizar o comportamento de variáveis internas do processo, que definem o chamado estado do processo, e para as quais as medidas directas -
  - ou são difíceis,
  - ou são caras,
  - ou são imprecisas,
  - ou não existem

### ☞ **Solução com base no sistema distribuído de aquisição de dados**

- Acções básicas - aquisição directa, alarmes, acções tudo-nada, gráficos, históricos...
- Implementação de métodos de análise com base em modelos

## Operação de Processos Assistida por Computador IV - Monitorização de processos (II)

### ☞ ‘Sensores por programação’

**genericamente** representam um método pelo qual -  
com um número mínimo de medidas directas, se é capaz de descrever  
completamente o estado do processo em qualquer momento e ponto da  
operação

### ☞ Sensores por programação

- métodos com base em modelos determinísticos
- métodos com base em RNA
- métodos com base em modelos híbridos

## Operação de Processos Assistida por Computador Sensores por programação I - Galileu reavaliado

### ☞ Há ~ 400 anos, Galileu Galilei (1564-1642) -

“Measure what is measurable and  
make measurable what is not so”,

Citado em I. Gordon and S. Sorkin, *The Armchair Science Reader*  
(New York, 1959)

‘Quotations by Galileo Galilei’

in <http://www-groups.dcs.st-nd.ac.uk/~history/Quotations/Galileo.html>

## **Operação de Processos Assistida por Computador Sensores por programação**

### **II - com base em modelos mecânicos**

- ★ Frequentemente ‘sensores por programação’ consistem somente na manipulação de relações algébricas simples,
  - É o caso da medida da sobressaturação em processos de cristalização.
  
- ★ Noutras situações, o sensor requer o uso do modelo mecânico completo
  - Normalmente, procura-se uma transformação que elimine os termos ou parâmetros conhecidos com menos exactidão

Invariavelmente são termos ‘cinéticos’

## **Operação de Processos Assistida por Computador Sensores por programação**

### **III - com base em redes neuronais ou aproximações híbridas**

- ★ Noutros casos utilizam-se modelos de ‘entrada-saída’

Esta aproximação levanta questões sobre a confiança que temos nos resultados, quando for a do domínio de treino
  
- ★ Soluções híbridas envolvendo modelos mecânicos e RNA representam uma solução potencialmente adequada para muitas aplicações -

Capturam ‘conhecimento escondido’ e evitam que se violem ‘primeiros princípios’

## **Operação de Processos Assistida por Computador V - O presente e o futuro de controlo de processos (I)**

- ☞ Progresso significativo em controlo convencional
  - Controlo PID avançado
  - Sintonização automática
  - Controlo por antecipação-realimentação
  
- ☞ Controlo com base em modelos (MBPC)
  - Controlo (adaptativo)-predictivo
  - Controlo adaptativo com modelo de referência
  - Controlo não-linear adaptativo linearizante
  - Controlo robusto

## **Operação de Processos Assistida por Computador V - O presente e o futuro de controlo de processos (II)**

- ☞ Métodos da Engenharia de Conhecimento
  - Redes neuronais artificiais
  - Sistemas de controlo difuso
  - Métodos que utilizam bases de conhecimento em tempo-real
  - Métodos híbridos
  - Redes híbridas modulares

## **Operação de Processos Assistida por Computador O Factor Humano**

### **Operação industrial assistida por computador ?**

OBVIAMENTE, MAS -

A não aceitação ou o não entendimento de todas as implicações  
pode levar a expectativas frustradas -

- I - Custo do investimento
- II - Conhecimento técnico
- III - Mudanças organizacionais
- IV - A função da Universidade

## **O Factor Humano I - Justificação do investimento**

☞ Automatizar a produção com controlo por computador pode exigir um investimento elevado.

- repensar da produção
- a aquisição de novos sensores
- elementos finais de controlo.
- Custo elevado de re-cablagem
- O custo de licenças continua muito elevado.

Isto significa que



Frequentemente a decisão de investimento tem de ser vista como uma decisão política de gestão e não como uma decisão com base em estudos económicos de curto prazo.

Questão relevante -  
Que futuro, se não nos mantivermos competitivos ?

## O Factor Humano II - *conhecimento técnico*

- ☞ A operação do processo é com o(a) 'engenheiro(a) de processo', **mas, claramente**
- ☞ a evolução para controlo por computador exige novo conhecimento na empresa -
  - Elaboração de soluções específicas
  - tradução de especificações do processo em códigos da linguagem de controlo
  - Manutenção e documentação de programas e procedimentos
- ☞ Se a empresa não fomentar a endogeneização deste *conhecimento*, o resultado será -

uma sub-utilização da tecnologia e  
uma dependência excessiva de serviços externos.

## O Factor Humano III - Reorganização na Empresa

- ☞ Emerge assim a necessidade de um perfil novo - o perfil da engenharia de sistemas aplicada a processos industriais.
- ☞ A Organização tem de se adaptar e trazer este novo perfil para o seio do pessoal da operação do processo.
- ☞ Exige-se um trabalho de equipa. **Até porque assim** o pessoal do processo entenderá bem o esforço que é necessário neste novo trabalho de manter e desenvolver os programas de monitorização e controlo.

Nunca devemos esquecer que -  
O entendimento por todos da tarefa de cada um  
é a única forma de ter colaboração genuína de equipa.

## **Afinal, uma evolução natural... A necessidade de 'Instrumentistas' na Indústria**

- ☞ **Nos anos 40** - sistemas pneumáticos na indústria -
  - necessidade de manter e **calibrar** sensores, controladores, válvulas...
  - necessidade de Instrumentistas de equipamentos pneumáticos
  
- ☞ **Mais tarde, nos anos 70** - equipamento electrónico analógico; tecnologia digital -
  - o mesmo tipo de exigências de conhecimento humano -
    - os Instrumentistas para equipamentos analógicos e para equipamentos digitais!

## **Afinal, uma evolução natural... A necessidade de 'Instrumentistas' na Indústria**

- ☞ **Para os Anos 00...**
  - sensores por programação e controlo com base em modelos - novas-antigas exigências de '**calibração**'
  - uma evolução dos Técnicos e Instrumentistas clássicos, com conhecimento em -
    - ✓ engenharia de processo;
    - ✓ modelização e simulação por computador;
    - ✓ identificação de modelos e estimativa de parâmetros;
    - ✓ análise de modelos não-lineares;
    - ✓ controlo por computador.

## Principais ideias a reter

### ☞ **Dificuldades na prática industrial**

- Nas medidas do processo
- Na (falta de) conhecimento humano em engenharia de sistemas de processos

### ☞ **Hoje, existem as condições tecnológicas necessárias para que a indústria pratique a teoria**

### ☞ **O trabalho para o futuro já começou -**

- Desenvolver e transportar métodos com base em modelos e métodos adaptativos para o processo industrial.

### ☞ **MAS -**

- **As Empresas têm que entender os custos e a necessidade de reestruturações internas**
- **Há falta de conhecimento especializado, em relação ao que se deve esperar uma palavra decisiva da Universidade**