

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



**Operação de Processos Assistida por Computador –
Engenharia de *Conhecimento* na Produção Industrial**

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

Jornadas de Engenharia Biotecnológica 2002
28 de Fevereiro, 2002
Universidade do Algarve

Plano para a comunicação

- ① **Dizer o que vou dizer**
- ② **Dizer o que tenho para dizer**
- ③ **Dizer o que disse**

Dizer o que vou dizer

- 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 Evolução da tecnologia e da teoria
- ④ **Exemplos de aplicação**
- ⑤ **Outros factores para a prática da teoria**
 - ⑤ O Factor Humano - investimento, conhecimento e estrutura industrial
- ⑥ **Principais ideias a reter**

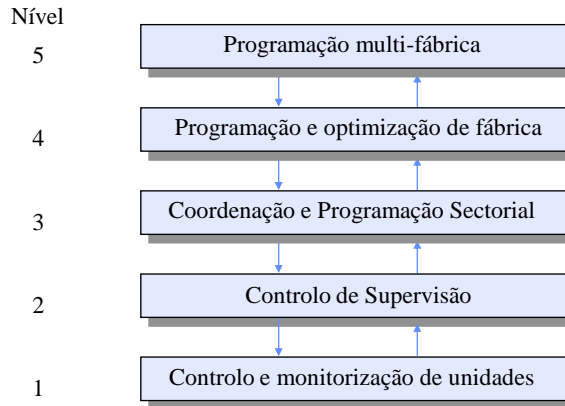
Operação de Processos Assistida por Computador Sobre o (velho) fosso entre a teoria e a prática

- ☞ 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

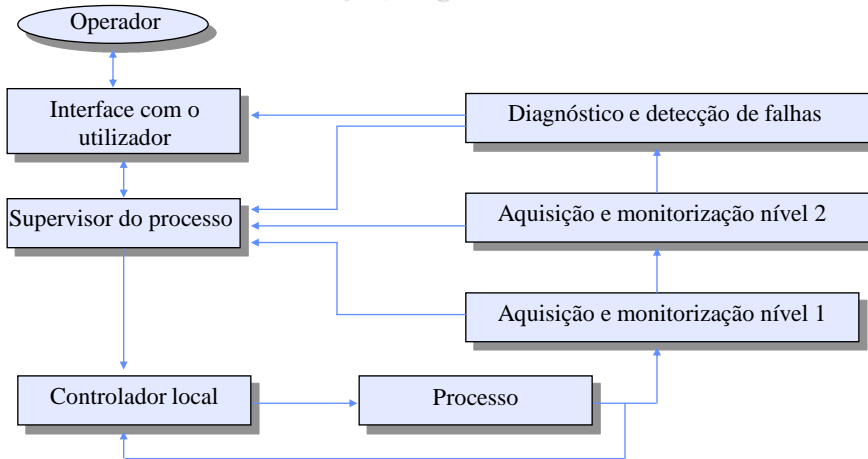
Uma área nova de interesse

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



Dizer o que vou dizer

- 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 Evolução da tecnologia e da teoria
- ④ **Exemplos de aplicação**
- ⑤ **Outros factores para a prática da teoria**
 - ⑤ O Factor Humano - investimento, conhecimento e estrutura industrial
- ⑥ **Principais ideias a reter**

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**

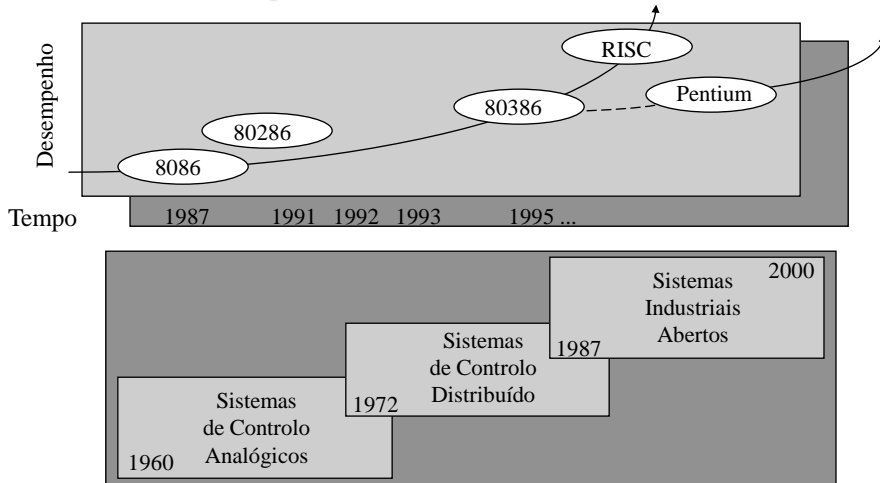
- Medidas indirectas ainda são necessárias
- Servem como exemplo, do ainda não ‘possível’-
 - medição fiável de biomassa em processos de fermentação
 - medição fiável de distribuição de tamanhos de cristais em cristalização industrial

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

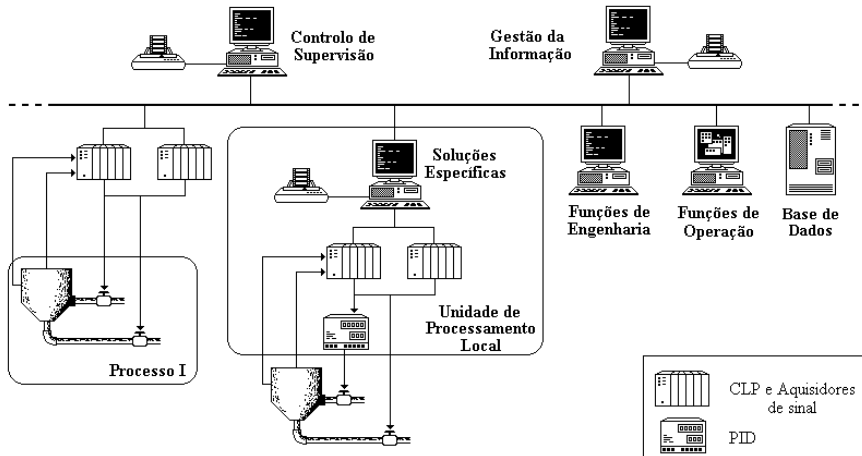
Um marco na história da OPAC,
no fecho dos anos 80

- ☞ **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 – Capturar e representar conhecimento

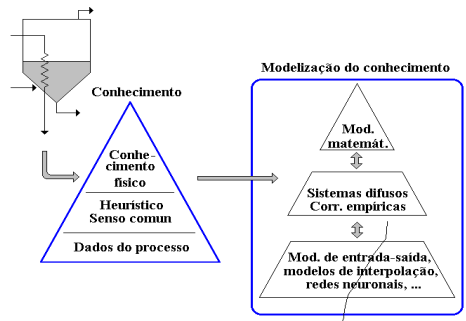
👉 Evolução de conceitos em operação de processos

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

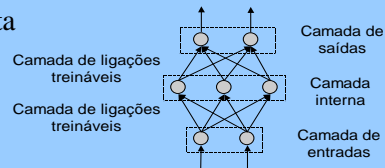
Ex: controlo de nível (h) com o caudal de saída (Q)

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

Capturar e representar o conhecimento II - Modelos (II)

- ☞ Modelos baseados em métodos e técnicas de IA

Ex: Redes de propagação directa

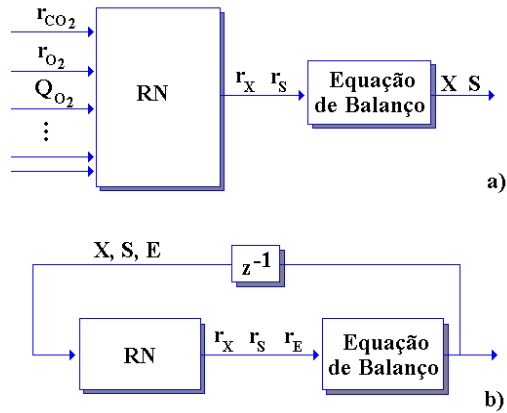


- ☞ Modelos híbridos (mecanísticos + RN e/ou métodos difusos e/ou bases de conhecimento)
 - Capturar conhecimento escondido e evitar a violação dos 'primeiros princípios'.

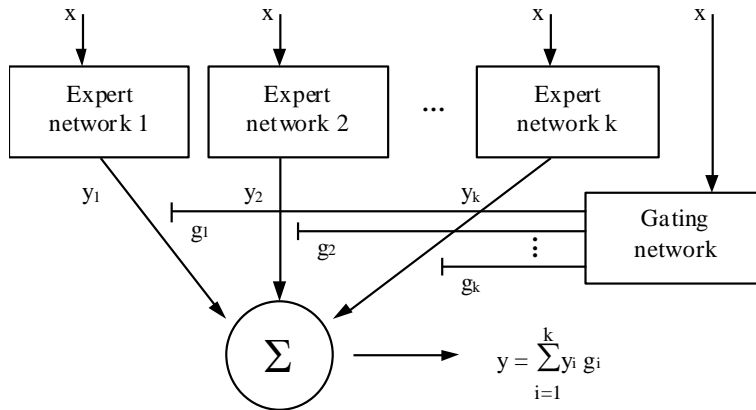
Capturar e representar o conhecimento III – Integração de conhecimento (I)

- ☞ **Pretende integrar-se conhecimento mecanístico + RNN e/ou difuso e/ou and/or RTKBS**
 - Capturando 'conhecimento escondido' sem violar 'primeiros princípios'
- ☞ **Integração modular complementar**
 - Formas diferentes de conhecimento, focando sub-sistemas diferentes
- ☞ **Integração modular competitiva**
 - Fontes e tipos de informação diferentes para o mesmo sub-sistema

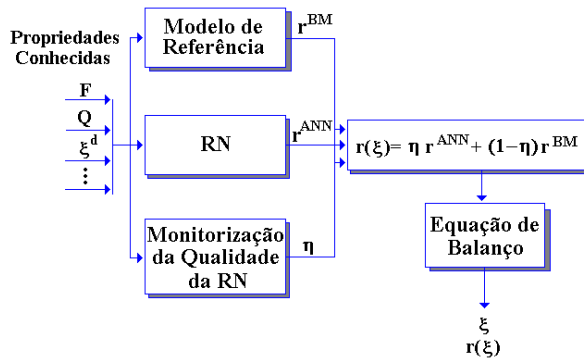
Capturar e representar o conhecimento III – Integração de conhecimento (II) Estruturas híbridas modulares complementares



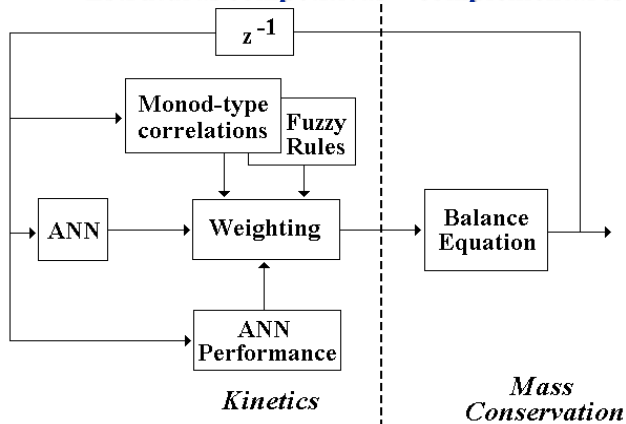
Capturar e representar o conhecimento III – Integração de conhecimento (III) Estruturas híbridas modulares competitivas



Capturar e representar o conhecimento III – Integração de conhecimento (IV) Estruturas competitivas + complementares



Capturar e representar o conhecimento III – Integração de conhecimento (IV) Estruturas competitivas + complementares



Dizer o que vou dizer

- 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 Evolução da tecnologia e da teoria
- ④ **Exemplos de aplicação**
- ⑤ **Outros factores para a prática da teoria**
 - ⑤ O Factor Humano - investimento, conhecimento e estrutura industrial
- ⑥ **Principais ideias a reter**

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

☞ **Soluções com base nos sistemas distribuídos actuais**

- Acções básicas - aquisição directa, alarmes, acções tudo-nada, gráficos, históricos...
- Acções avançadas - 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. Gordonand and S. Sorkin, *The Armchair Science Reader* (New York, 1959)

‘Quotations by Galileo Galilei’ in <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Quotations/Galileo.html>

Operação de Processos Assistida por Computador

Sensores por programação

II - com base em modelos mecânicos

- ① Frequentemente ‘sensores por programação’ consistem somente na manipulação de relações algébricas simples,
 - ✓ É o caso da medida da sobressaturação em processos de cristalização.

- ② 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

- ③ Noutros casos utilizam-se modelos de ‘entrada-saída’
 - ✓ Esta aproximação levanta questões sobre a confiança que temos nos resultados, quando fora do domínio de treino

- ④ 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
 - ✓ Hoje, dirige-se a atenção para algoritmos digitais
 - Controlo por realimentação negativa – PID convencional
 - Controlo por realimentação negativa – PID avançado
 - Sintonização automática
 - Controlo em cascata
 - Controlo por antecipação
 - Controlo por realimentação-negativa-antecipação

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

- ☞ Controlo com base em modelos (MBPC)
 - ✓ Controlo (adaptativo)-predictivo
 - ✓ Controlo adaptativo com modelo de referência
 - ✓ Controlo não-linear adaptativo linearizante
 - ✓ Controlo robusto
- ☞ 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

Dizer o que vou dizer

- 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 Evolução da tecnologia e da teoria
- ④ **Exemplos de aplicação**
- ⑤ **Outros factores para a prática da teoria**
 - ⑤ O Factor Humano - investimento, conhecimento e estrutura industrial
- ⑥ **Principais ideias a reter**

Dizer o que vou dizer

- 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 Evolução da tecnologia e da teoria
- ④ **Exemplos de aplicação**
- ⑤ **Outros factores para a prática da teoria**
 - ⑤ O Factor Humano - investimento, conhecimento e estrutura industrial
- ⑥ **Principais ideias a reter**

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
- Aquisição de novos sensores
- Aquisição de elementos finais de controlo.
- Custo elevado de re-cablagem
- O custo de licenças continua muito elevado.

☞ 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.

Dizer o que vou dizer

- 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 Evolução da tecnologia e da teoria
- ④ **Exemplos de aplicação**
- ⑤ **Outros factores para a prática da teoria**
 - ⑤ O Factor Humano - investimento, conhecimento e estrutura industrial
- ⑥ **Principais ideias a reter**

Dizer o que Disse Principais ideias a reter

- ☞ Operação de Processos Assistida por Computador
 - ✓ A evolução necessária na produção industrial
- ☞ Dificuldades na operação industrial
 - ✓ Nas medidas do processo
 - ✓ No ‘conhecimento’ humano em engenharia de sistemas de processos
- ☞ O trabalho para o futuro já começou -
 - ✓ Repensar de conceitos sobre capturar e representar ‘conhecimento’ do processo
 - ✓ Desenvolver e implementar métodos com base em modelos e adaptativos no equipamento industrial disponível, para operação em tempo-real

Dizer o que Disse **Principais ideias a reter**

Entender o futuro

- ☞ **Dura reforma de atitude na Sociedade Civil**
 - ☐ **Trabalho, organização, qualidade, formação contínua**

- ☞ **As Empresas têm que entender os custos e a necessidade de reestruturações internas, de modernização e de inovação**

- ☞ **A Universidade tem que ser capaz de proporcionar o conhecimento especializado necessário ao desenvolvimento**