

## **CONTROLE DE PROCESSO**

o que é controle de processos?

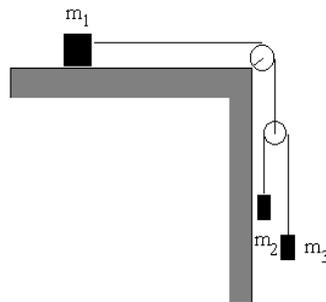
porque controlar um processo?

como controlar um processo?

o que o técnico precisa conhecer e entender do processo?

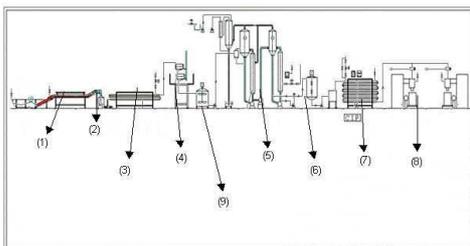
### **Estado estacionário x Dinâmica**

“ ... percebemos que nem sempre será possível utilizar uma equação simplificada (igualando a zero todas as derivadas em relação ao tempo) para descrever um processo. Este estado estacionário, na maior parte das vezes, é somente um objetivo buscado, mas nem sempre atingido ou mantido por muito tempo nos processos ...” [1] [2]



Em qualquer processo industrial, as condições de operação estão sujeitas às variações ao longo do tempo. O nível de líquido em um tanque, a pressão em um vaso, a vazão de um fluido; todas estas condições podem (e costumam) variar. Mesmo as variáveis que inicialmente consideramos constantes no processo (por exemplo, a temperatura ambiente) variam durante o processo.

### **Controle de processo: uma tentativa de influir no processo [3]**

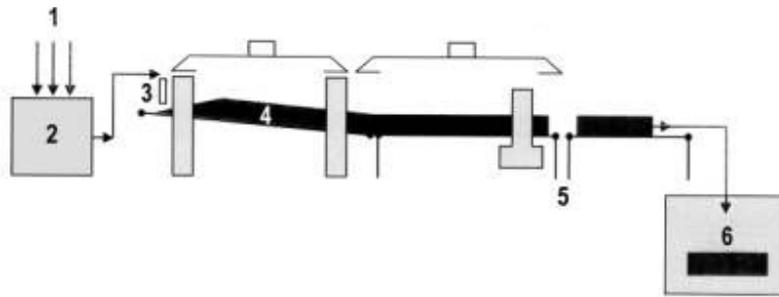


Esquema de uma linha de processamento de Molho de Tomate

- (1) - Esteira de Seleção de Tomate
- (2) - Triturador de Tomate
- (3) - Injetador Tubular
- (4) - Peneiras (separação de casca e semente do tomate)
- (5) - Evaporadores de Circulação Forçada
- (6) - Tanque de Suco de Tomate e Mistura dos Condimentos
- (7) - Pasteurizadores
- (8) - Equipamento de Envase das Embalagens
- (9) - Tanque de Suco de Tomate

**Controlar** um processo significa atuar sobre ele, ou sobre as condições a que o processo está sujeito, de modo a atingir algum objetivo - por exemplo, podemos achar necessário ou desejável manter o processo sempre próximo de um determinado estado estacionário, mesmo que efeitos externos tentem desviá-lo desta condição. Este estado estacionário pode ter sido escolhido por atender melhor aos requisitos de qualidade e segurança do processo.

**“É imprescindível saber o que se deseja em um processo.” [4]**



A produção contínua de blocos de espuma flexível consiste nas seguintes etapas: 1) Matérias-primas; 2) Tanques diários; 3) Cabeça misturadora; 4) Bloco da espuma; 5) Corte vertical; 6) Cura final.

### Contextualização

Manter um carro na estrada [6]



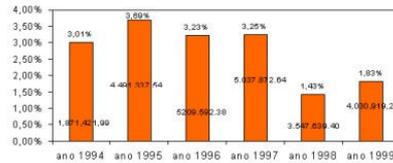
**monitora-se** a trajetória/ velocidade/ tráfego  
**atua-se** sobre volante/ acelerador/ freio  
**controla-se** a trajetória  
**segurança:** guard-rails/ muretas

Tomar uma ducha quente [7]



**monitora-se** temperatura/ vazão da água  
**atua-se** sobre as torneiras  
**controla-se** a temperatura e vazão  
**segurança:** instalações anti-choque / piso anti-derrapante, etc

## Controle de orçamento

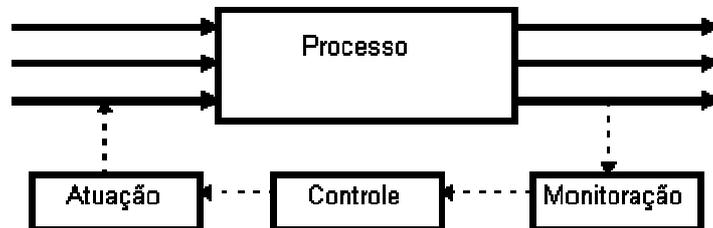


### Formas de Pagamento:



**monitora-se** o saldo bancário  
**atua-se** sobre desembolsos  
**controla-se** o orçamento  
**segurança:** poupança / seguros

### Representação esquemática simplificada



Observe que este esquema não representa um fluxo de informação fundamental: de onde o controlador obtém os objetivos de controle?

### Competências do técnico em ICP:

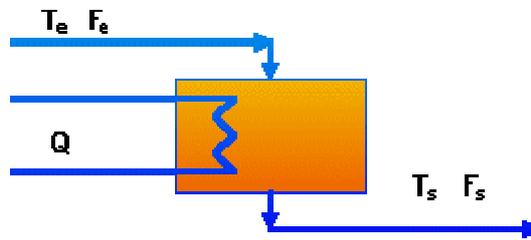
- contribuir na fase de projeto (projeto *controlável*)
- determinar estratégias de controle
- selecionar sensores (tipo, localização)
- selecionar elementos finais de controle
- dimensionar sistemas de controle
- contribuir no desenvolvimento da interface com os operadores (*displays*) [5]
- realimentar novos sistemas com a experiência da manutenção dos sistemas



Display de monitoração de processo ou equipamentos de teste desenvolvidos em LabView

**Conceitos básicos**

Utilizando como exemplo um aquecedor elétrico de líquido, vamos definir alguns conceitos básicos de controle de processo.



No desenho, T e F representam respectivamente temperatura e vazão. Os subscritos indicam entrada e saída. O objetivo do processo é aquecer o líquido (inicialmente na temperatura  $T_e$ ) até um valor desejado,  $T_R$ .

**Projeto :** Dimensiona-se o equipamento de modo a fornecer a quantidade de calor adequada aos objetivos do processo.

Balanco material:  $F_e = F_s = F$

Balanco térmico:  $Q = F.c.(T_R - T_e)$  para que  $T_s = T_R$

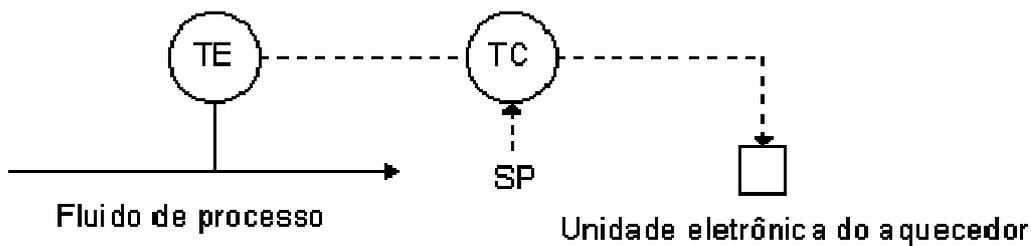
**Operação :** O processo raramente opera de forma estável nas condições de projeto. Para operar com sucesso, é necessário compensar o efeito de perturbações externas.

Supondo que  $T_e$  esteja sujeita a perturbações, qualquer uma das abordagens a seguir poderia ser utilizada:

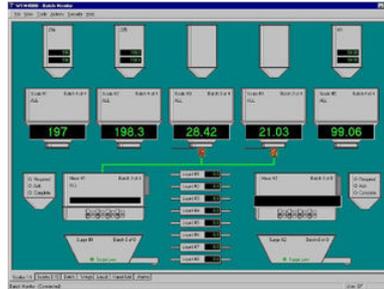
variável controlada	variável medida	variável manipulada
$T_R$	$T_s$	Q
$T_R$	$T_e$	Q
$T_R$	$T_s$	F
$T_R$	$T_e$	F
$T_R$	$T_e$ e $T_s$	Q
$T_R$	$T_e$ e $T_s$	F

**Controle automático simplificado:**  $Q = Q_{proj} + K.(T_R - T_s)$

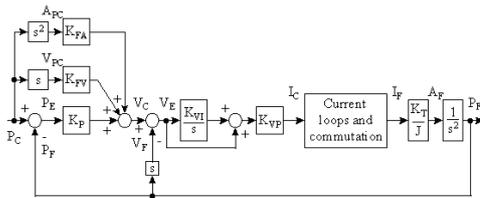
Representação esquemática:



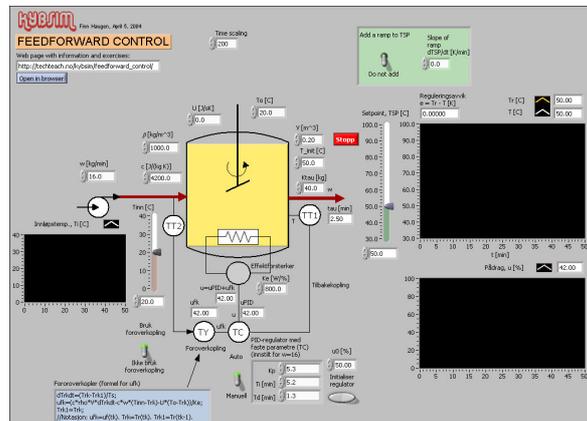
**Controle por realimentação (feed-back):** o controle é feito com base na comparação entre o resultado obtido e o desejado. [8]



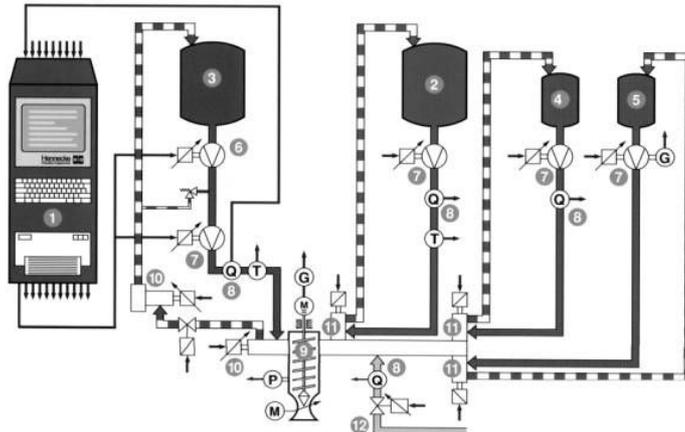
**Controle feed-forward (chamado às vezes de preditivo):** o controle é feito com base nos dados de entrada. Para sua aplicação, o controlador deve entender as relações de causa e efeito relativos ao comportamento do processo. [9]



- Cascaded velocity position controller with feed-forward gains:
- $K_{VP}$ : proportional velocity gain
  - $K_{VI}$ : integral velocity gain
  - $K_P$ : proportional position gain
  - $K_{VF}$ : velocity feed-forward gain
  - $K_{FA}$ : acceleration feed-forward gain



Controle de Processos - Exemplo



- 1) Central de controle;
  - 2) Tanque do polioli;
  - 3) Tanque do isocianato;
  - 4) Vaso dos aditivos;
  - 5) Vaso da pasta de pigmento;
  - 6) Bomba de alimentação;
  - 7) Bombas dosadoras;
  - 8) Medidores de fluxo;
  - 9) Agitador;
  - 10) Válvula de controle da injeção do isocianato;
  - 11) Válvula de produção / recirculação;
  - 12) Admissão de ar.
- [4]

## Automação e Controle de Processos

### Controle de processo

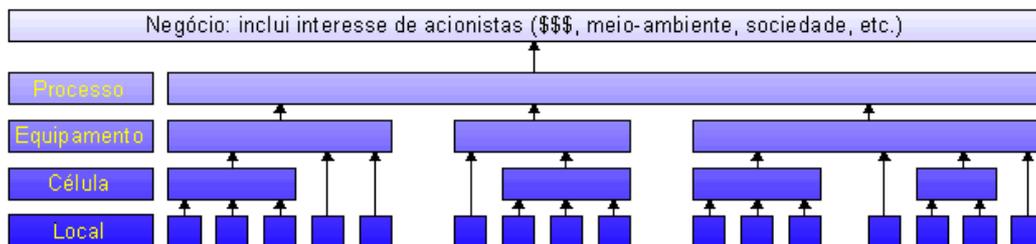
- Controle de temperatura, vazão, pressão, nível
- Controle de pH
- Balanceamento de passes, controle de razão, etc.

### Segurança do processo

- Válvulas de segurança/ discos de ruptura
- Intertravamento
- Diagrama de causa e efeito
- Diagrama lógico

### Níveis de automação

No início da revolução industrial, o objetivo da automação se restringia a controlar (no sentido de manter constante) uma variável específica.



### Controle e supervisão

- Tempo de resposta
- Algoritmos de controle
- Otimização de processo

### Controle tradicional e controle avançado

- Modelos empíricos
- Controle baseado em modelos

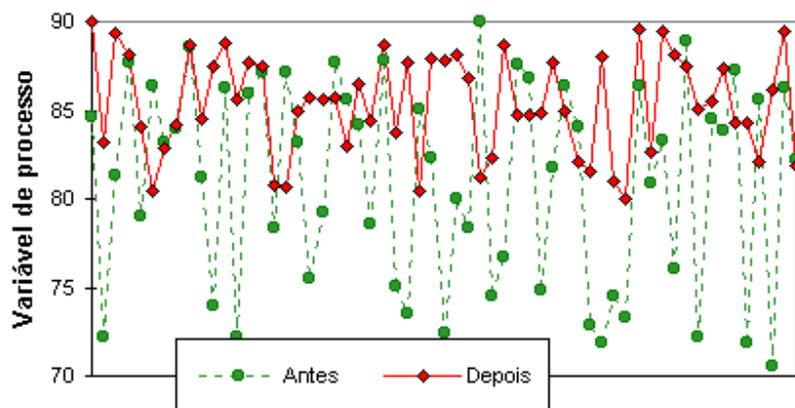
## Motivação para controle de processo

### Principais objetivos de controle

- Segurança operacional e pessoal - HACCP - Sistema de Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle
- Adaptação a perturbações externas
- Estabilidade operacional
- Especificação do produto
- Redução do impacto ambiental
- Adaptação às restrições inerentes (equipamento/ materiais/ etc.)
- Otimização
- Resultado econômico do processo

### Justificativa econômica

Um sistema de controle confiável permite operar próximo aos limites impostos pela segurança, pelo meio-ambiente e pelo processo (temperatura máxima, pureza mínima), o que permite alterar as condições de operação normais (linha tracejada na figura) para uma condição mais favorável (linha contínua).

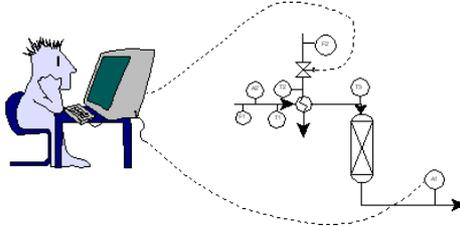


Os ganhos associados a uma menor variabilidade se tornam ainda maiores em processos onde existem transições entre produtos com diferentes graus ou especificações, como ocorre frequentemente no refino do petróleo e em unidades de polimerização. Inevitavelmente, durante a transição, haverá um período em que será gerado um produto fora de especificação, que será reciclado (maior gasto de energia) ou vendido (a preços mais baixos). A seleção de uma boa estratégia de controle permite reduzir o tempo de produção fora da especificação, e conseqüentemente melhora o resultado econômico do processo.

**SÉRIE DE EXERCÍCIOS ICP:**

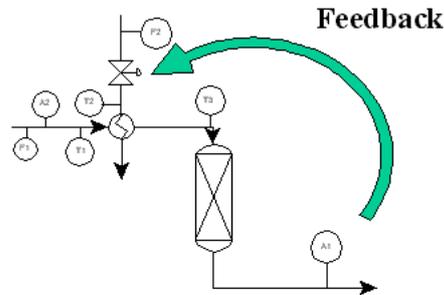
1) Selecione 3 (três) processos, explique o funcionamento e identifique os conceitos básicos de Controle nos processos.

2) O controle *Feedforward* é executado sempre usando sistemas digitais ?



3) O controle pode ser aplicado usando diversos métodos, incluindo mas não ser limitado ao feedback ?

4) O controle Feedback pode ser executado sem o uso de um sensor.



5) Uma planta industrial, por exemplo: química, pode ser muito grande e ter centenas ou milhares de sensores e de válvulas. Como o pessoal da planta monitora o processo e ajusta as aberturas das válvulas?

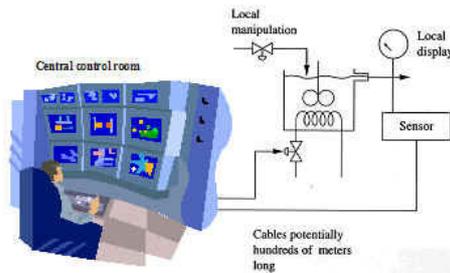
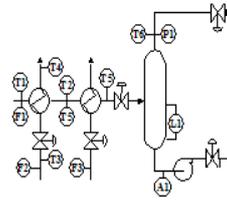


FIGURE 1.6

- ( ) Sempre andando pela planta para vistoriar todos os equipamentos.
- ( ) Por rádios transmissores.
- ( ) Em um sistema central com indicação das medidas dos sensores e dos estados das válvulas da planta.
- ( ) Através da experiência dos seniores.

6) Selecione a primeira letra (L, P, T, F, A ou nenhuma delas) do símbolo do sensor usado para cada variável física.

- ( ) O nível de um líquido em um tanque.
- ( ) razão de fluxo de massa.
- ( ) a pressão em um ambiente fechado.
- ( ) temperatura em uma tubulação.
- ( ) velocidade de rotação de um eixo.
- ( ) a taxa de fluxo do volume.
- ( ) % de propano em um duto de gás.



7) No nosso cotidiano, verifique se o controle Feedback faz parte destes dispositivos.



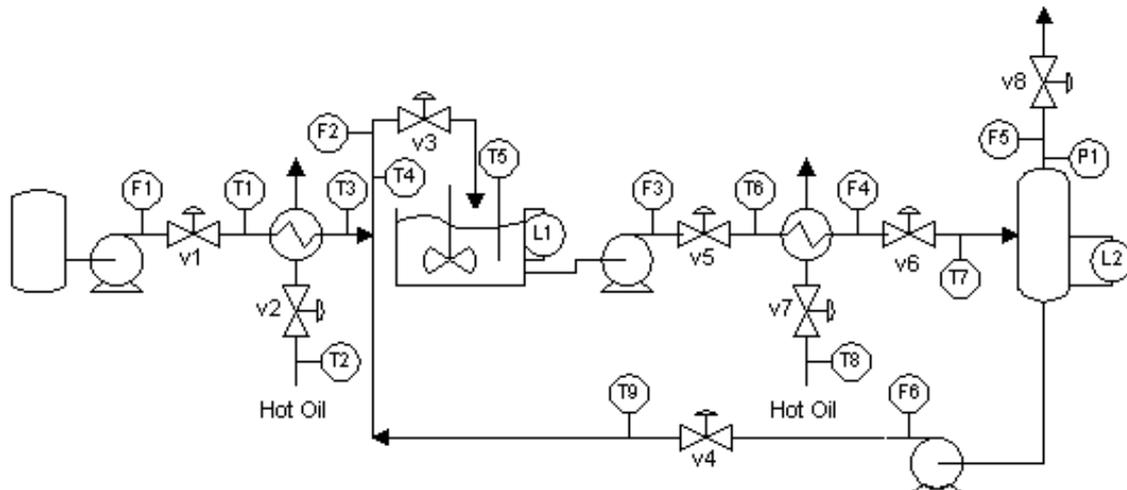
a) O “forno de microondas” é maravilhoso para fazer pipoca ou reaquecer alimentos.

b) O boiler é uma conveniência que fornece água quente sem a necessidade de tempo de espera.



c) a “caixa de descarga” armazena água, que é utilizada na bacia. A “caixa de descarga” armazena uma quantidade correta de água.

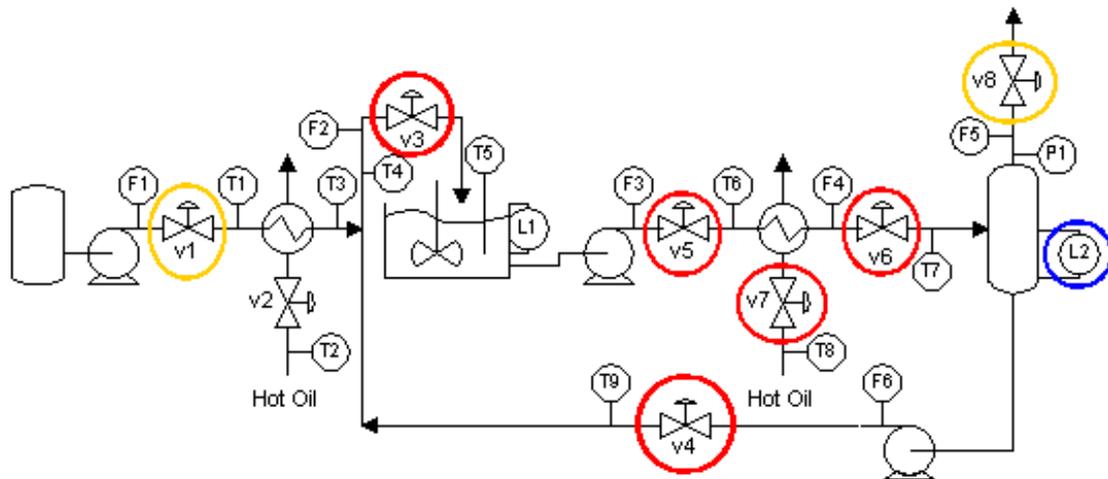
8) Conforme figura abaixo, você não pode mudar o processo, as válvulas são as únicas variáveis que podem ser manipuladas. Pode a seguinte variável ser controlada por Feedback ?



- a) L2 - Nível do líquido no tanque
- b) T5 - Temperatura do reator
- c) P1 - Pressão no duto

**Dicas (L2)**- Que válvula(s) tem maior influência no nível do líquido no tanque (separador flash) ? Há um sensor que possa ser usado para monitorar o nível do fluido em mudança ?

**Resposta:** Sim o nível do líquido no tanque pode ser controlado por Feedback porque há diversas válvulas que têm um efeito causal no nível do líquido. As válvulas (V3 / V4 / V5 / V6 e V7) têm uma forte influência, quanto a V1 e V8 tem uma fraca influência. A variável controlada é a L2.



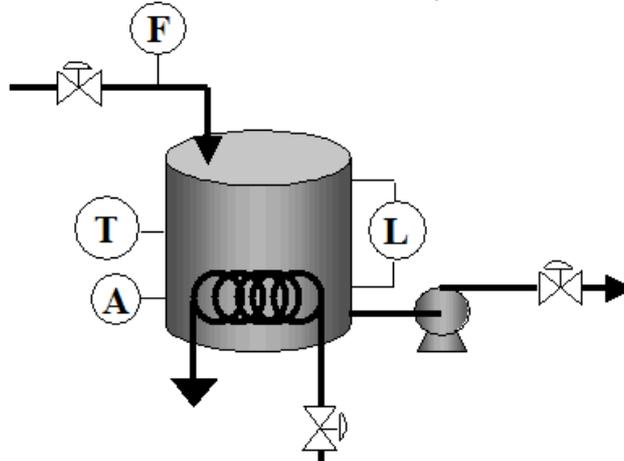
**Dicas (T5)** - A fim executar o controle Feedback, deve haver um sensor, e uma válvula que possa diretamente afetar a temperatura do reator. Há um sensor do tipo correto? O equipamento tem a habilidade de mudar a temperatura do reator?

**Dicas (P1)** - Mudanças de fluxos resultariam em uma mudança na pressão? Isto sugere uma válvula particular que possa ser útil para controlar a pressão? Há um sensor do tipo correto?

9) Conforme figura do processo acima, assinale V para verdadeiro e F para falso.

- ( ) No reator realiza-se uma mistura perfeita.
- ( ) Quando a válvula 2 (v2) for fechada, T3 é aproximadamente igual a T1.
- ( ) Fechando as válvulas, todos os fluxos para e do tanque podem ser parados.
- ( ) A temperatura de óleo quente T8 é maior que a do efluente do reator T6.
- ( ) O líquido do tanque “separador flash” flui pela gravidade para retornar ao reator.

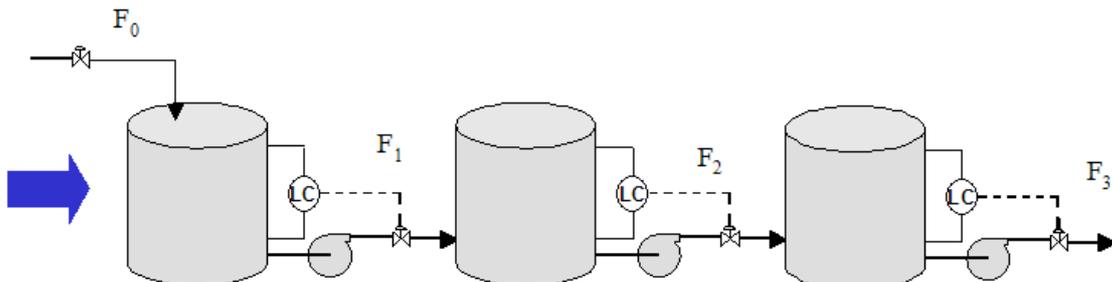
10) Você está projetando controles para o Processo da figura abaixo. Quais são os distúrbios que o sistema de controle deve compensar?



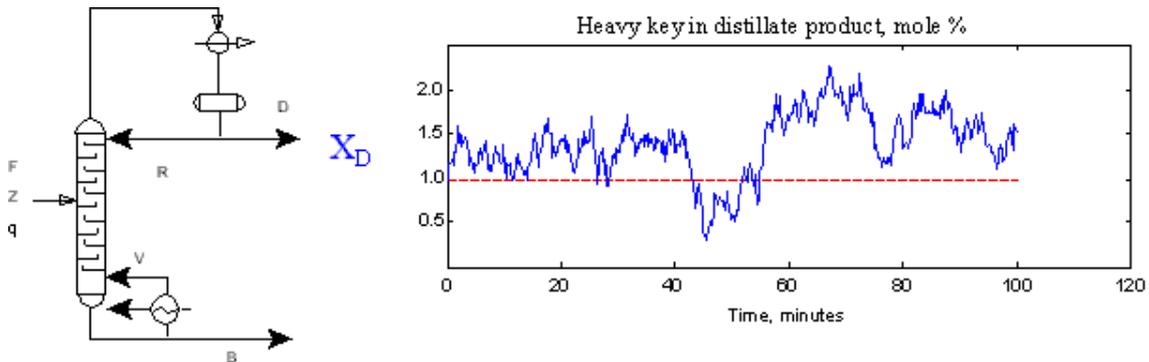
- Composição de alimentação (matéria prima).
- Falta de perfeita mistura.
- Erros no sensor de nível.
- Temperatura de entrada (alimentação).
- Não compreensão da reação química pelos técnicos.

11) Assinale V (verdadeiro) ou F (falso):

- Quando o controle do processo é usado para a segurança, o sistema aguarda como resposta final a confirmação do pessoal da planta ?
- Deve-se dispor diretamente ao ambiente, fora da planta o material liberado do processo, visando prevenir excessiva pressão interna.
- Os equipamentos utilizados nos processos são muito robustos e não são danificados por operação incorreta.

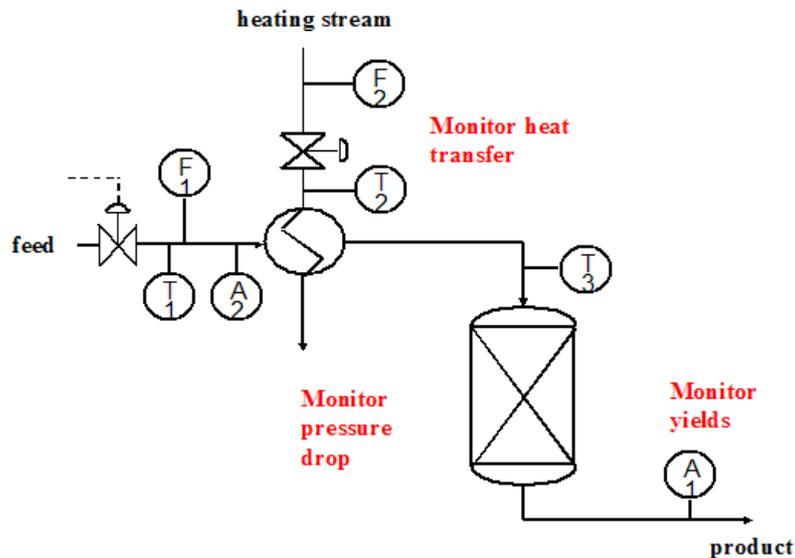


- Quando unidades da planta (colunas de destilação, reatores, etc..) são arranjadas em série, as baixas razões de fluxo (smooth flow rates) contribuem à boa operação.

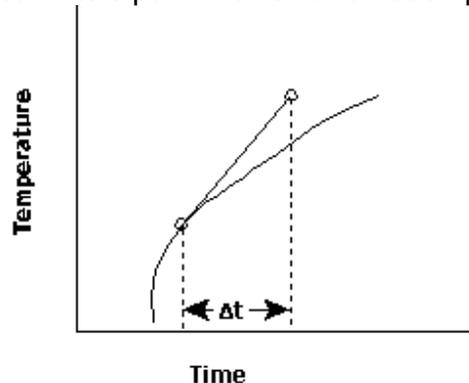


( ) A variabilidade na qualidade de produto não é tão importante por muito tempo como a média que satisfaz às demandas de clientes.

( ) Depois que a planta foi projetada e construída, a seleção das condições de operação tem pouca influência no lucro (\$\$).

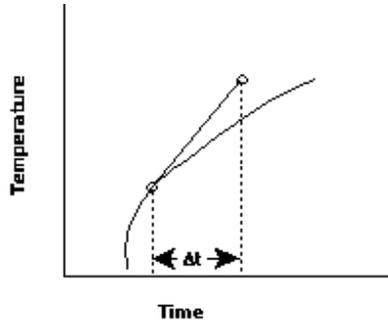


( ) As variáveis calculadas, tais como o coeficiente de transferência de calor e a seletividade da reação, são úteis para monitorar o desempenho do processo.



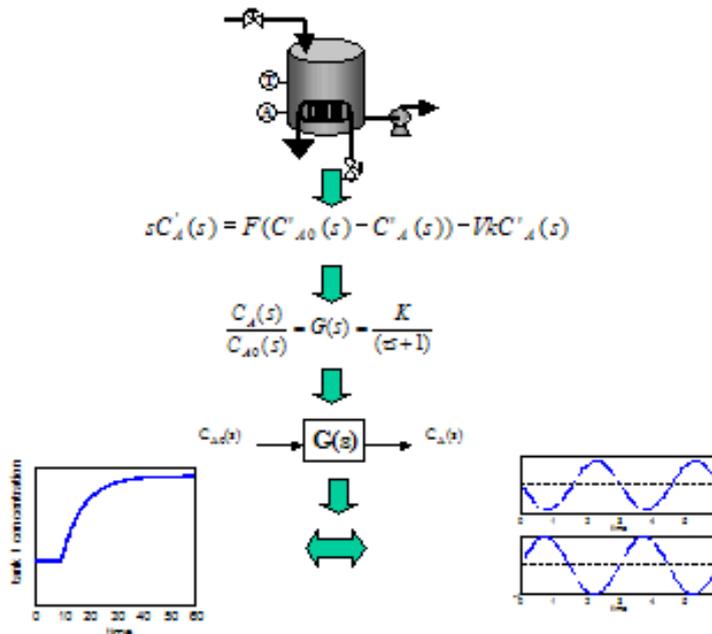
( ) A solução numérica para uma equação diferencial fornece os valores exatos da variável dependente para o valor especificado da entrada variável e da condição inicial especificada.

12) Qual é o formulário correto da fórmula de integração de Euler para uma equação diferencial da primeira ordem?



<b>A</b>	$Y_k = Y_{k-1} + (dY/dt)_{k-1}\Delta t$
<b>B</b>	$Y_k = Y_{k-1} + (dY/dt)_{k-1}^2\Delta t$
<b>C</b>	$Y_k = Y_{k-1} + (dY/dt)_{k-1}(X_{in})_{k-1}\Delta t$
<b>D</b>	$Y_k = Y_{k-1} + K_p(1-e^{-t/\tau})\Delta t$

13) Quais são as razões para usar transformada de Laplace em controle do processo?



- ( ) Linearizar uma função não-linear.
  - ( ) Resolver equações diferenciais para determinar as variáveis dependentes em função do tempo.
  - ( ) Estabelecer os aspectos chaves do comportamento dinâmico de funções de transferência (por exemplo: a estabilidade, damping etc..).
  - ( ) Determinar como o ganho do estado estacionário depende do projeto do equipamento e das condições de operação.
- 14) Complete a frase abaixo:

“ A transformada de Laplace e sua inversa são \_\_\_\_\_ ” (a mesma, distintas, número complexos”.

$$L(f(t)) = f(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

15) Para a seguinte equação diferencial, selecione a transformada de Laplace da equação.

$$\text{Differential Equation: } \tau \frac{dY}{dt} = K(X) - Y$$

- $Y(s) = \frac{K}{(\tau s + 1)} X(s)$
- $Y(s) = X(s)$
- $Y(s) = \frac{\tau Y(t)|_{t=0}}{(\tau s + 1)} + \frac{K}{(\tau s + 1)} X(s)$
- $Y(s) = K(1 - e^{-t/\tau})$

$$\tau \frac{dY}{dt} = K(X) - Y$$

$$\tau [sY(s) - Y(t)|_{t=0}] = KX(s) - Y(s)$$

$$\tau sY(s) + Y(s) - \tau Y(t)|_{t=0} = KX(s)$$

$$Y(s)(\tau s + 1) - \tau Y(t)|_{t=0} = KX(s)$$

$$Y(s) = \frac{\tau Y(t)|_{t=0}}{(\tau s + 1)} + \frac{K}{(\tau s + 1)} X(s)$$

16) Uma função de transferência fornece um modelo de:

$$\mathbf{X(s)} \rightarrow \boxed{\mathbf{G(s)}} \rightarrow \mathbf{Y(s)}$$

$$\mathbf{Y(s)} = \mathbf{G(s)} \mathbf{X(s)}$$

- um sistema de primeira ordem
- o comportamento da saída para alguma entrada
- o comportamento da saída para alguma entrada que supõe que todas as condições iniciais são zero
- a saída para uma entrada específica que usa tabelas de transformadas de Laplace.