



ROTEIRO DE LABORATÓRIO

1. Código da Experiência: 001
2. Título: Modelagem de Sistemas Dinâmicos - Simulação de um Sistema de Tanques Acoplados
3. Objetivos: Esta prática tem como objetivos:
 - Introdução à representação matemática da dinâmica de sistemas;
 - Modelagem de sistemas dinâmicos. Mas especificamente, de um sistema de tanques acoplados;
 - Simulação dinâmica de sistemas dinâmicos;
4. Equipamento Utilizado: São necessários para realização desta experiência:
 - Qualquer microcomputador com qualquer software, ou softwares, capaz de realizar a simulação dinâmica de um sistema de tanques acoplados.
5. Introdução:
 - 5.1. *O Problema de Controle*

Antônio C. Faleiros e Takashi Yoneyama, em seu livro; Teoria Matemática de Sistemas (2002), definem *problema de controle* como sendo necessidade de se determinar uma forma de afetar um dado *sistema físico* de forma que seu comportamento atenda a um conjunto de exigência determinadas a priori, chamadas de *especificações de desempenho*. Richard C. Dorf e Robert H. Bishop, em seu livro; Sistemas de Controle Moderno (8ª Edição, 1998), afirmam ainda que: “Para compreender e controlar sistemas complexos, deve-se obter *modelos matemáticos* quantitativos destes sistemas”. Pode-se notar, a partir das declarações acima citadas, que a obtenção de modelos matemáticos (modelagem) constitui uma etapa fundamental na solução de problemas de controle. Além disso, simulações dinâmicas costumam representar uma alternativa segura para o estudo da dinâmica de sistemas, bem como para as etapas iniciais de projeto e/ou sintonia de controladores. A partir de bons modelos de simulação, é possível realizar grande variedade de testes, sem impor riscos ao sistema real. Só após a obtenção de bons controladores em ambiente simulado, uma etapa final de testes e sintonia fina costuma ser realizada no sistema real em estudo.

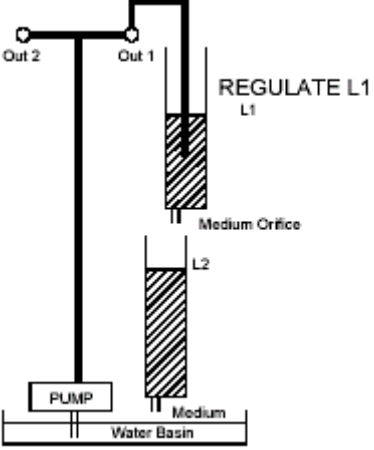
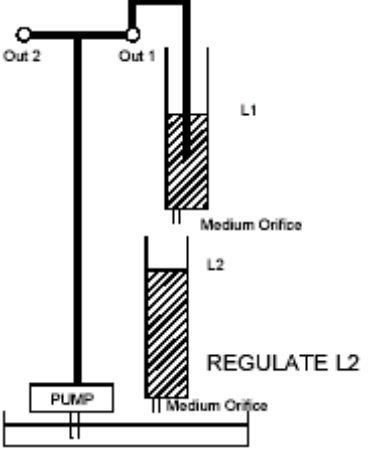
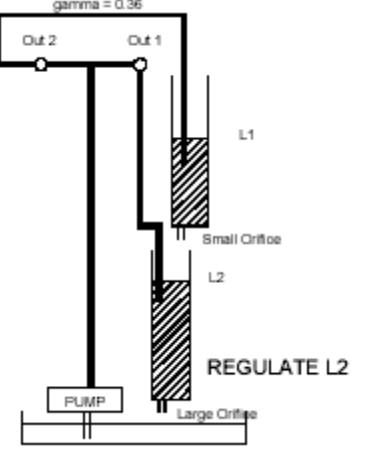
5.2. *O Sistema de Tanques Acoplados*

O sistema de tanques acoplados que iremos modelar e simular é baseado em um kit didático da Quanser composto basicamente por: 2 tanques, 1 reservatório, uma mini bomba d’água e tubos flexíveis para conexão.

A bomba eleva o líquido, desde o reservatório, até 2 duas conexões hidráulicas do tipo normalmente fechadas, denominadas OUT1 e OUT2. Tubos podem ser ligados a estas conexões de forma que o líquido passe para os tanques 1 e/ou 2. O líquido que sai do tanque 1, que é o tanque mais alto, flui por gravidade para dentro do tanque 2, passando através de um orifício, cujo diâmetro pode ser variado através de uma simples troca de peças. Do tanque 2, também por gravidade, o líquido flui de volta para o reservatório, passando por um orifício com as mesmas características do orifício do tanque 1. Cada um dos tanques está dotado com um sensor de nível, que fornece um sinal elétrico em função da altura da coluna de líquido no respectivo tanque.

O sistema de tanques acoplados contém ainda conexões elétricas de entrada e saída através das quais se pode enviar os sinais dos sensores (0 – 4,8V) para sistemas de aquisição de dados e receber sinais de controle (-12,0 – 12,0V) para o acionamento da bomba.

Dependendo do tanque onde se quer controlar o nível de líquido e da forma como se ligam as conexões OUT1 e OUT2, são possíveis três diferentes configurações:

Configuração 1	Configuração 2	Configuração 3
		
Apenas com o tanque 1	Com os dois tanques, mas com alimentação apenas no tanque 1. Deseja-se controlar o nível de líquido no tanque 2	Com os dois tanques. Ambos sendo alimentados. Deseja-se controlar o nível de líquido no tanque 2

5.2.1. Modelo matemático para o sistema de 1ª ordem (Configuração 1)

A vazão fornecida pela bomba, que é acionada por um motor DC, é diretamente proporcional a tensão que alimenta este motor. O motor operar com tensões de -12,0 até +12,0V, sendo que entre o sistema de controle e o motor existe um driver de potência responsável por adequar o sinal gerado pelo controlador ao nível de potência necessário para, efetivamente, acionar o conjunto motor-bomba. Nesse processo, o sinal de controle enviado (-4,0 – +4,0V) é multiplicado por 3 (três) atingindo os limites operacionais da bomba (-12,0 até +12,0V).

Nas configurações 1 e 2, com as quais trabalharemos, toda a vazão da bomba passa apenas para o tanque 1, sendo assim, esta vazão é chamada de vazão de entrada ($F1_{in}$) do tanque 1. A relação entre a tensão de alimentação da bomba (V_P) e a vazão de entrada no tanque 1 é dada por:

$$F1_{in} = K_m V_P \left[\text{cm}^3/\text{s} \right] \quad (1)$$

sendo: K_m é a constante da bomba.

A velocidade com que o líquido escoar pelo orifício de saída do tanque 1, é dada pela equação de Bernoulli para pequenos orifícios (com relação ao escoamento de água):

$$v_{out} = \sqrt{2gL_1} \left[\text{cm/s} \right] \quad (2)$$

sendo: g é a aceleração da gravidade em $[\text{cm/s}^2]$ e L_1 é o nível de água no tanque 1 em $[\text{cm}]$.

Desta forma, a vazão de saída do tanque 1 pode ser dada por:

$$F1_{out} = a_1 v_{out} = a_1 \sqrt{2gL_1} \left[\text{cm}^3/\text{s} \right] \quad (3)$$

sendo: a_1 é a área do orifício de saída do tanque 1 em $[\text{cm}^2]$.

A taxa de variação do nível do tanque 1 (\dot{L}_1) é obtida dividindo-se a taxa de variação volumétrica (\dot{V}) pela área da base do tanque 1 (A_1). Sendo que a variação volumétrica no tanque 1 é dada pela diferença entre as vazões de entrada e de saída.

5.2.2. Modelo matemático para o sistema de 2ª ordem (Configuração 2)

O líquido transportado até o tanque 1 flui, sob o efeito da gravidade, pelo seu orifício de saída chegando até o tanque 2, de onde conclui-se que, na ausência de vazamentos, a vazão de entrada do tanque 2 é exatamente a vazão de saída do tanque 1:

$$F2_{in} = F1_{out} = a_1 v_{out} = a_1 \sqrt{2gL_1} \left[\text{cm}^3/\text{s} \right] \quad (4)$$

A vazão de saída do tanque 2, de forma análoga ao que foi determinado para o tanque 1, pode ser dada por:

$$F2_{out} = a_2 \sqrt{2gL_2} \left[\text{cm}^3/\text{s} \right] \quad (5)$$

sendo: a_2 é a área do orifício de saída do tanque 2 em $[\text{cm}^2]$.

A taxa de variação do nível do tanque 2 (\dot{L}_2), assim como no caso do tanque 1, é obtida dividindo-se a taxa de variação volumétrica (\dot{V}) pela área da base do tanque (A_2).

5.3. Dados do Modelo de Simulação

Um modelo de simulação dinâmico para o sistema de tanques acoplados pode ser implementado utilizando as equações fornecidas nas seções anteriores, os valores de variáveis apresentados na Tabela 1, um passo de integração, fixo ou variável, menor ou igual que 0,5 segundos outros conhecimentos adquiridos ao longo de cursos de engenharia, em disciplinas como computação numérica e modelagem de sistemas dinâmicos.

Tabela 1 – Parâmetros do Modelo

Varável	Valor
Ganho do driver de potência	3,00
Ganho da bomba (K_m)	$K_m = 4,50$
Área da seção transversal dos tanques ($A_1 = A_2$)	$A_1 = A_2 = \pi \left(\frac{4,45}{2} \right)^2$
Área da seção transversal dos tanques ($a_1 = a_2$)	$a_1 = a_2 = \pi \left(\frac{0,48}{2} \right)^2$

Além disso, a cada período de amostragem, as saídas, ou seja, as variáveis L_1 e L_2 , devem ser submetidas a um ruído aditivo aleatório com amplitude entre -0,5 e 0,5cm.

6. Desenvolvimento:

1º) Implemente sua própria simulação, utilizando o software de sua preferência e responsabilidade.

Obs.: Opcionalmente, será disponibilizada na turma virtual do SIGAA um exemplo de simulação, desenvolvido em Matlab/Simulink. Se o aluno desejar e tiver, por conta própria e sob sua inteira responsabilidade, condições de utilizar o exemplo de simulação fornecido, será permitida a utilização do exemplo fornecido, sem a necessidade de implementação de seu próprio modelo simulação computacional.

2º) Com base no modelo de simulação, seja utilizando a simulação criada pelo(s) aluno(s) ou o exemplo fornecido (via SIGAA):

1. Elabore uma descrição da simulação que está sendo usada;
2. Determine em que nível, aproximadamente, os tanques estabilizam para os seguintes valores de entrada:

Tensão de Entrada (V)	$L_1 = L_2$ (cm)
1,0	
1,5	
2,0	
2,5	
3,0	
3,5	
4,0	

3. Por “tentativa e erro”, determine os valores da tensão de entrada que estabilizam os tanques, aproximadamente, nos seguintes níveis:

Tensão de Entrada (V)	$L_1 = L_2$ (cm)
	3
	10
	15
	20
	25
	28
	30

3º) Usando uma entrada senoidal, de média de 2,0cm, amplitude de 2,0cm e frequência de 0,2rad/s:

1. Determine a amplitude das oscilações no nível do tanque 1.
2. Determine a amplitude das oscilações no nível do tanque 2.
3. Comente as diferenças e/ou semelhanças entre as amplitudes e fases das respostas dos dois tanques.

4º) Repita a 3ª atividade com as frequências de 1,0rad/s e 0,08rad/s.

7. Passos Sugeridos para Resolução do Problema:

Nº	Passo	Ação(ões)
1.	Ler e analisar o problema.	Nesse momento, além da análise pormenorizada, é necessário esclarecer os termos e conceitos desconhecidos.
2.	Listar o que já é conhecido.	Verificar o que o grupo já conhece sobre o assunto, levantar questões, formular hipóteses.
3.	Desenvolver um relatório do problema.	Registrar, de forma sintética, tudo que o grupo está tentando responder, resolver.
4.	Formular os objetivos de aprendizagem.	Preparar uma lista do que é necessário aprender e providenciar para resolver o problema, dos novos conceitos que precisam ser aprendidos.
5.	Listar possíveis ações.	É necessário identificar fontes e recursos necessários, distribuindo responsabilidades entre os membros do grupo.
6.	Analisar as informações obtidas.	Retornar ao grupo, discutir o que foi aprendido, revisar e testar as hipóteses iniciais, verificar o que já foi solucionado.
7.	Apresentar soluções.	Preparar um relatório com as soluções propostas e recomendações, assim como os aspectos do problema não solucionados e a avaliação do processo desenvolvido.

Fonte: Bufrem e Sakakima (2003).