

AVALIAÇÃO DE DINÂMICA DE NÍVEL EM TANQUES EM SÉRIE

Camylla Renatha Queiroz Costa¹
Emilly Tuany do Nascimento Silva²
Ruth Nóbrega Queiroz³
Heleno Bispo da Silva Júnior⁴

RESUMO

A avaliação de comportamento de tanques acoplados é de grande interesse industrial, por normalmente estarem presentes em várias partes diversos processos, como por exemplo, em empresas petroquímicas, de celulose ou tratamento de água. Este trabalho busca modelar um sistema de tanques em série a partir das medições feitas em uma unidade piloto do curso de engenharia química da UFCG. O projeto é constituído por dois tanques em série, um reservatório de alimentação e uma bomba centrífuga que é responsável pela alimentação do primeiro tanque. Para a modelagem do sistema foram adotadas duas abordagens: a lei de Ohm e a primeira lei da termodinâmica aplicada a sistemas abertos. A partir da análise dos resultados, observa-se a clara aderência dos dados experimentais através de validação estatística.

Palavras-chave: Tanques em série, Controle de nível, *Matlab* ®.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o ensino de engenharia associado à prática tornou-se uma metodologia indispensável na motivação dos estudantes de graduação. No entanto, a maioria das bancadas didáticas aplicáveis no ensino em nível de graduação, ou de pós graduação, é muito cara ou possui uma arquitetura fechada de hardware e software. Além disso, o emprego exclusivo dessas bancadas suprime ao aluno a possibilidade de desenvolver uma das características mais importantes do profissional de engenharia, a de projetar, acompanhar e executar um projeto (COCOTA. *et al*, 2014).

Processos industriais usam com frequência tanques acoplados para várias finalidades, como por exemplo, armazenamento e transporte de líquidos. Indústrias petroquímicas, de celulose ou de tratamento de líquidos, costumam possuir processamento de líquidos por química ou tratamento de misturas. Este processamento sempre precisa de um controle criterioso sobre o nível do fluído, assim como regular o fluxo entre os tanques. O controle do nível de líquidos é um problema comum, pois para realizar qualquer ação precisa-se saber o

¹ Graduando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, camylla.queiroz@eq.ufcg.edu.br;

² Graduando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, emillynn986@gmail.com ;

³ Graduando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, ruth.queiroz14@hotmail.com ;

⁴ Professor orientador: Doutor, Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, heleno.bispo@ufcg.edu.br, (83) 3322.3222

nível dos tanques envolvidos, e no caso de transporte, o fluxo entre os tanques. Usualmente os tanques são acoplados em conjunto de modo que os níveis de interação também devem ser controlados na planta (LAUBWALD, 2015 *apud* ALPI, 2016).

Portanto este trabalho teve como objetivo fazer a modelagem de um sistema de tanques em série, visando a aplicação dos principais conceitos estudados durante o curso de engenharia química, tais como: Termodinâmica, fenômenos de transporte e dinâmica.

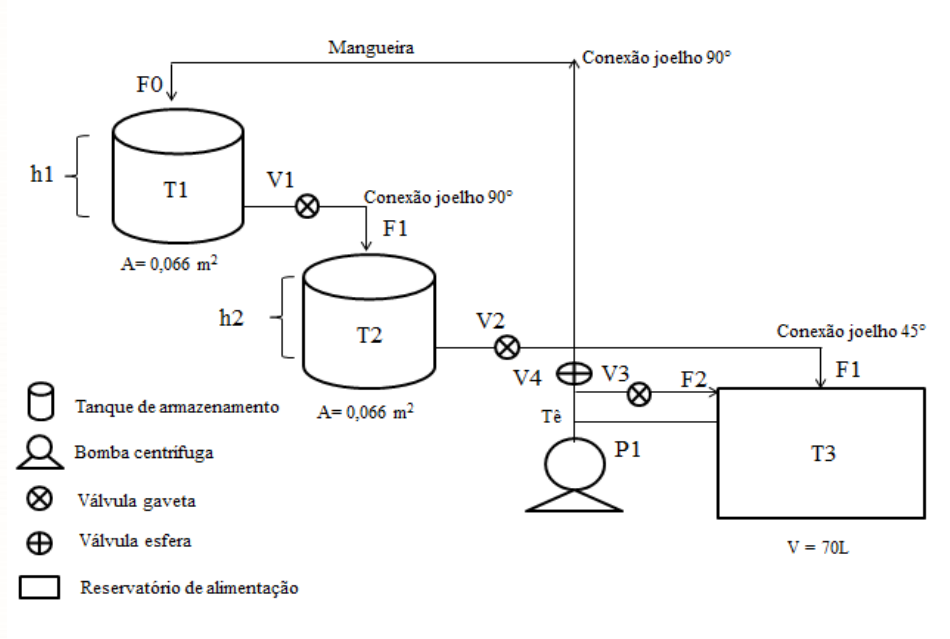
METODOLOGIA

Esse projeto foi executado por alunos de graduação do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, baseado na metodologia de aprendizado PBL (Problem Based Learning) na qual o aprendizado é centrado no aluno, o qual deixa de ser o receptor passivo para ser o principal responsável pelo seu aprendizado. O projeto foi executado com base em um sistema de dois tanques em série durante a disciplina de Laboratório de Engenharia Química V.

Inicialmente, com o reservatório de alimentação em seu nível máximo, liga-se a bomba com a válvula esfera totalmente aberta na saída da bomba. Após o enchimento do Tanque de Nível (1), sua válvula de saída foi ajustada para assim iniciar o enchimento do Tanque de Nível (2). Quando os níveis dos tanques atingem uma condição estacionária em relação ao nível, mede-se o volume da saída do Tanque (2) à um tempo fixo de 5 segundos.

Após coleta dos dados, abriu-se a válvula By Pass e aguardou-se, novamente, os níveis atingirem o estado estacionário, medindo-se as alturas dos tanques a cada minuto. Para assim, medir o volume de saída do Tanque (2). Repetiu-se esta etapa do experimento para diferentes aberturas da válvula By Pass. A partir dos dados obtidos experimentalmente realizou-se a simulação no software Matlab®. A Figura 1 apresenta o diagrama do sistema de tanques em série.

Figura 1. Diagrama de tanques em série.



Fonte: As autoras (2019).

DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO - MODELAGEM

O balanço de massa do sistema é definido como sendo:

$$\frac{dm}{dt} = m^{in} - m^{out} \quad (1)$$

Para os dois tanques o comportamento apresenta a seguinte característica:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{q^{in} - q^{out}}{A} \quad (2)$$

Os modelos foram aprimorados em relação a vazão de saída, seguindo as duas abordagens. A primeira abordagem parte da lei de Ohm, onde é possível fazer uma correlação, pois a passagem dos fluxos de saída sofre uma resistência em função das válvulas. Então:

$$q = Kh_i \quad (3)$$

$$q_{out} = Kh_i \quad (4)$$

Já que o estado foi considerado estacionário, em alguns pontos a derivada é nula.

Dessa forma:

$$K_1 = \frac{q^{in}}{h_1} \quad (5)$$

$$K_2 = \frac{K_1 h_1}{h_2} \quad (6)$$

A segunda abordagem parte da primeira lei da termodinâmica aplicada a sistemas abertos, que tem como base a equação de Bernoulli. A vazão é dado por:

$$q^{out} = A_s \sqrt{2g(h - h_0)} \quad (7)$$

Adotando K, como a constante de proporcionalidade, dessa forma, têm-se:

$$K_1 = \frac{q^{in}}{A_s \sqrt{2g} \sqrt{h_1}} \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{K_1 \sqrt{h_1}}{\sqrt{h_2}} \quad (9)$$

A equação que representa a variação do nível dos tanques com tempo é:

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{q^{in} - a\sqrt{2g} K_1 \sqrt{h_1}}{A} \quad \text{e} \quad \frac{dh_2}{dt} = \frac{a\sqrt{2g} * (K_1 \sqrt{h_1} - K_2 \sqrt{h_2})}{A} \quad (10)$$

Para que a segunda abordagem tenha um melhor ajuste à realidade, foi considerado a perda de carga pela tubulação de saída dos tanques:

$$C_{D1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum K_f}} \quad (11)$$

$$C_{D2} = \frac{C_{D1} \sqrt{h_1}}{\sqrt{h_2}} \quad (12)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente experimento, os dados de volume, altura e tempo de estabilização (t_e) dos tanques foram obtidos em triplicata para um tempo fixo de 5 segundos, com o intuito de minimizar possíveis erros experimentais e validar estatisticamente. Com os dados obtidos, foi possível determinar a vazão, bem como, as constantes necessárias para as abordagens

mostradas anteriormente. Estes valores estão dispostos nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, que representam quatro tipos de casos analisados individualmente, conforme variação da abertura da válvula By Pass.

- **Caso 1- Válvula By Pass totalmente fechada**

Tabela 1. Caso 1: Válvula By Pass totalmente fechada

t(s)	h1(m)	h2(m)	V(m ³)	Q (m ³ /s)
5	0,254	0,241	0,00096	0,000192
5	0,254	0,241	0,00094	0,000188
5	0,253	0,241	0,00092	0,000184

Fonte: Os autores (2019).

Em que, a vazão média $Q_{med} = 0,000188 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabela 2. Caso 2: Válvula By Pass $\frac{1}{2}$ aberta

t(s)	h1(m)	h2(m)	V(m ³)	Q (m ³ /s)
5	0,230	0,210	0,00088	0,000176
5	0,230	0,210	0,00090	0,000180
5	0,230	0,209	0,00086	0,000172

Fonte: Os autores (2019).

Em que, a vazão média $Q_{med} = 0,000176 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabela 3. Caso 3: Válvula By Pass 1 aberta

t(s)	h1(m)	h2(m)	V(m ³)	Q (m ³ /s)
5	0,178	0,139	0,00082	0,000164
5	0,178	0,137	0,00082	0,000164
5	0,178	0,135	0,00084	0,000168

Fonte: Os autores (2019).

Em que, a vazão média $Q_{med} = 0,0001653 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabela 4. Caso 4: Válvula By Pass 1 + ¼ aberta

t(s)	h1(m)	h2(m)	V(m ³)	Q (m ³ /s)
5	0,100	0,036	0,00066	0,000132
5	0,102	0,036	0,00068	0,000136
5	0,102	0,036	0,00066	0,000132

Fonte: Os autores (2019).

Em que, a vazão média $Q_{med} = 0,000133 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para o primeiro modelo, a vazão de saída e a altura de líquido no tanque são relacionadas pela seguinte relação:

$$q = Kh_i \quad (13)$$

Onde K é uma constante de proporcionalidade:

$$q_{out} = Kh_i \quad (14)$$

Como o sistema se encontra em estado estacionário (onde o que entra é igual ao que sai) ou seja, em alguns pontos a derivada é nula. Dessa forma:

$$K_1 = \frac{q^{in}}{h_1} \quad (15)$$

$$K_2 = \frac{K_1 h_1}{h_2} \quad (16)$$

A Tabela 5 contém os valores das constantes de proporcionalidade calculados para o modelo de acordo com os dados obtidos experimentalmente.

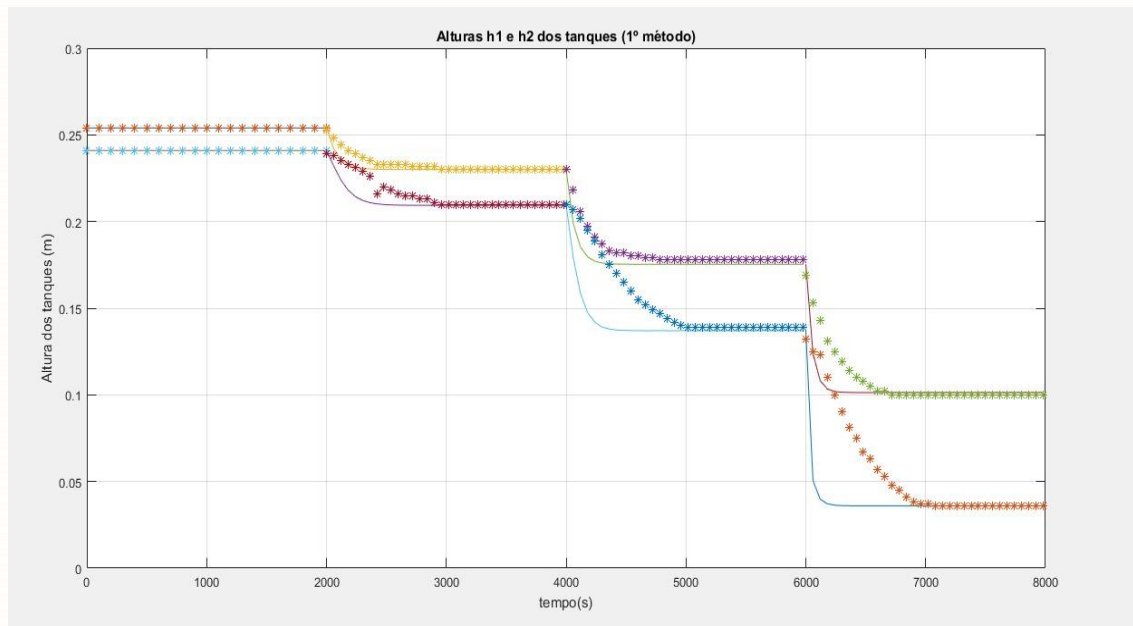
Tabela 5 – Valores de K_1 e K_2 para o primeiro modelo

Caso	K1	K2
1	0,0007401	0,0007800
2	0,0007652	0,0008407
3	0,0009429	0,0012068
4	0,0013157	0,0037037

Fonte: Os autores (2019).

A avaliação gráfica do modelo 1 (altura dos tanques em função do tempo) e dos dados obtidos experimentalmente, para cada abertura do *by pass* foi o utilizado o software Matlab®. O Gráfico 1 está disposto a seguir.

Gráfico 1. Alturas em função do tempo para a primeira abordagem.



Fonte: Os autores (2019).

Para a segunda abordagem o modelo foi baseado na primeira lei da termodinâmica em sistemas abertos, partindo da equação de Bernoulli.

$$q^{out} = A_s \sqrt{2g(h - h_0)} \quad (17)$$

A análise dos pontos segue a condição de estado estacionário onde $q_{in} = q_{out}$. Desta forma, temos que as constantes de proporcionalidade são calculados pelas Eq. 27 e 28.

$$K_1 = \frac{F_e}{k\sqrt{h_1}} \quad (18)$$

$$K_2 = \frac{C_{D1}\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_2}} \quad (19)$$

Onde: $k = a\sqrt{2g}$

A Tabela 6 contém os dados necessários para os respectivos cálculos.

Tabela 6. Dados necessários para o cálculo dos coeficientes de descarga

Dados		
Diâmetro	0,02398	M
Raio	0,01199	M
Área	0,000451636	m ²
k	0,002000497	

Fonte: Os autores (2019).

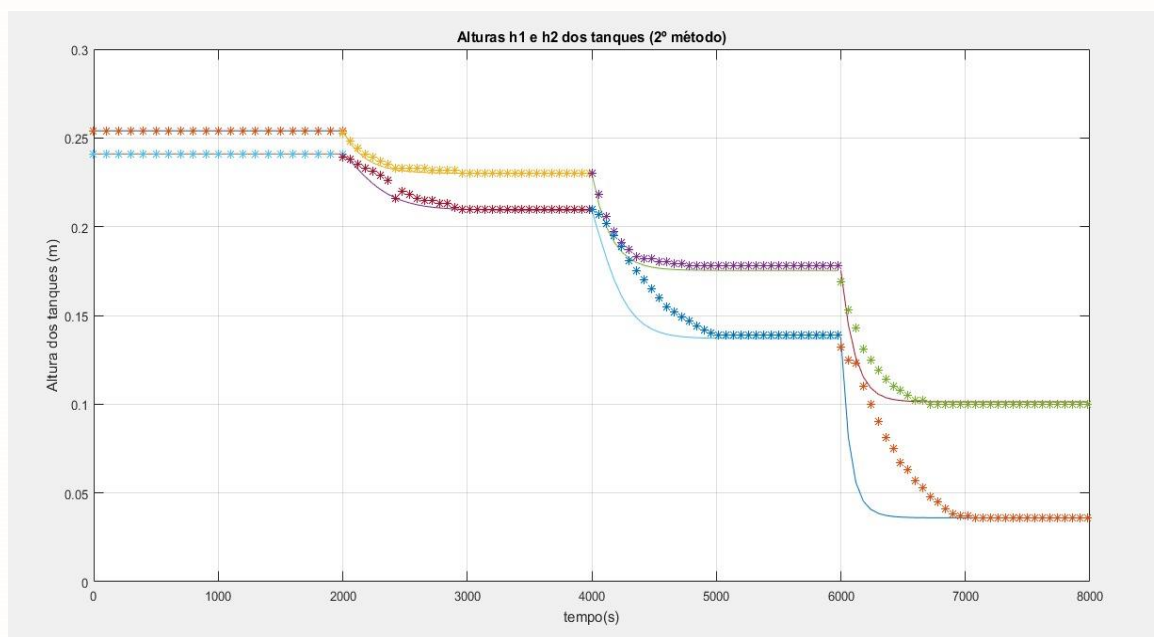
A Tabela 7 contém os valores dos coeficientes calculados para o modelo de acordo com os dados obtidos experimentalmente.

Tabela 7. Valores de C_1 e C_2 para o segundo modelo

Caso	C_1	C_2
1	0,186467544	0,191431
2	0,183447167	0,19229
3	0,197374224	0,223286
4	0,209375004	0,351277

Fonte: Os autores (2019).

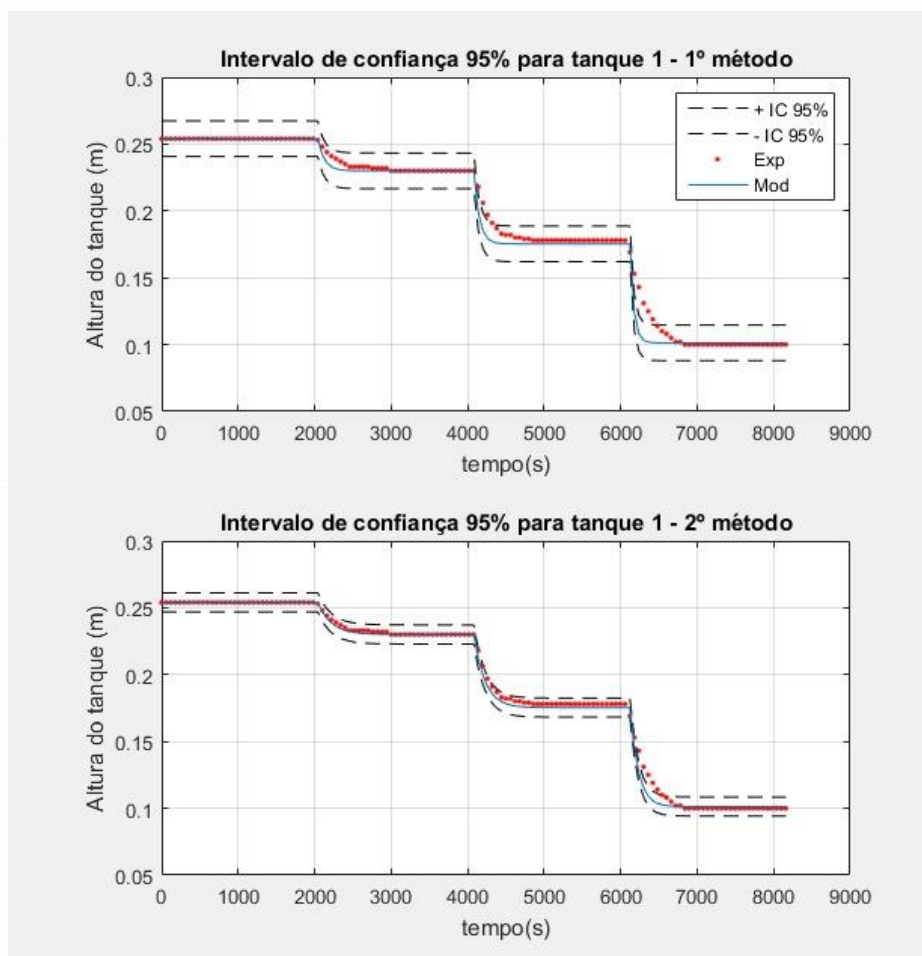
Gráfico 2. Alturas em função do tempo para a segunda abordagem.



Fonte: Os autores (2019).

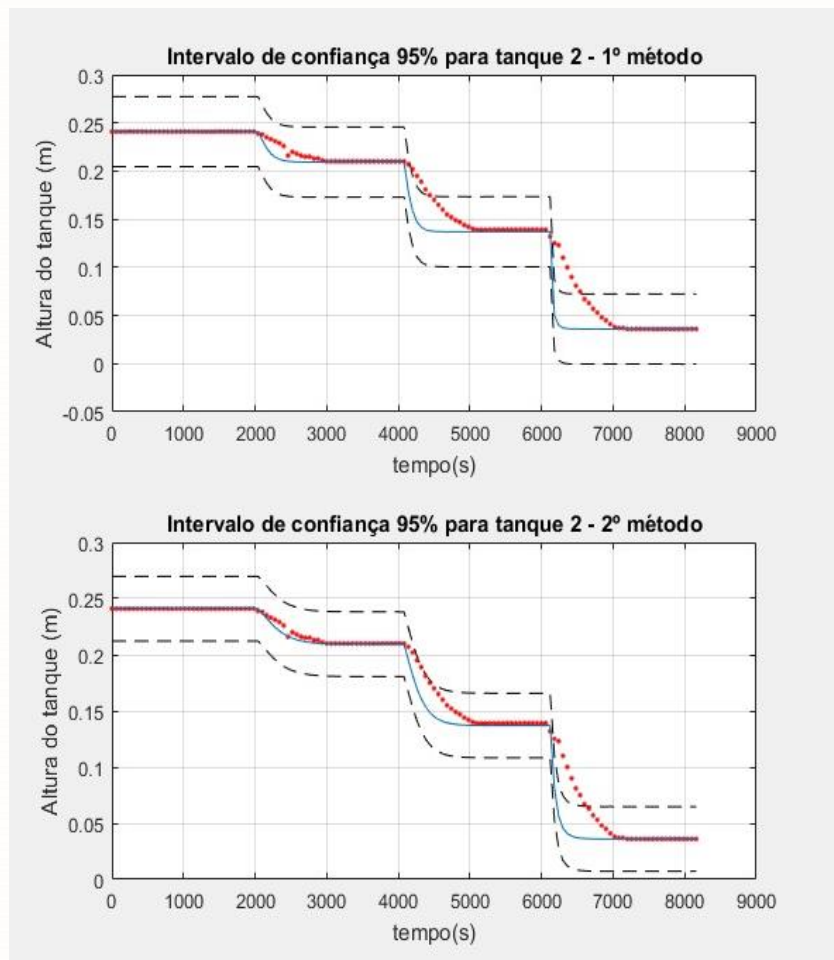
Para um melhor ajuste do modelo à realidade, seria necessária a adição das perdas por atrito no cálculo dos coeficientes de descarga. Foi realizado o cálculo do intervalo de confiança para validar os modelos estatisticamente. Foi adotado um α de 5% (MONTGOMERY. *et al*, 2003). Os gráficos abaixo apresentam o comportamento dos dados obtidos em relação ao intervalo de confiança. Pelos gráficos pode-se observar que a parte estacionária está dentro do intervalo.

Gráfico 3. Validação estatística dos modelos para intervalo de confiança de 95% (Tanque 1)



Fonte: Os autores (2019).

Gráfico 4. Validação estatística dos modelos para intervalo de confiança de 95% (Tanque 2)



Fonte: Os autores (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema desenvolvido foi estudado por meio de dois métodos. A partir da análise dos resultados, pôde-se concluir que os dados experimentais se ajustaram melhor ao modelo proposto pela segunda abordagem. Com base no resultado obtido por meio da validação estatística conclui-se que os dados no estado estacionário estão dentro do intervalo de confiança de 95%, sendo estes significativos, já no estado dinâmico apresentam leves discrepâncias, sendo essas possivelmente explicadas por falhas nas medições de alturas nos intervalos definidos, dados de perdas por atrito, perdas localizadas e distribuídas.

REFERÊNCIAS

ALPI, L.B. **Desenvolvimento de uma planta didática para o controle de nível de tanques acoplados.** 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/150947/001009640.pdf?sequence=1>. Acesso em: 22 de maio de 2019.

COCOTA, J.A.N.J; MONTEIRO, P.M.B, VIANA, L.M ; MEIRELES L.V. **O sistema de controle de nível de tanque no ensino de graduação.** 2014. Disponível em: <http://professor.ufop.br/sites/default/files/cocota/files/taee2014-3.pdf>. Acesso em: 22 de maio de 2019.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G.C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros.** LTC; Rio de Janeiro, 2003.

SEBORG, D. E.; EDGAR, T F.; MELLICHAMP, D. A. **Process Dynamics and Control**, 2ª Edition, John Wiley Andamp; Sons, New York, 2004