

## DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO EXPERIMENTAL PARA CONTROLE SERVO DE VAZÃO UTILIZANDO ARDUINO

Danielle Faxina de Lima (PIC), Camila de Brito Miranda (Orientadora), Rubens Zenko Sakiyama (Co-orientador), e-mail: ra115694@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia - CTC /Maringá, PR.

**Engenharia Química - PROCESSOS INDUSTRIAIS DE ENGENHARIA QUÍMICA (30601002)**

**Palavras-chave:** Controle servo; Vazão; Módulo experimental.

### Resumo:

Conteúdo relevante na engenharia devido à natureza dinâmica dos processos industriais, o controle de processos é um tema tradicionalmente visto pelos estudantes como complicado, muito abstrato e de difícil compreensão prática, já que a montagem de aparatos experimentais para ensino prático dessa disciplina pode envolver altos custos e por isso não é realizada. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um módulo experimental de baixo custo para controle servo de vazão utilizando o Arduino e materiais de baixo custo, para o estudo de técnicas de controle em práticas de laboratório, que permitam ao aluno modelar e controlar processos. Os sensores, o controlador, o sistema atuador e a interface gráfica funcionaram como esperado e o custo total para a construção do módulo foi de aproximadamente R\$ 380,00. Foram feitos vários testes, sintonizando diferentes controladores, e foi possível concluir que o melhor controlador foi o SIMC ( $\tau = 3\theta$ ).

### Introdução

O controle de processos vem se tornando cada vez mais relevante, visto o requerimento de processos com operação mais segura, ambientalmente responsável e eficiente (SEBORG et al., 2011). Dessa forma, torna-se evidente a importância da disciplina de Controle de Processos, presente geralmente nos últimos anos do curso de Engenharia Química.

A despeito de sua importância e aplicabilidade, a disciplina de Controle de Processos é frequentemente vista como muito difícil e abstrata, por frequentemente empregar conceitos avançados de cálculo, como a transformada de Laplace e equações diferenciais ordinárias (EDOs). Stefanovic et al. (2011) afirma a importância do aprendizado por meio do "*learning by doing*", no qual praticando o aluno se familiariza com os conceitos. Assim, uma maneira para amenizar a dificuldade dos estudantes com a disciplina de Controle de Processos, tornando-a mais concreta, é a implementação prática de controle de processos, por meio de módulos experimentais. Visto isso e a dificuldade de construir aparatos experimentais para ensino prático dessa disciplina por envolver altos custos, o

objetivo do presente trabalho foi desenvolver um módulo experimental de baixo custo para controle servo de vazão utilizando a plataforma Arduino, para o estudo de técnicas de controle em práticas de laboratório, que permitam ao aluno modelar e controlar processos.

## Materiais e Métodos

Após pesquisas bibliográficas, foram feitas simulações (desenho 3D e ligações elétricas) inspiradas pelo trabalho de Silva (2019), para definir a lista de materiais a serem comprados para a construção do módulo. Seguindo os esquemas de ligações elétricas do projeto elétrico e hidráulico desenvolvido, o módulo foi construído, no qual é indicado na Figura 1. Para a construção do módulo foram gastos aproximadamente R\$380,00.

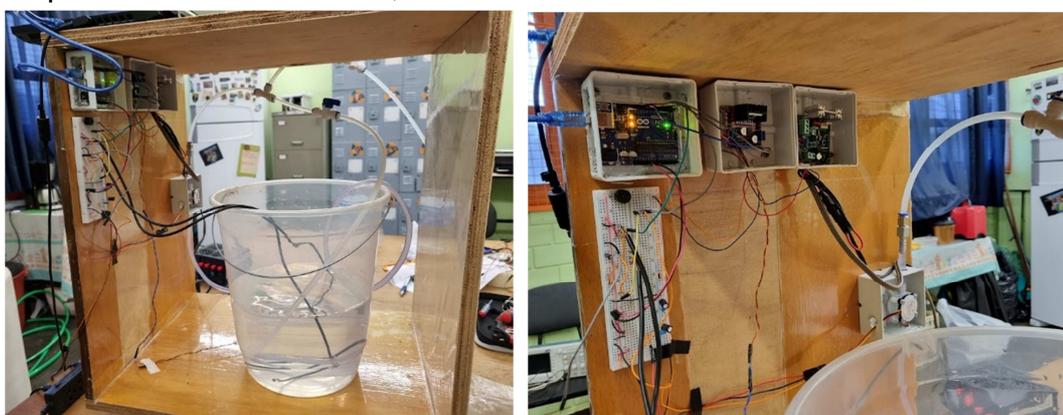


Figura 1 – Imagem da parte hidráulica e elétrica do módulo finalizado.

O controle foi implementado por meio do Arduino. Este recebe os dados dos sensores e imprime-os no monitor serial, calcula o erro e implementa o controle. Para tornar a experiência mais intuitiva e didática para os usuários, foi desenvolvida uma interface (Figura 2) utilizando o VBA (*Visual Basic for Applications*), linguagem de programação da Microsoft para Excel, com a finalidade de ser utilizada para o controle do módulo durante sua utilização.

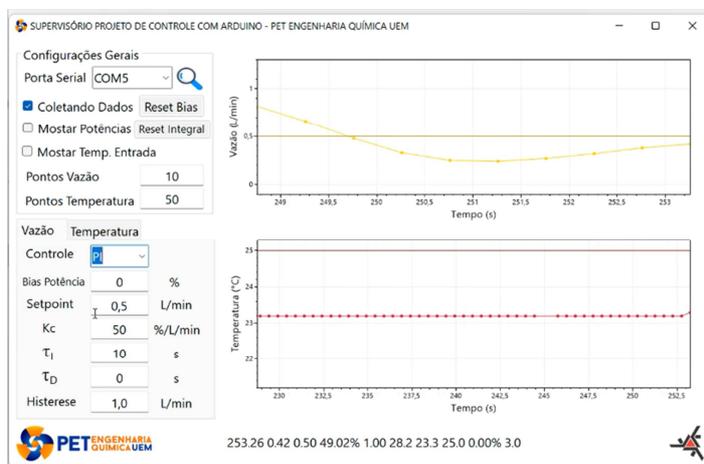


Figura 2 – Interface VBA.

Finalizada a montagem, foram realizados testes em malha aberta e fechada, para a sintonização do controlador e cálculo da função de transferência.

## Resultados e Discussão

Para identificação de sistemas, utilizou-se um teste em malha aberta, aplicando um degrau na bomba. Após, foi feito um ajuste do modelo usando o método dos mínimos quadrados, com o objetivo de descobrir a função de transferência, como indicado na Figura 3.

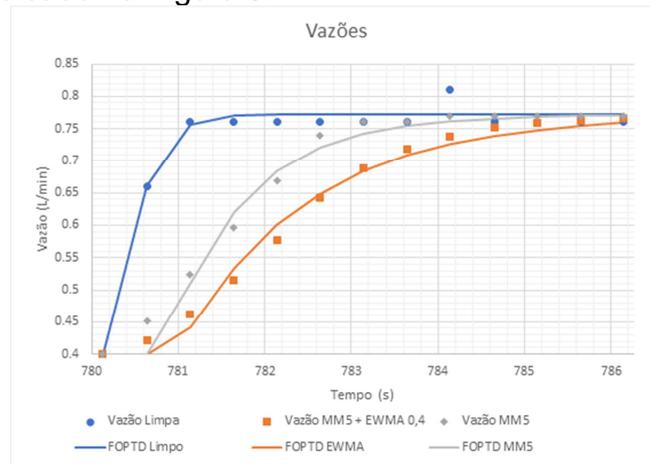


Figura 3 - Dados de Tempo x Vazão.

O sistema que apresentou o melhor resultado foi o MM5+EWMA (Média móvel de 5 pontos+ Média móvel exponencial), com a função de transferência:

$$G_m G_p(MM5 + EWMA 0,4) = \frac{0,012}{1,52s+1} e^{-0,83s} \quad (1)$$

Também foram feitos testes aplicando degraus de 0 % a 50 % e de 50 % para 80 %. Fazendo um ajuste para esses dois casos, encontra-se que a dinâmica é a mesma, mas o ganho muda. Com isso, conclui-se que o sistema é não linear. Portanto, tomando como base o experimento realizado, o valor do ganho seria dado da seguinte forma: 0,008 se  $B < 50\%$  e 0,012 se  $B > 50\%$ , onde  $B$  é o valor do ganho. Propositamente não foram realizados muitos experimentos em que o *setpoint* fosse abaixo de 0,4 L/min, já que acima desse valor o sistema se comporta mais linearmente.

A partir da função de transferência experimental encontrada, Equação (1), foram calculados os valores das constantes de diversos tipos de controladores e feito o teste em malha fechada, Figura 4. Todos os testes foram feitos da seguinte forma: início do teste com *setpoint* em 0,4 L/min e depois foi aplicado um degrau de 0,35 L/min, portanto o *setpoint* foi alterado para 0,75 L/min.

Concluiu-se que o melhor controlador é o SIMC ( $\tau_c = 3\theta$ ), já que apresentou um pouco de *overshoot*, mas foi o mais rápido a estabilizar. Esse tipo de controlador tende a ser menos agressivo e mais robustos.

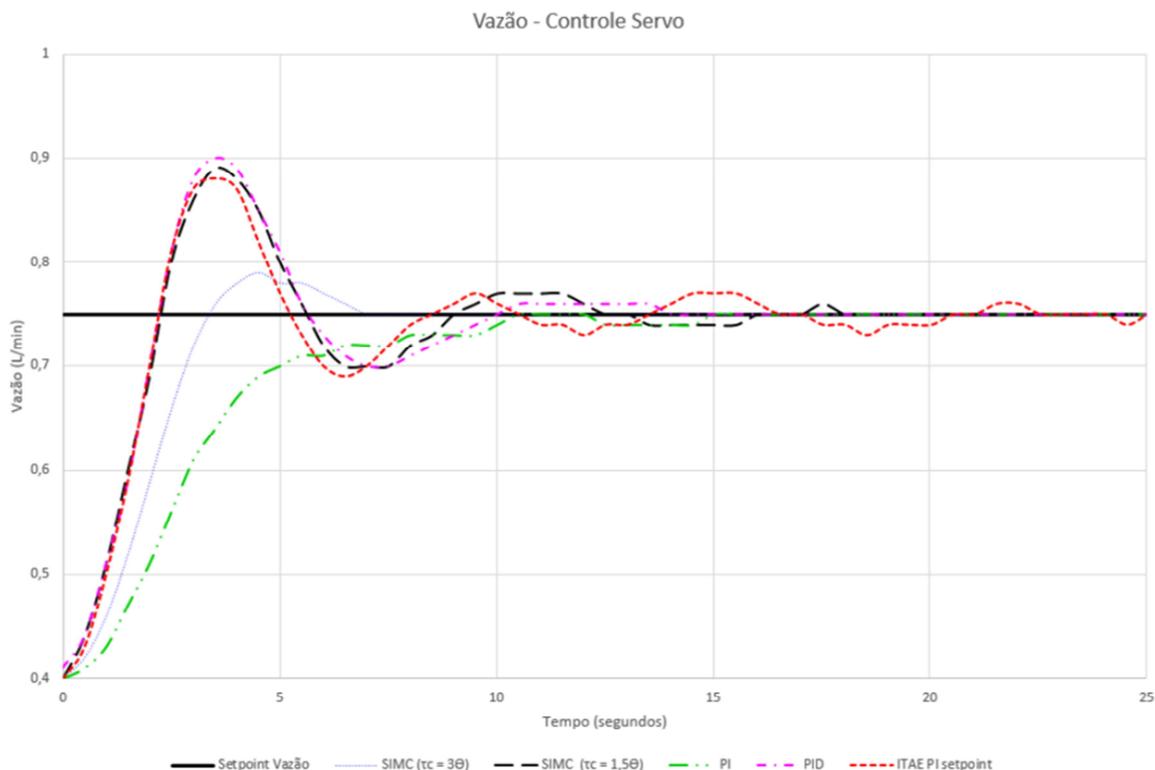


Figura 4 – Tempo x Vazão (Controle Servo).

## Conclusões

O módulo experimental desenvolvido funcionou conforme o esperado, mostrando-se como uma excelente ferramenta de ensino que possibilita simular processos em uma escala menor, estudar diversos métodos de sintonia, e ser utilizado por diferentes áreas da engenharia. Além disso, permite, de maneira prática, futuras melhorias e implementação de novos recursos, pois seu desenvolvimento foi baseado na plataforma Arduino

## Referências

SEBORG, D. E.; EDGAR, T. F.; MELLICHAMP, D. A.; DOYLE III, F. J. **Process dynamics and control**, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 2011

SILVA, V. N. **Propostas de montagens experimentais com Arduino para o estudo de controle na Engenharia Química**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 45. 2019.

STEFANOVIC, M.; CVIJETKOVIC, V.; MATIJEVIC, M. **A LabVIEW-based remote laboratory experiments for control engineering education**. Computer Applications in Engineering Education, v. 19, n. 3, p. 539–549, 2011.