

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

Eduardo Sobrinho Polon (PIC/Uem), Leandro Vitor Pavão (Orientador), e-mail: [lvpavao2@uem.br](mailto:lvpavao2@uem.br).

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

### Engenharia Química/Controle de Processos

**Palavras-chave:** Vazão, Regulador, Arduino.

### Resumo:

Devido à natureza dinâmica dos processos industriais, um sistema de controle é importante para garantir uma operação segura e dentro das condições operacionais possíveis para levar à obtenção de produtos que atendam às especificações requeridas. Entretanto, a montagem de aparatos experimentais para ensino prático de controle de processos pode envolver altos custos. Com o objetivo de desenvolver um módulo experimental para controle regulatório de vazão de baixo custo, utilizou-se de ferramentas baratas como o módulo Arduino, baldes, mangueiras flexíveis, bombas de baixa vazão e válvulas pequenas. Além disso, foi desenvolvida uma interface gráfica para monitoramento interativo do processo. Ao final, o módulo se mostrou eficiente e com um potencial para desenvolver novos projetos científicos, além de possuir uma gama para diversos estudos.

### Introdução

A implementação de módulos experimentais e práticas laboratoriais de controle de processos frequentemente é vista com muitas dificuldades, como a falta de espaço físico, recursos humanos e ou financeiros (SEBORG *et al.*, 2017). Tais dificuldades podem ser contornadas por meio do uso de microcontroladores baratos (como a família de microcontroladores Arduino, ESP32, ESP8266 e afins) e módulos experimentais de pequeno porte (utilizando materiais como baldes, mangueiras flexíveis, bombas de água de baixa vazão). Um sistema **regulador (*disturbance rejection*)**, que é projetado para manter uma saída em um valor fixado, independente de perturbações que possam ocorrer pode ser trabalhado nesse contexto. Assim, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um módulo experimental para controle regulatório de vazão utilizando uma bomba em conjunto de uma interface gráfica para monitoramento das variáveis de processo e alteração dos parâmetros do controlador de maneira interativa.

## Materiais e Métodos

### *Materiais*

Nesse trabalho foram utilizados os seguintes materiais: Arduino Uno, Protoboard 830 furos, Kit Jumpers 20cm - 120 peças, Mini Bomba De Água 12v - Rs-385, Placa de PWM, Fonte Chaveada 12V - 5A, Sensor de Vazão de Água YF-S401 5V, Balde 20 L, Válvula manual, Resistores e Capacitores, União Flangeada, Caixas para proteção dos equipamentos elétricos, 5m de tubo de silicone ½ “, 4 tábuas de madeiras, 4 rodinhas para suporte.

### *Métodos*

Para a realização do projeto, a parte elétrica foi montada (ligações nos dispositivos e Arduino) tendo como base as pesquisas bibliográficas. Em seguida, a estrutura hidráulica foi montada seguindo o projeto desenvolvido. Para calibrar os sensores, foi utilizado um osciloscópio para a identificação de ruídos e com isso, utilizou-se de capacitores e implementação de média móvel para a redução deles. Após, confeccionou-se o código base do Arduino. Finalizada a montagem, foram realizados testes em malha aberta e fechada, para a sintonização do controlador e ajuste da função de transferência. Para a captação dos dados e confecção dos gráficos utilizou-se do software *Excel*. Para o estudo o modelo das equações 1 (SEBORG *et al.*, 2017) foi seguido:

$$y(t) = y_0 + KM \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (1)$$

Onde  $y(t)$  é a vazão em função do tempo,  $y_0$  o valor inicial da vazão,  $K$  o ganho do sistema,  $M$  a magnitude do degrau,  $t$  o tempo e  $\tau$  a constante de tempo do sistema. Assim, foi possível concluir o código do Arduino e por fim produzir a interface gráfica em *Visual Basic* para monitoramento do processo e alteração dos parâmetros do controlador de modo interativo.

## Resultados e Discussão

A estrutura elétrica e hidráulica do módulo experimental finalizado é mostrada na Figura 1.

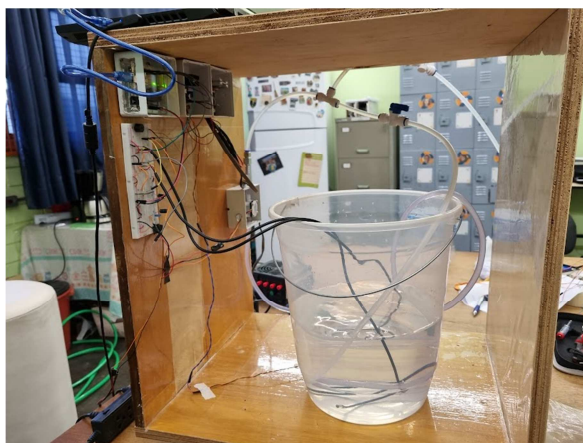
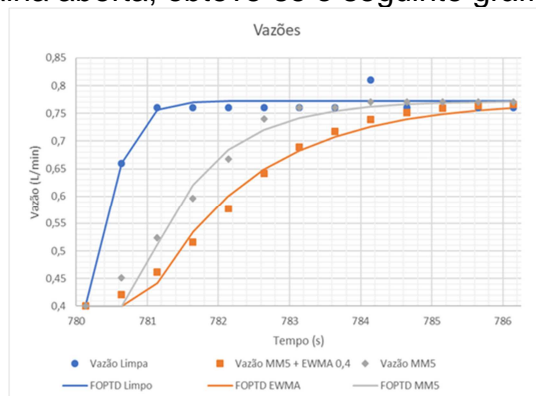


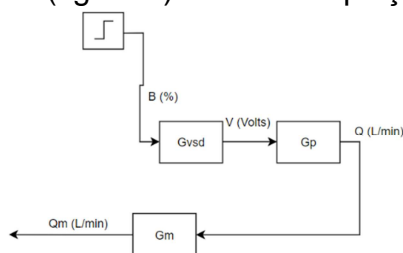
Figura 1 - Módulo experimental

A partir do teste em malha aberta, obteve-se o seguinte gráfico:



**Figura 2** - Gráfico da Vazão vs Tempo para o teste em malha aberta

Assim, optou-se pelo sistema de filtros MM5 (média móvel de cinco pontos) + EWMA (*exponentially weighted moving average*), pois apresentou o melhor comportamento. A partir do diagrama de blocos (figura 3) obteve a equação (2):



**Figura 3** – Diagrama de blocos do teste em malha aberta

$$G_{vsd}G_pG_m = G_pG_m \quad (2)$$

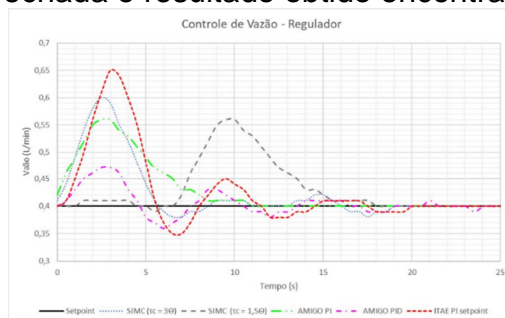
Onde,  $G_{vsd}$  significa *variable speed driver* (dinâmica do driver)  $G_p$  é a dinâmica do processo e  $G_m$  a dinâmica do sistema. E assim, obteve as funções de transferência FOPTDs (*first order plus time delay*) a partir das equações 1 e 2:

$$G_pG_m (limpo) = \frac{0,012}{0,25s+1} e^{-0,21s} \quad (3)$$

$$G_pG_m (MM5) = \frac{0,012}{0,93s+1} e^{-0,68s} \quad (4)$$

$$G_pG_m (MM5 + EWMA 0,4) = \frac{0,012}{1,52s+1} e^{-0,83s} \quad (5)$$

Para o teste em malha fechada o resultado obtido encontra-se no gráfico a seguir:



**Figura 4** - Gráfico de Vazão vs Tempo obtido após sintonização do controlador

A metodologia utilizada apresentou erros na prática, já que não é possível que a abertura e fechamento da válvula de forma manual para gerar as perturbações fossem instantâneas e iguais todas as vezes. Com isso o degrau aplicado na válvula foi maior ou menor para os controladores e não o mesmo como deveria. Dadas as restrições, o melhor controle foi o sintonizado via AMIGO-PI, pois rejeitou melhor a perturbação, atingindo o regime permanente em um tempo menor do que os outros. A interface escrita em Visual Basic pode ser visualizada na Figura 5.

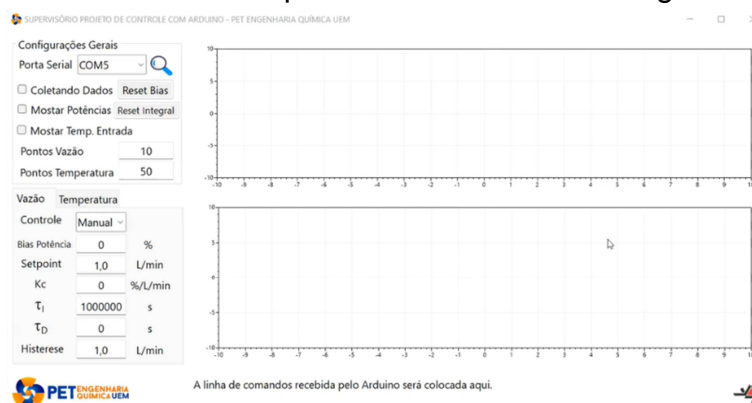


Figura 5 - Interface gráfica para o Módulo experimental

É importante notar que o gráfico de Temperatura vs Tempo não faz parte do escopo desse trabalho e será estudado em projeto paralelo.

## Conclusões

A partir dos resultados obtidos, o controle de vazão regulador por meio do Arduino se mostrou muito rápido e eficaz e a interface gráfica de fácil utilização. Ademais, o módulo possui potencial para futuros trabalhos científicos, como a implementação de controle *feedforward* e controle de nível, mas também pode ser utilizado para aplicações de ensino na disciplina de Análise Simulação e Controle de Processos. Em contrapartida, o módulo não se mostrou de fácil transporte, pelo fato de as ligações elétricas serem muito sensíveis ao toque e movimento, podendo atrapalhar no funcionamento do sensor de vazão e da bomba.

## Agradecimentos

Ao PET Engenharia Química pelo auxílio financeiro concedido e aos professores e pesquisadores que, de alguma forma, auxiliaram neste projeto.

## Referências

SEBORG, D. E.; EDGAR, T. F.; MELLICHAMP, D. A.; DOYLE III, F. J. **Process dynamics and control**, 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 2017.