

Uma válvula de 3 vias controlada por servo motor.

A análise em fluxo é um procedimento de automação de procedimentos analíticos, no qual a amostra é introduzida em um fluido carregador que é transportada até o detector. O fluxo contínuo pode auxiliar a separação de fases, formação de produtos de interesse em reações químicas controladas e diluição ou pré-concentração de analitos de interesse[1]–[3]. Neste contexto, controlar e direcionar o encontro ou a separação de fluidos líquidos ou gasosos é uma necessidade real dentro de processos analíticos em fluxo.

Existem diversos tipos para o controle sistemas em fluxo com válvulas para o controle de fluidos como redutoras de pressão, purgadores de vapor e controle e desvio(*bypass*)[4]. A válvula do tipo *bypass* são interessantes para o controle de fluidos, para o preenchimento de alças de amostragem, encontro do fluxo de reagente e amostra para derivação, passagem por bobinas de mistura de líquidos ou gases e direcionamento dos produtos da reação em fluxo para detectores[4], [5].

O uso de dispositivos eletrônicos, como as válvulas solenoide, válvulas rotatórias e bombas solenoide em sistemas de análises em fluxo, permitiu que as soluções pudessem ser gerenciadas de forma eficiente, controlando os tempos e a sequência de adição[6].

A válvula de 3 vias, é um dos modelos mais simples empregado para esse tipo de procedimentos de controle *bypass* em fluxo[5]. Essas válvulas tem um formato em Y ou T para promover a mistura, ou interrupção de fluxo de fluidos. A válvula tipo T promove diferentes tipos de encontros com diferentes reagentes e a mudança de posição com uma rotação de 90° permite conectar até 3 reservatórios simultaneamente ou interrupção de conexão com uma rotação de 45° (Figura 1).

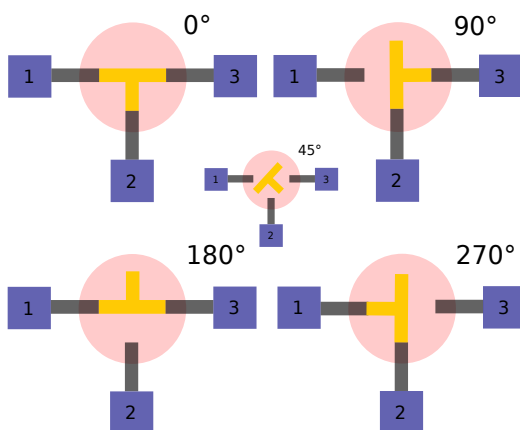


Figura 1: Posições de uma válvula *bypass* conectado simultaneamente 3 reservatórios com rotações de 90° ou interrupção de conexão com rotação de 45°.

As válvulas de 3 vias podem ser usadas para sistemas em fluxo, para o controle de transporte de líquidos e gases. O controle de fluxo e conexão, com até 3 diferentes reservatórios, depende de uma movimentação mecânica que transmita uma rotação para reservatório em T da válvula. Esse movimento pode ser executado com boa precisão usando servos motores[7], [8].

Servo motores são motores de corrente contínua com circuitos de *feedback* embutidos para que as posições do eixo possam ser controladas com precisão. Esses motores têm três terminais: alimentação, aterramento e controle. O terminal de controle é conduzido com forma de onda PWM (*Pulse Width Modulation*), geralmente com um período de 20ms (50 Hz) e ângulos de posição entre 0 e 180° [6]. Válvulas controlados por servo motores podem ser usadas para controlar de sistemas de comutação para gases ou líquidos[7]–[10].

Existem projetos opensource que usam válvulas de 3 vias hospitalares controladas com servo motores, usando impressão 3d ou suportes de baixo custo de acrílico[11]–[13]. Entretanto esses projetos são manufaturados com materiais frágeis que podem comprometer o uso contínuo da válvula de 3 vias. Neste trabalho foi desenvolvido um suporte metálico com elevada resistência mecânica para o controle de uma válvula de 3 vias hospitalar, diminuindo a quantidade de componentes frágeis do sistema, e propiciando apenas troca da válvula ou o motor aumentando facilitando o uso contínuo do comutador.

Procedimentos

O desenvolvimento da válvula servo controlada, foi pautada escolhendo materiais mais rígidos para diminuir o desgaste e troca de componentes da estrutura do sistema e foi dividido em a) Componentes estruturais eletromecânicos; b) Montagem do sistema eletromecânico; e c) Controle de servo motor com o Arduino Uno *firmware* e software de controle.

Componentes estruturais eletromecânicos

Para o desenvolvimento do sistema foi usado um Servo Motor Mg995, 9,4 kgf cm, 4,8 V (SVM)(Towerpro, China). A válvula empregada para o comutador em fluxo foi uma torneira 3 vias (Luer Lock), polipropileno e estéril (VT) (Descarpak, Brasil). Para suportar a válvula foi utilizado um Perfil Alumínio U 12 x 12 x 40 mm (PU-A) e para girar a torneira da válvula foi usada um Perfil Alumínio U 12 x 12 x 20 mm (PU-B). Todo o sistema foi montada em um suporte em formato L projetado usando o software de desenho paramétrico FreeCAD V. 0.19.24276 (GNU - GPL)[14]. O suporte foi projetado com dimensões 2d de 40 x 100 mm com cortes e ponto de dobra indicado (fp) na Figura 2-a , resultando em um suporte em formando um L 40 x 35 x 65 mm (SL) (Figura 2-b), a peça foi produzida em aço-carbono 2 mm e contada a laser na empresa Perfban Soluções em Corte e Dobra (Perfban, Brasil). A tabela 1 representa todos os componentes, incluindo o conjunto parafusos, porcas e arruelas, utilizados na montagem e os respectivos preços no mercado nacional em 2021.

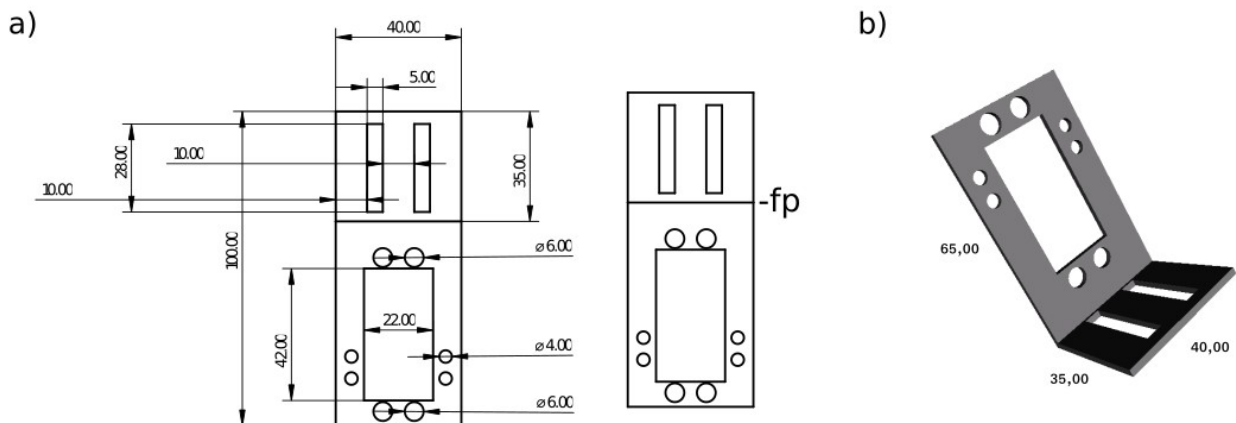


Figura 2. Suporte L 40 x 35 x 65 mm (SL) a) Pontos de corte e dobra da chapa de aço-carbono . 2Mm; b) Representação do modelo tridimensional 3d(SL).

Tabela 1. Componentes usados na montagem do sistema de válvula VT Servo controlada.

Quantidade	Descrição dos itens	Unidade	Total
1	Servo Motor Mg995 9,4 kgf cm (SVM)(4,8 V) (Towerpro, China)	R\$ 53,70	R\$ 53,70
1	Torneira 3 vias (Luer Lock), óxido de etileno, estéril (VT)(Descarpak, Brasil)	R\$ 2,50	R\$ 2,50
6	Parafuso Phillips Cabeça Chata - DIN 965 - M3 - 0,50 X 10 mm - Aço Inox(P-A)	R\$ 0,10	R\$ 0,60
2	Parafuso Phillips Cabeça Chata - DIN 965 - M3 - 0,50 X 5 mm - Aço Inox(P-B)	R\$ 0,10	R\$ 0,20
1	Parafuso Phillips Cabeça Chata - DIN 965 - M3 - 0,50 X 20 mm - Aço Inox(P-C)	R\$ 0,10	R\$ 0,10
1	Parafuso Allen Cilíndrico - DIN 912 - M3 x 10 mm - Aço Inox(P-D)	R\$ 0,30	R\$ 0,30
1	Parafuso Allen Cilíndrico - DIN 912 - M4 x 12 mm - Aço Inox(P-E)	R\$ 0,50	R\$ 0,50
1	Perfil Alumínio U 12 x 12 x 20 mm (PU-B)	R\$ 0,80	R\$ 0,80
1	Perfil Alumínio U 12 x 12 x 40 mm (PU-A)	R\$ 1,60	R\$ 1,60
2	Suporte L 35 x 65 mm(SL)	R\$ 20,00	R\$ 40,00
		TOTAL	R\$ 100,30
		US\$	\$18,47

*Preços praticados no mercado brasileiro em 2021 (conotação 1 Dólar americano igual a 5,43 reais).

** Parafusos com porcas e arruelas.

Montagem do sistema eletromecânico

Na Figura 3 estão representados os componentes eletromecânicos montados em 2 peças suporte SL. Na parte superior (SL1) foi fixado o motor SVM com parafusos P-A, e ligado ao eixo de transmissão de movimento de um suporte circular ao perfil PU-B, fixado com parafusos P-B e P-D. A parte superior da válvula VT foi cortada e fixada ao perfil PU-B com parafuso P-C. Na parte inferior o perfil PU-A foi fixado com parafusos P-A a segunda peça suporte (SL2). O perfil PU-A, foi cortado com uma janela de 10 mm no centro, para o encaixe da válvula VT fixada no servo motor. Os suportes inferior e superior foram fixados com o parafuso P-E.

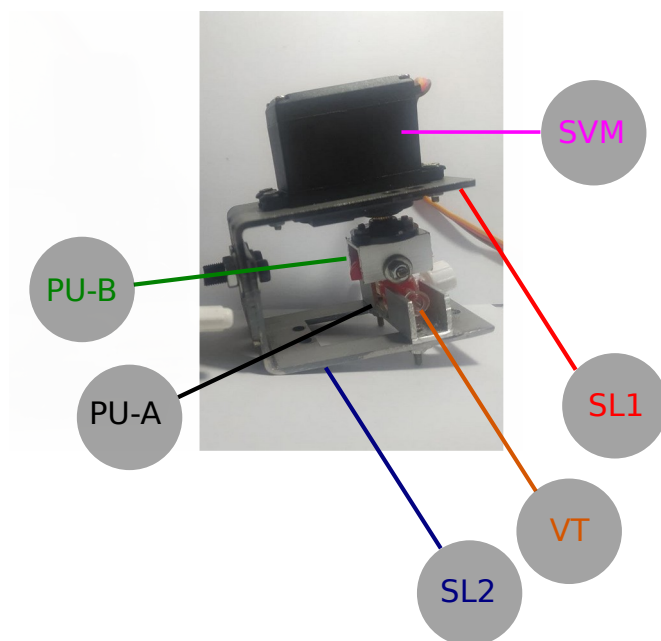


Figura 3. Válvula VT controlada por servo motor; SMV – Sevo motor; SL1- Suporte L superior. SL2 -Suporte inferior; VT – Válvula de 3 vias; PU-B – perfil U fixada ao eixo de VT; PU-A - perfil U encaixada a válvula VT e fixada em SL2.

Controle de servo motor com o Arduino Uno, firmware e software de controle

O controle do servo motor (SVM) foi feito usando um Arduino Uno (Arduino, Itália) conforme representado no diagrama da Figura 4. O Arduino Uno (Figura 4-a) está ligado ao servo motor (SVM) (Figura 4-b) na porta digital 9. O servo motor (SVM) foi alimentado com uma fonte 5 volts, 10 A, 50-60 HZ (CAI, China) (Figura 4-c).

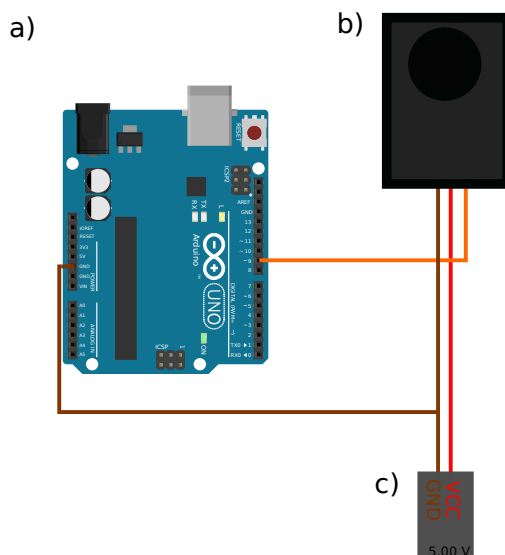


Figura 4: Diagrama do SVM ligado ao microcontrolador; a) Arduino UNO; b) Servo motor SVM e c) fonte de alimentação 5 V.

O código do firmware está contido no anexo Tabela 1A, desenvolvido em C e C++ e gravado com Arduino IDE 1.8.16 (GNU-GPL). O código usa as bibliotecas `arduino servo 1.1.8` (GNU-GPL) para o controle PWM do motor, e `Software Serial (Someserial 1..12)` (GNU-GPL) para modificar a posição da válvula (aberto, fechado ou troca de fluxo).

Referências

- [1] J. Ruzicka, G. D. Marshall, and G. D. Christian, "Variable flow rates and a sinusoidal flow pump for flow injection analysis," *Anal. Chem.*, vol. 62, no. 17, pp. 1861–1866, 1990.
- [2] J. Ruzicka and G. D. Marshall, "Sequential injection: a new concept for chemical sensors, process analysis and laboratory assays," *Anal. Chim. Acta*, vol. 237, pp. 329–343, 1990.
- [3] B. F. dos Reis, "Análise química por injeção em fluxo: vinte anos de desenvolvimento," *Quim. Nova*, vol. 19, no. 1, pp. 51–58, 1996.
- [4] M. Guidi, P. H. Seeberger, and K. Gilmore, "How to approach flow chemistry," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 49, no. 24, pp. 8910–8932, 2020, doi: 10.1039/c9cs00832b.
- [5] S. D. Kolev and I. D. McKelvie, "Advances in flow injection analysis and related techniques," 2008.
- [6] M. Y. Kamogawa and J. C. Miranda, "Uso de hardware de código fonte aberto 'Arduino' para acionamento de dispositivo solenoide em sistemas de análises em fluxo," *Quim. Nova*, vol. 36, no. 8, pp. 1232–1235, 2013, doi: 10.1590/S0100-40422013000800023.
- [7] J. Prieto Barranco and C. Goberna Selma, "Servo-Positioner for a Micro-Regulating Valve," 8740181, 2005.
- [8] Moon Hee-soo, "3-way valve system using servo motor," KR20110019455A, 2009.
- [9] L. Holder-Pearson, T. Leros, and J. G. Chase, "Physiologic-Range Three/Two-way Valve for Respiratory Circuits," *HardwareX*, p. e00234, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.ohx.2021.e00234.
- [10] G. Yan, Z. Jin, T. Zhang, and P. Zhao, "Position Control Study on Pump-Controlled Servomotor for Steam Control Valve," *Processes*, vol. 9, no. 2, p. 221, Jan. 2021, doi: 10.3390/pr9020221.
- [11] H. as Águas, "Válvula de 3 vias Controlada por Servomotor," 2021. <https://www.c2o.pro.br/hackaguas/apa.html> (accessed Sep. 28, 2021).
- [12] Thingiverse, "Three way valve servo controller," 2020. <https://www.thingiverse.com/thing:4632273> (accessed Feb. 28, 2021).
- [13] T. Pulsar, "Adding an actuated flow selector valve to our syringe pump," 2015. <https://www.thepulsar.be/article/adding-an-actuated-flow-selector-valve-to-our-syringe-pump/> (accessed Sep. 28, 2021).
- [14] F. Machado, N. Malpica, and S. Borromeo, "Parametric CAD modeling for open source scientific hardware: Comparing OpenSCAD and FreeCAD Python scripts," *PLoS One*, vol. 14, no. 12, p. e0225795, 2019.