



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá

Brasil

Frattini Fileti, Ana Maria; Vasconcelos da Silva, Flávio; Ferreira da Rocha Pereira, João Alexandre  
Desenvolvimento de circuito eletrônico comparador para controle de válvulas de vazões reduzidas

Acta Scientiarum. Technology, vol. 33, núm. 2, 2011, pp. 185-189

Universidade Estadual de Maringá

Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226531007>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Desenvolvimento de circuito eletrônico comparador para controle de válvulas de vazões reduzidas

Ana Maria Frattini Fileti<sup>\*</sup>, Flávio Vasconcelos da Silva e João Alexandre Ferreira da Rocha Pereira

Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária Zeferino Vaz, s/n, 13083-852, Campinas, São Paulo, Brasil. <sup>\*</sup>Autor para correspondência. E-mail: frattini@feq.unicamp.br

**RESUMO.** Diversos tipos de válvula de controle de vazão estão disponíveis comercialmente, sendo a maioria delas apropriada para elevadas vazões e provida de acionamento pneumático para reduzir riscos de explosões em ambientes industriais. As válvulas para vazões reduzidas e baixas pressões são de pequenas dimensões, normalmente eletrônicas e apresentam custo elevado. No presente trabalho foi desenvolvido um sistema de controle eletrônico de vazão por computador on-line, baseado em componentes eletrônicos comuns, em esquema comparativo de tensão. Um amplificador subtrator foi utilizado neste circuito eletrônico, comparando dois valores de tensão para o controle do sentido de rotação e parada do motorreductor de velocidade acoplado à haste da válvula agulha comum. Este sistema de baixo custo se mostrou eficiente e de simples montagem eletrônica. Válvulas de diferentes dimensões foram acopladas com sucesso ao motorreductor comandado pelo circuito eletrônico, conferindo flexibilidade ao atuador desenvolvido. Ensaio de calibração e de determinação de tempo morto são apresentados, obtendo-se como menor faixa de vazão os valores de 0,3 a 3,6 mL s<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** válvula de controle, módulo eletrônico, controle por computador, instrumentação.

**ABSTRACT.** Development of comparative electronic circuit for reduced flow valve control. Different types of flow control valves are commercially available but most are only adequate for high flow rates. These are provided with pneumatic devices to reduce explosion risks in industrial plants. Flow-reduced and low pressure valves are small sized, usually driven by analogical signals and very expensive. Current assay developed an on-line computer-aided flow control electronic system made up of common electronic components within a comparative voltage scheme. A subtracted amplifier was employed in the electronic circuit which compares two voltages for rotation direction control and stoppage of speed engine reducer linked to the common valve stem. This low cost system is very efficient and has the advantage of being electronically assembled without any difficulty. Different sized valves were successfully coupled to the electronic circuit-driven reduction engine which provided flexibility to the developed apparatus. Calibration and time delay determination assays are provided, with lowest flow rates ranging between 0.3 and 3.6 mL s<sup>-1</sup>.

**Keywords:** control valve, electronic module, computer-aided process control, instrumentation.

## Introdução

Válvulas de controle de vazão de diferentes tipos estão disponíveis comercialmente, sendo a maioria provida de acionamento pneumático para reduzir riscos de explosões em ambientes que contenham vapores de produtos químicos inflamáveis. Os modelos compreendem grande faixa de dimensões e de capacidades para controle desde pequenas vazões em equipamentos médicos e científicos, normalmente eletrônicas, até grandes plantas industriais onde geralmente são pneumáticas. Em particular, as válvulas para vazões reduzidas e baixas pressões são de pequenas dimensões, requerem

baixa tensão e corrente de acionamento, e apresentam custo elevado.

O desenvolvimento de um módulo eletrônico para controle digital de válvulas solenoides é descrito no trabalho de Silva e Lago (2002). Este módulo se baseia num simples circuito integrado DRV103 para trabalho com cargas resistivas ou indutivas até 1,5 A. Segundo os autores, seu modo de operação é particularmente adequado para válvulas solenoides uma vez que a alta voltagem é necessária para ligar e a baixa voltagem para manter o posicionamento da válvula. Usando este circuito, o consumo de energia e o aquecimento da válvula são reduzidos, além de elevar o tempo de vida útil deste instrumento.

Em microssistemas químicos ou bioquímicos, nos quais se utilizam vazões da ordem de microlitros por minuto, normalmente são empregadas bombas de microseringas comandadas por sinal analógico de 4-20 mA, gerado pela execução de software de controle. Várias aplicações que utilizam microvazões são relatadas na literatura e estas se integram em chips com outras funcionalidades como: reguladores de pH e controladores de temperatura (ERICKSON; LI, 2004; DELAMARCHE et al., 2005; EL-ALI et al., 2006; WEIBEL; WHITESIDES, 2006). Visando uma nova geração de tais microssistemas, um campo desafiador de pesquisas é a obtenção de controle automático sem o uso deste sinal externo de controle. Segundo Hosono et al. (2008), princípios eletroquímicos de operação, ou mais especificamente o electrowetting, se concretizarão como uma metodologia factível. Estes autores construíram um sistema no qual duas soluções líquidas podem ser misturadas, em condições de razão de mistura constante, abrindo automaticamente uma válvula logo após a injeção destas soluções em dois compartimentos da câmara de reação. Esta válvula, baseada na imersão de eletrodos, é acoplada a um potenciostato, e opera diretamente sob os princípios do electrowetting.

Diante do propósito de controle de processos científicos, laboratoriais, ou de engenharia biomédica, em que as vazões são reduzidas ( $< 5 \text{ mL s}^{-1}$ ), mas não chegam a ser da ordem de microvazões, a precisão necessária dificulta a seleção de válvulas automáticas e encarece o projeto final do equipamento. Assim sendo, justifica-se o desenvolvimento da presente montagem eletrônica para alcance dos rigorosos objetivos de controle destes processos de uma forma simples e com custo reduzido. No presente trabalho foi desenvolvido um protótipo de um sistema de controle eletrônico de vazão por computador on-line, baseado em componentes eletrônicos usuais, em esquema comparativo de tensão.

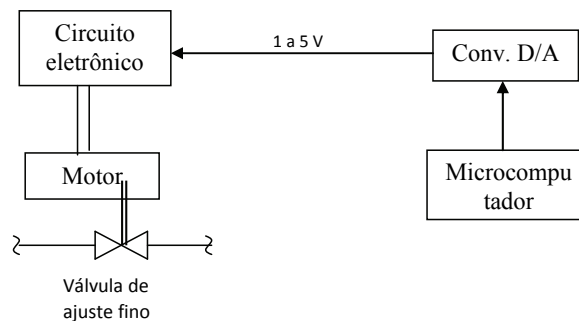
Visando demonstrar a aplicabilidade do módulo eletrônico desenvolvido, realizou-se a conexão do mesmo a um motorreductor acoplado ao eixo de uma válvula agulha comum. Sob o comando de um microcomputador, dotado de placa de conversão Analógico-Digital-Analógico (ADA), ensaios de calibração e determinação de tempo morto são demonstrados.

## Material e métodos

### Montagem experimental

A Figura 1 apresenta o esquema básico da montagem experimental, em que o sistema eletrônico de controle de vazão se apresenta como

interface entre o microcomputador, dotado de placa ADA, e a válvula de agulha comum para implementação de ações de controle.



**Figura 1.** Sistema eletrônico de controle de vazão por computador.

Em malha fechada, os sinais dos sensores do processo são normalmente enviados ao microcomputador onde são filtrados, convertidos a valores numéricos de engenharia utilizando da curva de calibração e analisados por algoritmo de controle selecionado. Por meio deste último, são encontrados os valores mais adequados das variáveis manipuladas (vazões) que são então convertidos em sinais analógicos pela placa ADA e enviados aos atuadores eletrônicos. Em estudos clínicos ou análises laboratoriais, para que estes valores sejam devidamente implementados experimentalmente, as válvulas devem ter precisão necessária para aplicação a baixas vazões. Uma curva de calibração realiza a correlação entre o sinal analógico de voltagem enviado pela placa ADA (1 a 5 V) e o valor real de vazão implementado.

Este sistema eletrônico é constituído por um circuito eletrônico que recebe o sinal do computador e atua sobre um motor elétrico para posicionar a válvula, de tal forma que para um sinal de saída da placa de conversão D/A de 1 V a válvula estará totalmente fechada e para 5 V a mesma estará totalmente aberta.

A montagem ilustrada no esquema da Figura 1 é constituída pelos seguintes componentes principais: motor elétrico DC 12 V, de alta rotação com redutor de velocidade (MOTRON modelo MR710); regulador de voltagem; amplificador operacional; TRIAC; resistores diversos; placa para montagem de circuito impresso; conectores; placa de aquisição de dados (conversões ADA) e válvulas agulha de aço inox de ajuste fino (8 a 10 voltas de totalmente aberta a totalmente fechada).

### Princípio de funcionamento do circuito eletrônico

O princípio de funcionamento está baseado na utilização de um amplificador subtrator, o qual

compara dois valores de tensão para o controle do sentido de rotação e parada do motor.

O motor trabalha com tensões entre 12 e 15 V. Seu sentido de rotação pode ser trocado pela inversão da tensão em seus polos. Assim, sendo aplicado em seu polo positivo 12 V e em seu polo negativo 0 V, se terá rotação de seu eixo para a direita. Agora, aplicando-se uma tensão abaixo de 0 V, como por exemplo, -12 V, em seu polo positivo a rotação do eixo será invertida, para a esquerda, pelo fato da inversão do sentido da corrente que circula pelo motor na troca da tensão positiva pela negativa.

O motor possui, ligado ao seu eixo, um potenciômetro multivoltas, o qual recebe em suas extremidades uma tensão de 5 V. Seu tap central é ligado à entrada não-inversora do amplificador subtrator formado por um circuito integrado 741. Em sua entrada inversora, a entrada do valor a ser subtraído e comparado, a qual é realizada por uma fonte de alimentação variável (potenciômetro) ou pela interface D/A de um microcomputador, tem a tensão máxima admissível de 5 V.

Supondo-se que o potenciômetro esteja em seu valor máximo de resistência total e a tensão no pino 3 do CI 741 seja de 5 V, conforme mostra o esquema elétrico na Figura 2, aplica-se uma tensão de entrada de 2,5 V. Assim, o amplificador, pela sua configuração, resultará um ganho unitário, fazendo a subtração dos dois valores citados. Desta forma,  $2,5 - 5 \text{ V} = -2,5 \text{ V}$ . A tensão de saída do amplificador será -2,5 V. Esta tensão passa por um seguidor de tensão, que faz apenas um melhor acoplamento entre o estágio subtrator e o amplificador inversor. O amplificador inversor possui um ganho muito elevado, o qual satura praticamente todos os valores

de tensão a valores de -12 VCC a +12 VCC, dependendo do valor da tensão obtida pelo subtrator. Assim, os -2,5 V obtidos pelo subtrator são transformados em 12 V, e enviados para um par complementar de transistores de potência, acionando o motor.

O motor, recebendo este valor de tensão começa a rodar no sentido anti-horário, girando consigo o potenciômetro. O potenciômetro, portanto, começa a diminuir a voltagem no pino 3 do subtrator. Como consequência ocorre a diminuição da tensão na saída do mesmo. Quando o potenciômetro atinge o mesmo valor da tensão de entrada, tem-se o valor zero na saída, pois  $2,5 - 2,5 \text{ V} = 0 \text{ V}$ .

Desta forma, o amplificador inversor reduzirá de seu ponto saturado de aproximadamente 12 V para 0 V, cortando a corrente de base do par complementar e travando o motor. O mesmo fato é observado se a tensão de entrada for maior que a comparada, quando ocorrerá o sentido inverso de atuação do motor.

O amplificador subtrator, o seguidor de tensão e o amplificador inversor, são operacionais. No circuito desenvolvido foram usados três circuitos integrados 741. A tensão de comparação para o potenciômetro multivoltas é seguida por um circuito integrado regulador de tensão, o CI 7805. O par complementar é composto pelos transistores TIP 31 e TIP 32. Os resistores são todos de 0,25 watts 5%, e a fonte de alimentação é simétrica, com -12 V e +12 V. Este circuito eletrônico encontra-se esquematizado na Figura 2. Deve-se observar que para sua industrialização, elementos de proteção podem ser acrescentados ao mesmo.

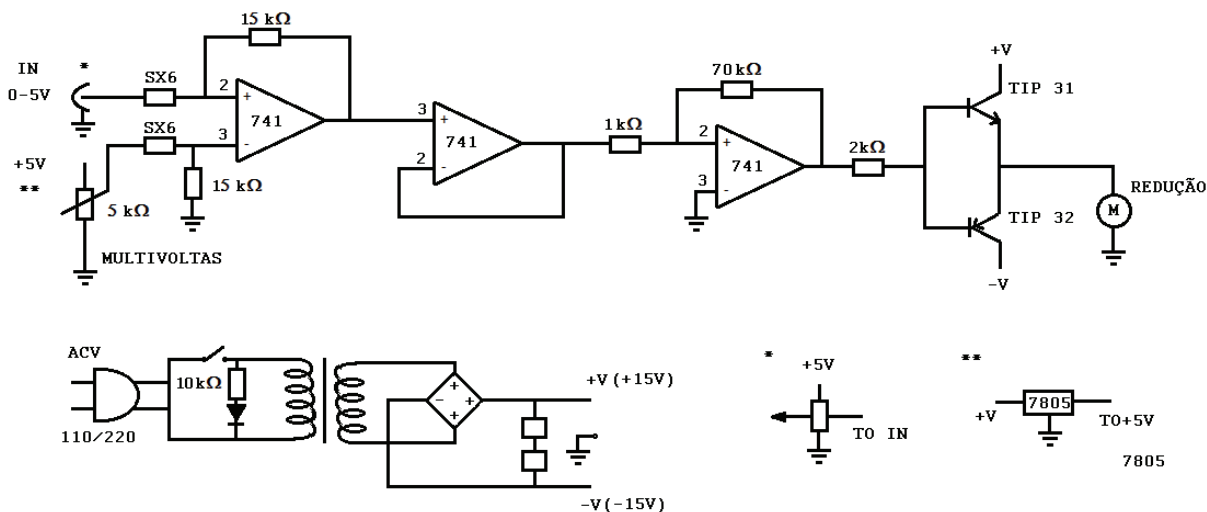


Figura 2. Esquema do circuito eletrônico da válvula de controle.

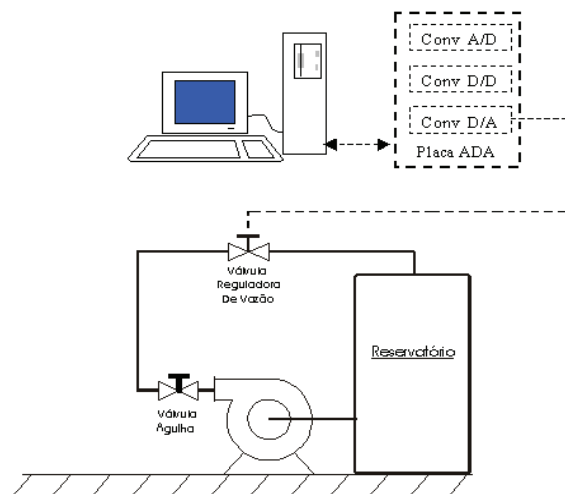
## Resultados e discussão

Visando evitar a saturação da válvula de controle, o intervalo de tensões usado passou a ser de 0,5 a 4,5 V. Neste intervalo, variou-se a tensão de 0,5 em 0,5 V, para obtenção da curva de calibração. As vazões, a jusante da válvula reguladora, foram medidas para cada valor de tensão por meio do uso de provetas de vidro de 10, 30, 50, 100 ou 250 mL e de um cronômetro (Figura 3). Para cada valor de tensão implementado, com a válvula parada na nova posição, aguardava-se a proveta atingir um determinado volume e anotava-se o tempo transcorrido. Visando minimizar erros visuais e também de acionamento do cronômetro, realizou-se este procedimento em triplicata. A vazão final, relativa a uma determinada tensão, foi obtida da divisão do volume especificado para leitura e a média dos três intervalos de tempo observados.

A Figura 3 ilustra esquema do sistema de controle de vazão implementado neste trabalho, em que se pode notar também a existência de uma válvula simples que permitiu realizar um ajuste inicial da vazão. Esta válvula simples, do tipo gaveta nos primeiros experimentos, fecha após quatro voltas e 5/8. Sendo assim, foram tomados os valores de vazão, após a válvula agulha reguladora, para aberturas diferentes da válvula gaveta, resultando nos valores apresentados na Tabela 1. Uma faixa de operação de 5,8 a 28,9 mL s<sup>-1</sup> foi obtida, considerando-se que vazões reduzidas foram encontradas apenas quando se fechava quase que totalmente a válvula gaveta (4,5 voltas). Com o objetivo de atingir uma faixa operacional de vazões menores que 5 mL s<sup>-1</sup>, modificações no sistema utilizado anteriormente, por meio da substituição da válvula gaveta por uma válvula agulha, e a troca da válvula agulha eletrônica (válvula reguladora de vazão) por outra de menor diâmetro foram realizadas.

Utilizando-se uma placa ADA de 10 bits na saída analógica, tem-se uma faixa de números binários que variam de 0 a 1023 (2<sup>0</sup>-1 a 2<sup>10</sup>-1), que corresponde de maneira direta ao intervalo de voltagem de 0 a 5 V. Este número binário foi implementado por meio do computador on-line, sendo utilizado para a nova calibração do sistema.

De mesma forma, visando evitar a saturação da válvula eletrônica, o intervalo dos números binários usado passou a ser de 280 a 700 (1,4 a 3,4 V). Neste intervalo, a variação entre os pontos de tomada de dados foi de 50 em 50, para obtenção da curva de calibração.

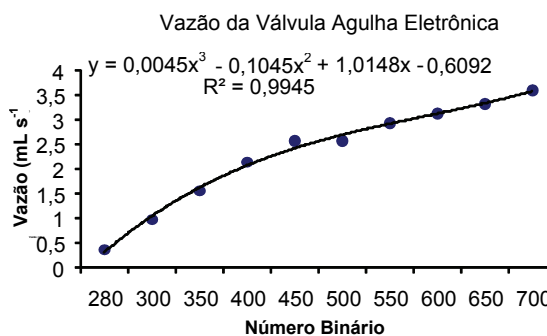


**Figura 3.** Esquema do sistema experimental de controle de vazão.

**Tabela 1.** Valores médios das vazões da válvula de controle desenvolvida.

Tensão (V)	Vazão da Válvula Agulha (mL s <sup>-1</sup> )					
	Abertura da Válvula Gaveta					
	Aberta	1 volta fechada	2 voltas fechadas	3 voltas fechadas	4 voltas fechadas	4,5 voltas fechadas
0,50	6,82	6,56	6,33	6,63	6,75	5,81
1,00	8,25	8,97	8,81	8,70	8,66	6,06
1,50	9,97	10,14	11,09	10,29	10,85	6,37
2,00	12,14	12,65	12,13	12,09	12,70	6,84
2,50	13,61	13,93	14,14	13,48	13,53	7,21
3,00	21,07	21,23	21,76	21,08	21,17	7,99
3,50	27,31	27,35	27,86	27,49	27,35	8,20
4,00	28,70	28,48	28,30	28,17	28,00	8,00
4,50	28,90	28,74	28,74	28,34	28,32	7,97

As vazões foram tomadas em triplicata para cada número binário, por meio do uso de provetas e um cronômetro. Na Figura 4, apresentam-se as vazões obtidas da média dos três valores medidos e a linha contínua representa a curva polinomial de calibração obtida, sendo  $y$  a vazão (mL s<sup>-1</sup>),  $x$  o número binário e  $R^2$  o seu coeficiente de determinação. Com a nova configuração física do experimento, observou-se uma faixa operacional de vazões compreendidas entre 0,3 e 3,6 mL s<sup>-1</sup>.



**Figura 4.** Calibração da válvula eletrônica desenvolvida.

Sabendo-se da influência do intervalo de tempo que o atuador leva para implementar a ação de controle sobre o projeto de controladores por retroalimentação (tempo morto), efetuou-se a medição do mesmo para diferentes intensidades de ações de controle.

Os resultados se resumem na Tabela 2, que em são observados diferentes valores para o fechamento e para a abertura da válvula eletrônica quando são aplicados degraus de mesma intensidade. Em comparação com as válvulas pneumáticas, o tempo morto para encontrar nova posição da haste da válvula se constitui numa desvantagem da válvula eletrônica.

**Tabela 2.** Medição de tempo morto da abertura e do fechamento da válvula eletrônica.

Tempo Morto da Válvula Eletrônica (s)		
Intervalo Binário (degrau aplicado)	Abrindo	Fechando
50	5,7	6,5
100	11,3	12,6
400	44,6	48,5

## Conclusão

O sinal de saída do microcomputador, por meio da placa ADA e do circuito eletrônico desenvolvido, foi capaz de realizar os ajustes de vazão pelo motorreductor de velocidade acoplado à haste da válvula agulha comum, resultando numa válvula eletrônica de baixo custo para controle de processos com vazão reduzida. A utilização de um amplificador subtrator no circuito eletrônico, comparando dois valores de tensão para o controle do sentido de rotação e parada do motor, se apresentou eficiente e de montagem simples.

O estabelecimento de regime estacionário de vazão de líquido e a medição da mesma para diferentes posicionamentos da haste da válvula foram realizados, permitindo a determinação da vazão máxima obtida, do tempo morto envolvido na atuação da válvula e da curva de calibração operacional. Válvulas agulha de diferentes

dimensões foram acopladas ao motorreductor comandado pelo circuito eletrônico, conferindo flexibilidade ao atuador desenvolvido.

O sistema eletrônico desenvolvido foi disponibilizado para uso em controle de temperatura de reator de polimerização de metilmetacrilato (ANTUNES et al., 2005) permitindo, com sucesso, precisas comparações experimentais entre aplicações de controladores lineares e não-lineares para o referido processo.

## Referências

- ANTUNES, A. J. B.; PEREIRA, J. A. F. R.; FILETI, A. M. F. Fuzzy control of a PMMA batch reactor: development and experimental testing. **Computers and Chemical Engineering**, v. 30, n. 2, p. 268-276, 2005.
- DELAMARCHE, E.; JUNCKER, D.; SCHIMID, H. Microfluidics for processing surfaces and miniaturizing biological assays. **Advanced Materials**, v. 17, n. 24, p. 2911-2933, 2005.
- EL-ALI, J.; SORGER, P. K.; JENSEN, K. F. Cells on chips. **Nature**, v. 442, p. 403-411, 2006.
- ERICKSON, D.; LI, D. Integrated microfluidic devices. **Analytica Chimica Acta**, v. 507, n. 1, p. 11-26, 2004.
- HOSONO, H.; SATOH, W.; TOYA, M.; MORIMOTO, K.; FUKUDA, J.; SUZUKI, H. Microanalysis system with automatic valve operation, pH regulation, and detection functions. **Sensors and Actuators B**, v. 132, n. 2, p. 614-622, 2008.
- SILVA, J. A. F.; LAGO, C. L. Electronic module for solenoid valve control. **Química Nova**, v. 25, n. 5, p. 842-843, 2002.
- WEIBEL, D. B.; WHITESIDES, G. M. Applications of microfluidics in chemical biology. **Current Opinion in Chemical Biology**, v. 10, n. 6, p. 584-591, 2006.

*Received on April 9, 2010.*

*Accepted on June 14, 2010.*

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited