

## CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM MANÔMETRO DE LEITURAS DIGITAL MICROPROCESSADO

**Luis Gonzaga Medeiros Figueredo Júnior<sup>1</sup>; Nildo da Silva Dias<sup>2</sup>; Luiza Helena Duenhas<sup>3</sup>; Tarlei Arriel Botrel<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Piauí, Parnaíba, PI, lgfigue@esalq.usp.br*

<sup>2</sup>*Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI*

<sup>3</sup>*Embrapa Semi-Árido, Petrolina, PE*

<sup>4</sup>*Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP*

### 1 RESUMO

O presente trabalho refere-se à construção e a calibração de um manômetro com leituras digital de baixo custo e simples. O manômetro armazena dados de pressão em condutos forçados, utilizando-se basicamente um microcontrolador Basic Step, um conversor analógico digital e um transdutor de pressão. O manômetro desenvolvido foi calibrado com auxílio de um manômetro de peso morto, e a equação que correlaciona tensão e pressão, comparada à fornecida pelo fabricante. Verificou-se uma tendência de erro maior para as menores pressões, o que justifica a calibração ao se usar o mesmo transdutor de pressão empregado neste trabalho. O manômetro construído pode substituir, sem prejuízos, modelos de custo elevado e de difícil manutenção, além de poderem ser instalados em computadores de baixo desempenho, muitas vezes em desuso nas universidades, centros de pesquisas e empresas, possibilitando a realização de diversos tipos de experimentos ou, simplesmente, leitura de sinais.

**UNITERMOS:** Basic Step, sensor de pressão, condutos forçados.

**FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M.; DIAS, N.S.; DUENHAS, L.H.; BOTREL, T.A.  
BUILDING AND CALIBRATION OF A DIGITAL READING MICROCONTROLLER  
MANOMETER**

### 2 ABSTRACT

The present study aimed to develop and calibrate a simple, low-cost, digital microcontroller manometer. Manometer stores pressure data on pressure pipes with a Basic Step microcontroller, an analogical digital converter and a pressure transducer. The developed manometer was calibrated with a dead weight gauge, and the equation that correlates tension and pressure, was compared to that one given by the manufacturer. It was verified that there is a tendency to higher errors for lower pressure values, which justifies the calibration when the same pressure transducer is used. The equipment can substitute high cost models of difficult maintenance, besides the possibility of installation in older computers, available at universities, research centers and corporations, making it possible to carry out many experiments or simply signals readings.

**KEY WORDS:** Basic Step, pressure sensor, pressure pipe.

### 3 INTRODUÇÃO

Vários medidores para determinar a pressão em condutos forçados e avaliar os sistemas hidráulicos pressurizados, estão disponíveis no mercado, citando-se os manômetros de linha industrial e marítima, medidor de pressão mecânico e digital e, ainda, medidores com o registro automático de dados. O uso de registro de dados de forma automática possibilita, entre outras vantagens, a eliminação de erros humanos na leitura dos sensores, erros de digitação, perda de dados, sincronismo da leitura entre vários instrumentos e frequência de leitura com intervalos precisos de registros de dados, sendo atualmente o mais recomendado (Gomide, 1998).

Dentre os dispositivos eletrônicos, os microcontroladores tem sido usados para as mais variadas aplicações. Vilela (2002), desenvolveu um sistema de aplicação de defensivos acoplado a um pivô central, no qual um microcontrolador Basic Step fazia o controle de toda a rotina com a facilidade de programação e baixo custo. Outro dispositivo eletrônico que também vem sendo usado na agricultura é o transdutor de pressão. Zoerb (1991) relata que os transdutores que empregam membrana de silicone têm sido amplamente utilizados para medição de pressão em virtude do menor custo, elevada precisão e apresentarem compensação de temperatura.

O computador pode ser usado na coleta, armazenamento, processamento e transmissão dos dados. Outra vantagem do uso de computadores, é que os dados obtidos podem ser trabalhados em diversos aplicativos comerciais, como planilhas eletrônicas, programas gráficos, estatísticos, editores de texto, dentre outros.

A vazão no interior de condutos forçados pode ser medida de diversas maneiras, seja por métodos diretos, estreitamento de seção, através da relação velocidade-área, ou por diferença de pressão. Sensores magnéticos ou eletrônicos também podem ser usados para determinar pressão ou vazão em tubulações com grande precisão.

Norton (1989) relata que alguns tipos de sensores possuem saída de sinais analógicos, na forma de tensão ou corrente elétrica, que podem ser digitalizados por meio de um dispositivo denominado conversor analógico/digital e, posteriormente, enviados ao equipamento, que fará a interpretação desses sinais. Assim, se a saída de um sensor apresentar sinais analógicos e precisar transferir este sinal para um circuito digital, como de um computador, será necessário utilizar-se um conversor A/D. Os computadores e muitos circuitos que processam dados obtidos de sensores operam exclusivamente com sinais digitais (Braga, 1996).

Para que a aquisição de dados via computador possa ser implementada, é conveniente a existência de um periférico (hardware) capaz de transmiti-los à unidade central de processamento (CPU). Os comandos podem ser externados da CPU para os periféricos pela porta paralela, mediante a instalação do componente IOport em um ambiente de programação Delphi. A versão executável do programa passa a oferecer todos os requisitos necessários à comunicação pela porta paralela, após a instalação do componente IOport (Vilela, 1999).

Deste modo objetivou-se, neste trabalho, construir e calibrar um manômetro com leituras digital de baixo custo e simples, capaz de armazenar dados de pressão em condutos forçados, utilizando-se basicamente um microcontrolador Basic Step, um conversor analógico digital e um transdutor de pressão. Além disso, desenvolver um programa para

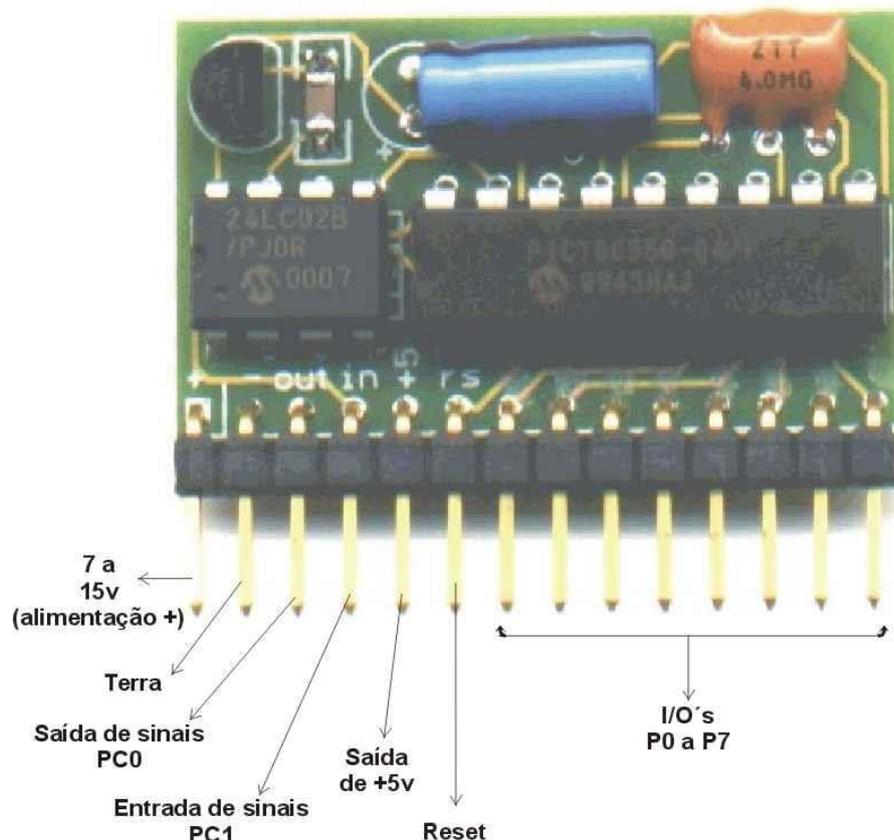
armazenamento de dados e gerenciamento de um periférico capaz de obter dados de pressão provenientes de sistemas hidráulicos pressurizados.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolveu-se um aplicativo computacional (*hardware* + programa) com a finalidade de gerenciar a aquisição e o armazenamento de dados de pressão, provenientes de sistemas hidráulicos pressurizados, tais como tubulações, estações de bombeamento, equipamentos de filtragem e injeção de fertilizantes em sistemas de irrigação, ensaios hidráulicos, entre outros. O programa foi desenvolvido de forma a fornecer leituras em três unidades distintas de pressão (m.c.a., psi e kPa), de acordo com a posição da chave seletora localizada no periférico.

##### Microcontrolador

O microcontrolador Basic Step 1 é programado numa versão simples da linguagem Basic, chamada PBASIC, desenvolvida para ser facilmente entendida e, ao mesmo tempo, bem adequada para as diversas aplicações de controle e monitoramento em que o Basic Step é utilizado. A linguagem PBASIC inclui instruções familiares como GOTO, FOR...NEXT e IF...THEN, além de instruções mais especializadas como SERIN, PWM, BUTTON, etc.



**Figura 1.** Descrição da pinagem de um Microcontrolador Basic Step 1

O Basic Step trabalha com um microcontrolador PIC16F628 e em uma única placa engloba esse microcontrolador, uma memória com o interpretador PBASIC e um regulador de tensão. Pode ser alimentado com tensão de 7,5 a 15v. Possui 8 portas configuráveis para entrada ou saída. É programável diretamente pela serial do computador, por um cabo simples e, por isso, não precisa de programadores caros ou difíceis de se construir. Outra vantagem é que ele pode ser encaixado na matriz de contatos, simplificando os testes. O *hardware* do Basic Step 1 (Figura 1) inclui uma pequena placa de circuito impresso onde todos os componentes estão alojados. Um regulador de 5V fornece tensão para todo o circuito, podendo servir de fonte de alimentação elétrica para outros circuitos auxiliares.

### Sensor de pressão

Utilizou-se como elemento sensor de pressão um transdutor diferencial modelo MPX5700DP, fabricado pela empresa Motorola, Inc. De acordo com o fabricante (NATIONAL SEMICONDUCTOR Co, 2001), este sensor apresenta compensação interna de temperatura e pode ser utilizado tanto para medição de pressão em determinado ponto, bastando para tal deixar uma de suas entradas exposta à pressão atmosférica, como o diferencial de pressão entre dois pontos distintos. O referido modelo de sensor é produzido para atender a uma faixa de pressão que varia de 0 a 700 kPa, apresentando erro máximo de 2,5% para temperaturas entre 0 e 85°C. Quando alimentados por uma tensão estabilizada de 5Vcc (volt em corrente contínua), emitem sinais analógicos que variam de 0,2 a 4,7 Vcc, os quais podem ser transformados em leituras de pressão, segundo o fabricante (Motorola, 2003) pela seguinte equação:

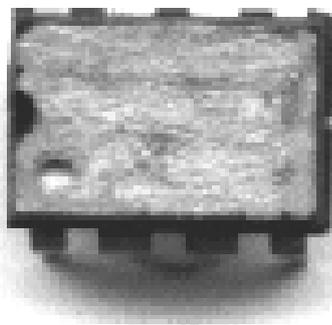
$$P = 0,1555 \cdot V_{sp} - 31,109 \quad (\text{Eq. 01})$$

em que  $P$  (kPa) é a diferença de pressão observada nas entradas do transdutor, e  $V_{sp}$  (mv) a diferença de potencial elétrico entre os pinos de saída e o referencial terra (Gnd).

As saídas do transdutor de pressão foram ligadas ao canal 01 do conversor A/D e ao referencial terra do periférico. O fabricante disponibiliza outros modelos, com as mesmas características, que podem ser utilizados para atender a outras faixas de pressão.

### Conversor analógico digital

Utilizou-se o conversor analógico digital ADC0832 (Figura 2), de 8 bits, fabricado pela National Semiconductors Co. Esse dispositivo possui dois canais de entrada ( $CH_0$  e  $CH_1$ ) e interface serial para sinais de controle de envio de dados.



**Figura 2.** Conversor analógico/digital ADC0832 com comunicação serial (SERIN e SEROUT)

De acordo com as informações do fabricante (NATIONAL SEMICONDUCTOR Co, 2002), os sinais de controle são formados por uma entrada de “clock” para sincronismo (CLK), uma entrada “chip select” (CS) para habilitação do conversor e uma entrada de dados DI (Data Input) que possibilita a programação do canal a ser lido. O resultado da conversão é externado pela saída DO (Data Output) do conversor. Em virtude da resolução do conversor ser de apenas 8 bits, a resolução dos sensores de pressão e vazão passou a ser de 3,04 kPa e 7,81 L h<sup>-1</sup>, respectivamente.

### Display

O módulo de *display LCD* (Figura 3) permite a visualização direta da leitura de pressão, de acordo com a unidade selecionada. Para ser usado com o Basic Step, o *display* utiliza comunicação serial, necessitando, para isto, apenas de 1 pino de sua porta de comunicação. As instruções utilizadas para o envio de informações do Step para o *display* são feitas através do comando *SEROUT*.



**Figura 3.** Modulo *Display LCD* com comunicação serial

### Calibração

O medidor de pressão construído foi calibrado com auxílio de um manômetro de peso morto, e a equação que correlaciona tensão e pressão, comparada à fornecida pelo fabricante do transdutor de pressão. O custo dos materiais empregados na montagem foi de R\$201,50 (US\$57,60).

### Periférico

O periférico foi produzido a partir de componentes e circuitos integrados, facilmente encontrados no mercado, a um custo relativamente baixo, quando comparado a outros medidores de pressão com a mesma finalidade. Constitui-se basicamente de uma placa para confecção de circuito (fenolite) sobre a qual se encontram instalados um soquete para circuitos integrados de oito pinos, conversor AD, chave seletora, resistores, capacitores, cabo de comunicação (6 x 1,5 mm) e um conector *DB25M* com proteção plástica. O desenho esquemático do circuito eletrônico é apresentado na Figura 4.

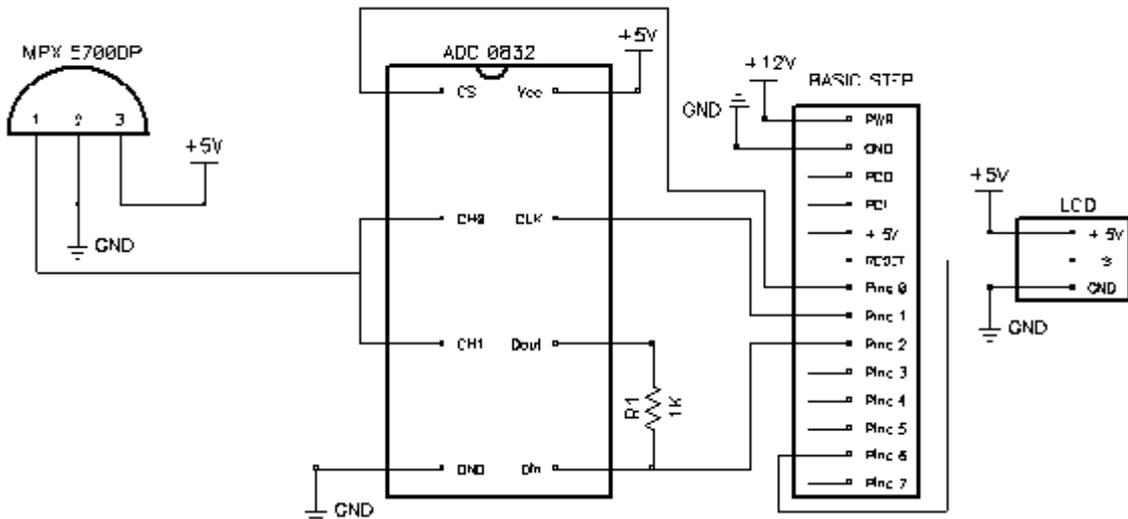


Figura 4. Diagrama da placa do circuito eletrônico

### 5 RESULTADOS

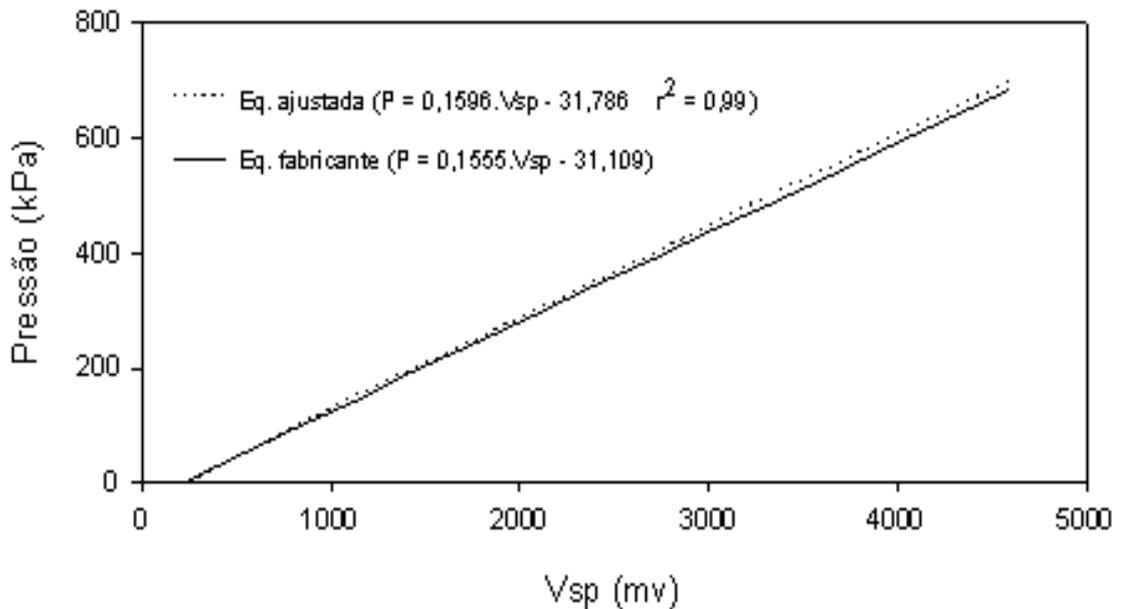


Figura 5. Representação da pressão em função da tensão ( $V_{sp}$ ).

A equação de regressão e o coeficiente de correlação entre as leituras digital (LD) e a pressão (P), são apresentados na Figura 5. Verifica-se a perfeita correlação entre as leituras digitais de pressão e as do medidor de pressão, com valor de  $R^2 = 0,9$ , sugerindo que o sensor de pressão, associado ao periférico construído e ao programa desenvolvido, pode ser utilizado para representar a medida de pressão, fato comprovado pela alta correlação das leituras

digitais quando comparadas com as pressões obtidas no manômetro de peso morto, considerado método padrão e de aferição para medidas de pressão. Comparando-se a equação ajustada com a fornecida pelo fabricante na Figura 5, observa-se um maior tendência de erro para os maiores valores de pressões. O erro máximo ocorre para a pressão de 650 kPa, com os resultados variando até em 6,1 %. O erro mínimo foi de 2,06 % e verificado para a pressão de 100 kPa, sendo que este valor foi o único abaixo do erro máximo indicado pelo fabricante. O erro médio, para toda a faixa de pressão avaliada, foi de 3,1 %. Com base nestes resultados, pode-se sugerir que todos os equipamentos a serem desenvolvidos com o mesmo sensor de pressão utilizado neste trabalho devam ser previamente calibrados, a fim de obter maior exatidão nas leituras.

## 6 CONCLUSÕES

- Houve uma variação considerável nas leituras de pressão do manômetro construído em relação ao fornecido pelo fabricante, principalmente para as pressões maiores, justificando a calibração quando se usa o mesmo transdutor de pressão empregado neste trabalho.
- É possível construir um medidor de pressão com leituras digitais microprocessados, simples e de baixo custo, controlada por programas elaborados mediante linguagens de alto nível.
- Os equipamentos utilizados podem substituir sem prejuízos modelos de custo elevado e de difícil manutenção.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, N.C. Como funcionam os conversores A/D. **Saber Eletrônica**, São Paulo, n. 282, p.68-75, 1996.

GOMIDE, R. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: FARIA, M.A. et al. **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.133-238.

MOTOROLA. Integrated silicon pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. Disponível em: <http://www.motorola.com/pressuresensors>>. Acesso em: 10 Jun 2003.

NATIONAL SEMICONDUCTOR CO. Integrated silicon pressure sensor, on-chip signal conditioned temperature compensated and calibrated. Disponível em: <http://www.Nacional.com/pressuresensor>>. Acesso em: 10 July 2001.

NATIONAL SEMICONDUCTOR CO. ADC0831/ADC0832/ADC0834/ADC0838 8-bit serial I/O A/D converters with multiplexer options. Disponível em <http://www.national.com/pressuresensors>>. Acesso em: 22 Jan. 2002.

NORTON, H.N. **Handbook of transducers**. New Jersey: Prentice-Hall, 1989. 554p.

VILELA, E.D.D. Programação delphi para eletrônica. **Saber eletrônica**, São Paulo, n.320, p.4-11, 1999.

VILELA, L.A.A. et al. Sistema para aquisição de dados de pressão e vazão usando o microcomputador. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, Ponta Grossa, v.1, n.2, p.25-30, 2001.

VILELA, L. A. A. **Metodologia para dimensionamento de um sistema de pulverização acoplável a pivô central**. 2002. 127f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ZOERB, G.C. Pressure and vacuum. In: HENRY, Z.A. et al. **Instrumentation and measurement for environmental sciences**. St. Joseph: ASAE, 1991. p.1-18.