

# Aquisição de Dados e Aplicações Simples Usando a Porta Paralela do Micro PC

*(Data acquisition and applications employing the parallel port of a PC)*

D. F. de Sousa, J. Sartori, M. J. V. Bell e L. A. O. Nunes

*Departamento de Física e Informática,*

*Instituto de Física de São Carlos*

*Caixa Postal 369, 13560-970, São Carlos, S.P., Brasil*

*E-mail: dione@ifqsc.sc.usp.br*

Recebido 3 de novembro, 1997

This work reports on the use of the parallel printer port of a PC that can be used for data acquisition of experiments in under-graduate physics (or chemistry). A homemade card connected to the parallel printer port of a PC acts as a digitizer employing an 8-bit analog-digital converter (ADC) with eight multiplexed inputs. This card has multiple uses and can be used either as a  $(x, y)$  [or  $(x, t)$ ] recorder or as a digital oscilloscope.

Apresentamos neste trabalho uma maneira de transformar a porta paralela de um micro PC em um digitalizador de baixo custo para a aquisição de dados em experimentos de física (ou química). Através de uma interface de fácil montagem, a porta paralela de um micro PC passa a atuar como um digitalizador de até oito canais. Este pode ser utilizado como um registrador  $(x, y)$  [ou  $(x, t)$ ] ou até mesmo como um osciloscópio digital.

## Introdução

O fato de que os microcomputadores atuais processam apenas sinais sob a forma digital, constitui um dos maiores empecilhos quanto à aquisição de dados através da utilização de um microcomputador, pois a maioria dos transdutores como termopares, cristais piezoelétricos, LDR's e potenciômetros, por exemplo, os quais são elementos que atuam como sensores de temperatura, pressão, intensidade luminosa e de posição espacial, respectivamente, atuam de forma analógica. Para que a informação advinda de um destes elementos seja processada pelo microcomputador, é necessário que seja feita a transformação do sinal da forma analógica para a forma digital.

Neste sentido, não raras são as propostas para a utilização de interfaces (em comunicação paralela) dedicadas ao controle de processos e aquisição de dados. [1-3] Não raras, também, são as opções no mercado atual de interfaces dedicadas ao propósito de aquisição e controle de processos (placas do tipo, IEEE Bus, e GPIB, etc.). Nem sempre, no entanto, justifica-se o em-

prego destas interfaces sob os aspectos tanto econômico quanto prático.

Tendo em vista a utilização de microcomputadores em experimentos de física e de química em laboratórios de ensino, insere-se o presente trabalho. Utilizando-se de um circuito eletrônico simples, a porta paralela de um microcomputador (usualmente empregada para comunicação com as impressoras) transforma-se num digitalizador de sinais provenientes dos mais diversos tipos de transdutores. Por meio da interface proposta, os sinais analógicos (entre 0 e 5 Volts) são convertidos em "palavras" digitais de 8-bits, tornando possível, deste modo, a aquisição de sinais de uma maneira simples e conveniente. Como exemplo de aplicação da interface proposta neste trabalho, descrevemos experimentos simples tais como: Curva característica de Tensão e Corrente em dispositivos, e o estudo do Coeficiente de Amortecimento no movimento oscilatório.

## Interface de Conversão

A conversão de sinais analógicos em seus correspondentes digitais é caracterizada pela velocidade e pre-

cisão com que estas equivalências são estabelecidas. Para tal, existem técnicas e algoritmos de conversão bem conhecidos.[4] Como exemplo, podemos citar a conversão de sinais sob a forma de escada, a integração de dupla rampa e a conversão em aproximações sucessivas. A técnica de aproximações sucessivas apresenta a vantagem de poder operar com grande rapidez, uma vez que uma sucessão de tensões ponderadas é comparada com o sinal de entrada. Cada nível de tensão sucessivo é armazenado sempre que menor que o sinal de entrada, ou rejeitado quando maior. O processo é repetido dígito por dígito até que a precisão desejada seja obtida. A velocidade do processo de conversão por aproximações sucessivas é limitada apenas pelos retardos de propagação nos circuitos, sendo o conversor capaz de executar milhares de conversões por segundo.

O conversor analógico-digital utilizado no presente trabalho foi o ADC0808 desenvolvido com tecnologia CMOS<sup>1</sup>, pela National Semiconductor.[5] Este conversor está baseado na técnica de conversão em aproximações sucessivas com resolução de 8-bits e tempo médio de conversão de 100 $\mu$ s. Dispõe ainda, de oito entradas multiplexadas (CANALS). Estas entradas podem ser acessadas individualmente através de 3-bits de endereçamento (A0, A1 e A2). Para que a conversão tenha início, necessitamos enviar um sinal de partida (start), e uma vez terminado o processo de conversão, o circuito (ADC0808) envia um sinal de fim de conversão (end-of- conversion). Após este sinal, o correspondente valor digital referente à entrada analógica selecionada estará disponível nos 8-bits de saída (D0-D7).

O ADC0808 necessita ainda de uma base de tempo externa (clock), uma tensão de alimentação de 5 Volts (VCC) e uma tensão de referência (REF+5V). Na Figura 1 mostramos o diagrama elétrico do módulo conversor e sua conexão à porta de comunicação paralela do microcomputador. Podemos obter o clock externo através da utilização de três portas de um chip 7404 (NO) conectadas sob a configuração de um oscilador monoestável com frequência de aproximadamente 640 kHz. Para simplificarmos ainda mais o software de controle, conectamos outras duas portas do 7404 aos pinos 25 (A0) e 23 (A2) do ADC0808. A última porta do 7404 foi conectada ao pino 6 (start), que se encarrega do recebimento do sinal de início de conversão. A utilização das referidas portas inversoras levou em conta o fato de que alguns bits da Porta Paralela do microcomputa-

dor possuem lógica negativa. [1] A fim de proporcionar mais corrente ao sinal, o acoplamento entre os dois dispositivos (conversor-micro), é feito através de dois chips 7407.

É importante salientar que estamos empregando a Porta paralela para gerar as palavras de controle necessárias para o funcionamento do conversor AD e também para o recebimento de dados provenientes do mesmo. Em alguns microcomputadores, no entanto, este fluxo de dados bidirecional precisa ser ativado por meio de um *jump* existente na placa de Porta paralela do microcomputador ou em alguns casos (micros IBM, por exemplo) a configuração deste modo de operação deve ser feita através da BIOS do microcomputador. As informações necessárias para configurar a Porta Paralela de cada micro em particular, são obtidas através do manual do fabricante da placa. Em nosso projeto, utilizamos a placa MULTI I/O PLUS IDE HM83741.

### Controle do Conversor

Os sinais de controle necessários para o funcionamento do conversor e a coleta de dados advinda do mesmo são realizadas via software. No presente caso, a linguagem empregada foi o *Q-Basic*. No entanto, outras linguagens podem ser utilizadas, como por exemplo, Turbo Pascal, Turbo C, linguagem de máquina, etc. Em *Q-Basic* a estrutura básica do software de controle e coleta de dados possui a seguinte forma:

```
CLS:
SCREEN 12: COLOR 7
PortaA= &H27A: Porta8= &H278: Porta9= &H279 '(LPT1)
PRINT "ENTRE COM O NÚMERO DO CANAL"
INPUT CANAL
CLS
Z = 2*CANAL 'Ver detalhes no texto

Início:
OUT PortaA, Z 'Seleção da entrada analógica
OUT PortaA, Z+1 'Geração do sinal de início de conversão (subida)
OUT PortaA, Z 'Geração do sinal de início de conversão (descida)

Teste:
t=8 And Inp (Porta9) 'Leitura do sinal de fim de conversão
IF t<>8 Then goto Teste 'Teste de fim de conversão
X=Inp (Porta8) 'Leitura do sinal digital
PRINT USING "###.###"; X*5/255 'Transforma o n° digital em tensão com
precisão de 1/28
GOTO Início
```

Através das variáveis PortaA, Porta8 e Porta9 definimos inicialmente os endereços da porta paralela. Se seu computador estiver usando a saída LPT2, os endereços são: PortaA= &H37A, Porta8= &H378 e Porta9= &H379.

<sup>1</sup> CMOS, da língua inglesa, (*Conducting Metal-Oxide Semiconductor*.)

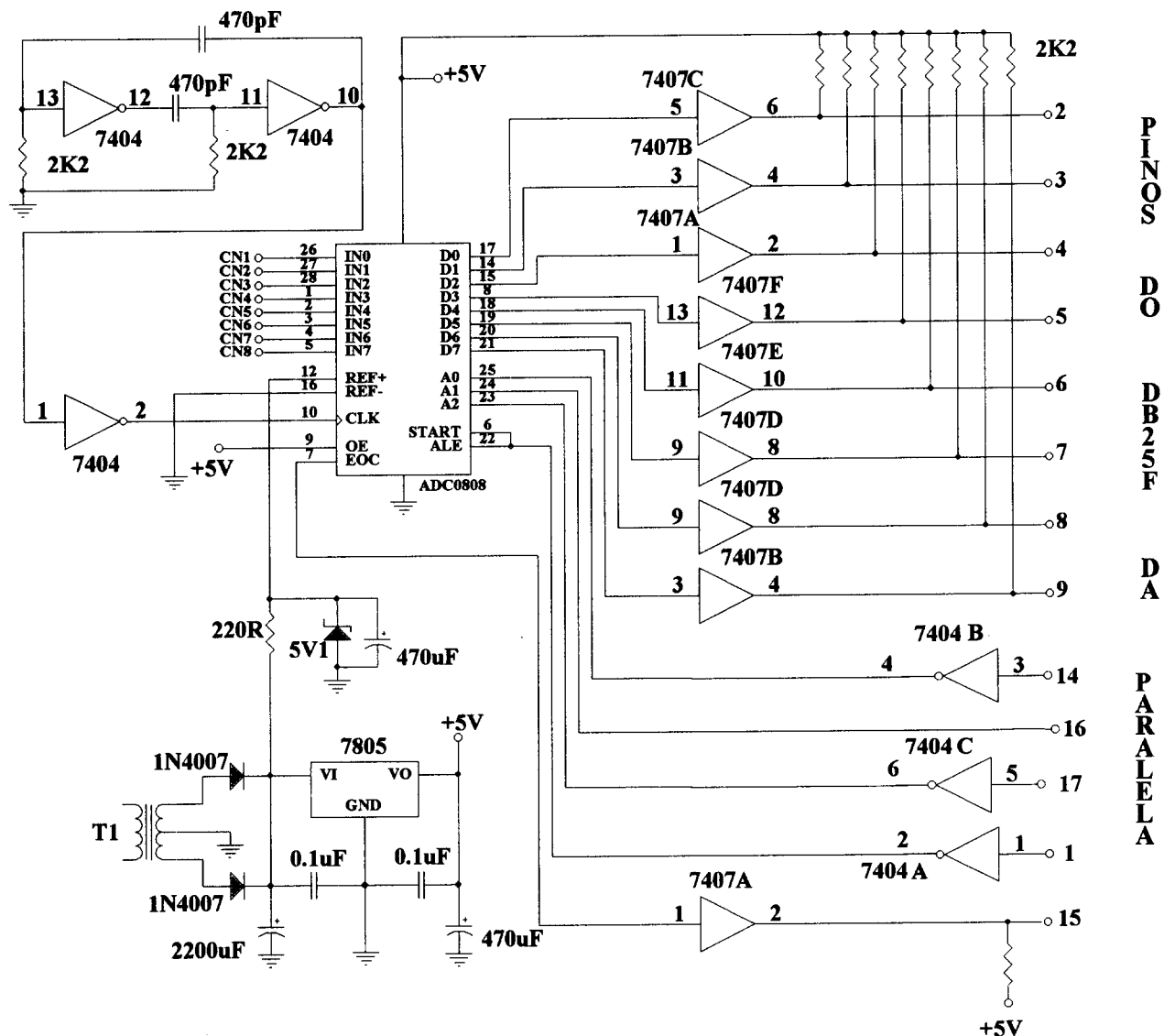


Figura 1. Diagrama elétrico do módulo conversor.

O próximo passo é definir-mos a variável CANAL (INPUT CANAL). Os códigos responsáveis pela seleção da entrada analógica e pelo sinal de início de conversão (start), são gerados através das três instruções “OUT” subsequentes: a primeira, seleciona a entrada analógica desejada e as outras duas geram o sinal de início de conversão. A expressão  $Z = 2 * \text{CANAL}$  é usada para simplificar a obtenção dos sinais de controle. Após o sinal de início de conversão o programa entra em um *loop* de leitura e teste, para detectar o sinal de fim de conversão, isto é realizado pela instrução “IF”. Quando o sinal de fim de conversão for reconhecido, o microcomputador ira coletar através da instrução INP( Porta8), o equivalente digital referente à tensão aplicada na entrada do

canal selecionado. Após isto o mesmo será transformado para Volts através da instrução subsequente.

### Aplicações

A interface descrita neste trabalho é de propósito geral e tem inúmeras possibilidades de utilização. Iremos expor em detalhes duas experiências comuns em laboratório de ensino de física, as quais podem ser enriquecidas através da utilização de nossa interface.

### Lei de Ohm

A primeira delas refere-se à verificação e análise da Lei de Ohm.[6] Sabemos que a corrente que flui num cir-

cuito elétrico é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à resistência oferecida pelos elementos do circuito à passagem da corrente ( $I = V / R$ ). A unidade de resistência elétrica no SI é o  $\Omega$  (Ohm). A resistência num fio é dada por  $R = \rho \ell / A$ , onde  $\ell$  é o comprimento do fio,  $A$  é a área de sua seção transversal e  $\rho$  é a resistividade característica do material. Os metais e sua ligas têm resistividades baixas (da ordem de  $10^{-8} \Omega \cdot m$ ), o que os caracteriza como bons condutores de corrente elétrica. Ohm descobriu que para condutores metálicos à temperatura constante, a resistência dos mesmos não depende da tensão aplicada. Esta lei descreve uma propriedade particular de alguns materiais que são conhecidos como condutores lineares ou ôhmicos. Note que a expressão  $I = V / R$  continua válida mesmo para os materiais não ôhmicos.

A resistividade da maioria dos condutores metálicos aumenta com a temperatura. Numa faixa de temperatura não muito grande, a resistividade pode ser escrita na seguinte forma:

$$\rho_T = \rho_{20^\circ C} [1 + \alpha(T - 20^\circ C)], \quad (1)$$

onde  $\rho_{20^\circ C}$  é a resistividade a  $20^\circ C$  e  $\alpha$  é o coeficiente de temperatura da resistividade [6], o qual fornece a variação na resistividade de um dado material para um aumento de  $1^\circ C$  em sua temperatura  $T$ . Em particular, os valores de  $\alpha$  para a liga metálica Manganino (84% Cu, 12% Mn, 4% Ni) é de  $2 \times 10^{-6} \text{ }^\circ C^{-1}$  enquanto que para o Tungstênio (W) é de  $4.5 \times 10^{-3} \text{ }^\circ C^{-1}$ .

A relação entre a corrente  $I$  e a tensão  $V$  num elemento de circuito pode ser representada num gráfico  $V \times I$ . Segundo a Lei de Ohm, a resistividade de um condutor metálico a temperatura constante independe da tensão aplicada e a curva esperada deveria ser uma reta cujo coeficiente angular forneceria o valor da resistência elétrica do elemento. Vamos então fazer este experimento para dois elementos resistivos: um resistor comercial de fio e uma lâmpada de filamento. A Figura 2 mostra o diagrama do circuito a ser conectado à interface. A tensão no circuito é fornecida por duas pilhas de 1.5 V e a variação da tensão sobre o elemento em análise é obtida através do potenciômetro linear P1 (100 $\Omega$ ).

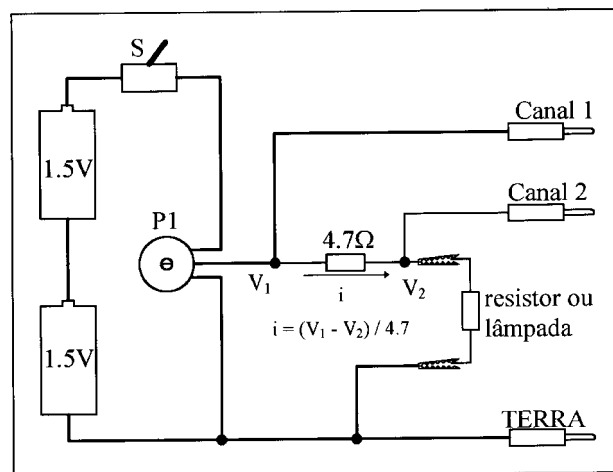


Figura 2. Circuito para verificação da Lei de Ohm a ser conectado à interface.

A interface desenvolvida mede unicamente valores de tensão, para sabermos o valor da corrente que flui no circuito medimos a queda de tensão num resistor garantidamente ôhmico de  $4.7 \Omega$ . A corrente no circuito é então dada pela expressão  $(V_1 - V_2) / 4.7$ , onde  $V_1$  é a queda de tensão nos dois elementos e  $V_2$  é a tensão sobre o elemento de análise. Neste experimento, estamos usando os canais 1 e 2 do conversor ADC0808 para medirmos as quedas de tensão  $V_1$  e  $V_2$  respectivamente. Os resultados de  $V_2$  e  $I$  são armazenados e graficados pelo microcomputador (Veja Anexo A).

As Figuras 3(a) e 3(b), mostram o resultado para os dois elementos de circuito considerados. Note que no primeiro caso (resistor de fio) o comportamento é exatamente o esperado e, de fato,  $R$  é constante. Para a lâmpada de filamento, no entanto, vemos que o comportamento da corrente em função da tensão não é linear. Qual a seria então, a diferença existente entre estes dois elementos resistivos? a resposta está no coeficiente de temperatura da resistividade. À medida que se aumenta a tensão aplicada em um condutor, a corrente no mesmo aumenta e também sua temperatura (a menos que seja resfriado) e como consequência, a sua resistividade. Ocorre que os resistores ôhmicos são feitos de fio de Manganino que, como vimos, possui uma variação de resistividade quase que insignificante com a temperatura (da ordem de  $10^{-6} \text{ }^\circ C^{-1}$ ) enquanto que o filamento de tungstênio da lâmpada possui uma variação de cerca de 2000 vezes maior e, os efeitos de temperatura são maiores. Além disso, os dispositivos são dimensionados, de acordo com a sua finalidade. O

filamento da lâmpada tem pequenas dimensões e se encontra em um ambiente rarefeito e portanto, não dissipa energia de maneira eficiente. Isto faz com que para uma mesma potência dissipada nos mesmos a temperatura do filamento seja muito mais alta que a temperatura do fio de Manganino do resistor. Este fato torna a lâmpada um resistor não ôhmico. Note, no entanto, que no intervalo de baixas tensões a curva  $V \times I$  da lâmpada apresenta comportamento linear (figura 3b), pois neste intervalo a temperatura não variou consideravelmente.

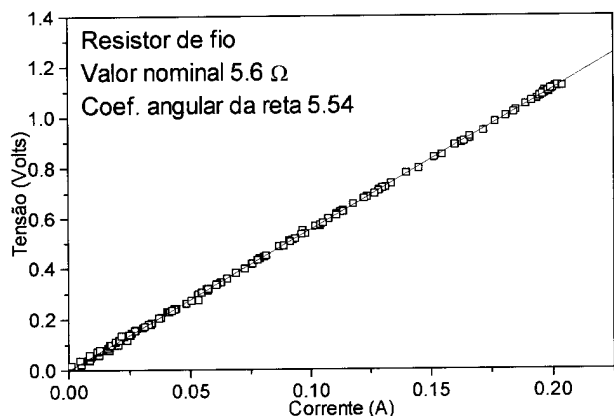


Figura 3a. Curva tensão versus corrente para uma resistência de fio de  $5.6\Omega$ .

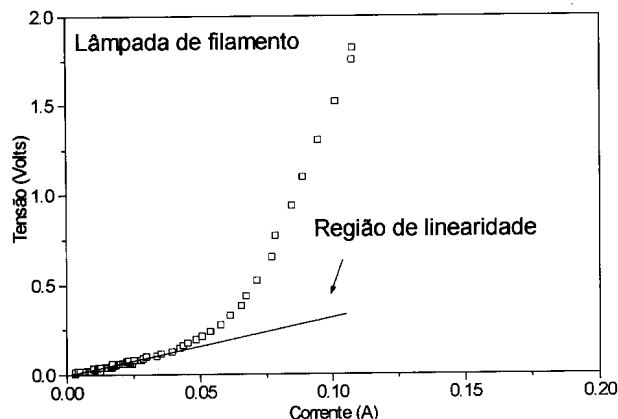


Figura 3b. Curva de Tensão versus corrente para uma lâmpada de filamento.

É importante ressaltar que outros dispositivos também podem ser analisados, por exemplo, um diodo.

### Amortecimentos em Pêndulos

A segunda experiência consiste em se analisar a amplitude de um pêndulo em função do tempo. Conforme sabemos, um tipo importante de movimento encontrado

na natureza é o movimento oscilatório ou vibracional. Uma partícula está oscilando quando executa movimentos periódicos em torno de uma posição de equilíbrio.

Quando a energia mecânica de um movimento oscilatório diminui com o tempo, este movimento é dito amortecido. A Figura 4 mostra a montagem do experimento. A haste do pêndulo está presa ao eixo de um potenciômetro linear P2 ( $1k\Omega$ ). O movimento oscilatório do pêndulo faz com que haja uma variação na resistência do potenciômetro e, conseqüentemente, uma queda de tensão sobre mesmo (VP2). Um dos canais do conversor ADC0808 lê esta queda de tensão em função do tempo, a qual é proporcional à amplitude de oscilação do pêndulo. Estas informações são armazenadas através do programa de aquisição e, posteriormente graficadas (Veja Anexo A).

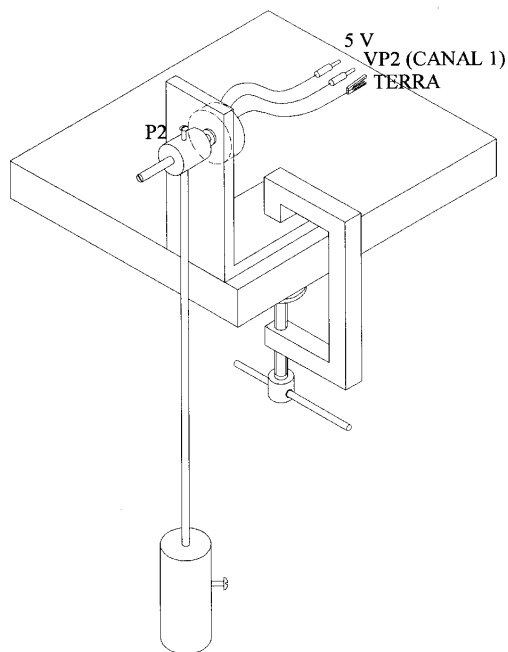


Figura 4. Montagem do experimento de pêndulo simples a ser conectado à interface. A tensão de alimentação de 5V é obtida diretamente da interface.

Existem dois tipos de atrito presentes neste experimento: o primeiro é o atrito seco entre as pistas do potenciômetro (dado por  $\mu N$ , onde  $\mu$  é o coeficiente de atrito e  $N$  é a normal às superfícies em contato) e o segundo é o atrito viscoso entre o pêndulo e o meio fluido onde ele se encontra (ar e água, no presente caso). Quando o pêndulo está imerso no ar, a contribuição do atrito seco é muito maior que a do atrito viscoso e, enquanto que quando o pêndulo está imerso na água a contribuição do atrito viscoso é predominante.

O tratamento matemático para ambas as situações é diferente e faremos uma breve descrição dos mesmos, recomendando algumas leituras para maiores detalhes [7,8].

### Oscilador com amortecimento seco ou “Coulombic Damping”

As características básicas deste tipo de atrito são bem definidas considerando-se que, num regime de baixas velocidades, o atrito é constante em módulo e com direção sempre oposta a da velocidade. Por questão de maior simplicidade matemática iremos resolver o problema de um corpo oscilando ao longo do eixo  $x$ , sujeito a uma força de atrito do tipo “seco”, porém os resultados são completamente análogos para o caso do experimento.

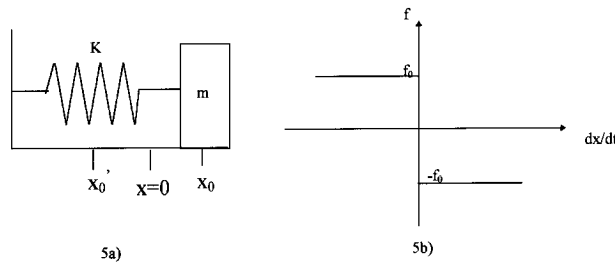


Figura 5. 5a) Corpo de massa  $m$  preso a uma mola de constante elástica  $K$ , a força de atrito entre o corpo e o solo é igual a  $f_0$  em módulo e de sentido contrário ao da velocidade do corpo. 5b) Comportamento da força de atrito em relação à velocidade do corpo em questão na figura 5a.

$$X = \left( x_0 - \frac{f_0}{m\omega_0^2} \right) \cos\omega_0 t \Leftrightarrow x = -\frac{f_0}{m\omega_0^2} + \left( x_0 - \frac{f_0}{m\omega_0^2} \right) \cos\omega_0 t \quad (5)$$

vemos da expressão acima que, num meio período ( $-1 \leq \cos\omega_0 t \leq 1$ ) a amplitude do movimento decresce de uma quantidade  $2f_0/m\omega_0^2$ . A partir da nova posição  $x'_0 = x_0 - 2f_0/m\omega_0^2$ , repetimos o mesmo procedimento anterior, agora com  $dx/dt > 0$  e vemos que num período completo a amplitude cai de  $4f_0/m\omega_0^2$ . Seguindo um raciocínio de indução finita chegamos à conclusão de que as posições dos máximos de  $x(t)$  obedecem à equação:

$$x_n(t) = \left( x_0 - \frac{4f_0 n}{m\omega_0^2} \right) \cos\omega_0 t \quad (6)$$

onde  $n$  é o índice do ponto de máximo. Substituindo

Suponha um corpo preso a uma mola, oscilando na posição horizontal (Figura 5(a)), a força de atrito pode ser representada pela curva na Figura 5(b). A força de atrito é, neste caso, descontínua e a equação de movimento para o corpo é igual a:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = f \quad (1)$$

a qual possui segundo membro descontínuo. Podemos rescrever esta equação de acordo com o sinal da velocidade da seguinte forma:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx &= -f_0 \quad (dx/dt > 0); \\ m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx &= +f_0 \quad (dx/dt < 0) \end{aligned} \quad (2)$$

Vamos considerar primeiro o caso em que a mola foi esticada até uma posição inicial  $x_0$ , estando o corpo nesta posição com velocidade  $v = 0$ . Ao ser solto, o corpo irá adquirir uma velocidade negativa até uma nova posição em que novamente  $v = 0$  ( $x'_0$ ). A equação de movimento nesta situação é:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = +f_0/m$$

fazendo-se uma mudança de variáveis  $X = (x - f_0/m\omega_0^2)$ , podemos rescrever a expressão (3) da seguinte forma.

$$\frac{d^2 X}{dt^2} + \omega_0^2 X = 0 \quad (4)$$

A solução desta equação é uma soma de senos e cossenos com as condições iniciais  $X(0) = x_0 - f_0/m\omega_0^2$  e  $dX/dt|_{t=0} = 0$ . Temos então que:

$n$  por  $t/T$  onde  $T$  é o período da oscilação temos a seguinte expressão para  $x(t)$ :

$$x_n(t) = \left( x_0 - \frac{4f_0 t}{Tm\omega_0^2} \right) \cos\omega t \quad (7)$$

o amortecimento neste caso é linear, pois a cada período a amplitude decresce de uma quantidade fixa ( $4f_0/m\omega_0^2$ ).

### Oscilador com amortecimento viscoso

A equação diferencial de movimento do oscilador

com amortecimento viscoso é dada por:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0 \tag{8}$$

onde  $kx$  é o termo da força restauradora,  $b dx/dt$  é o termo de amortecimento e  $m$  é a massa do corpo. A solução desta equação pode ser encontrada em qualquer livro de física básica e tem a forma:

$$x = Ae^{-bt/2m} \cos(\omega t + \theta) \tag{9}$$

onde  $\omega$  é a frequência do movimento dada por  $[k/m - (b/2m)^2]^{1/2}$ ,  $\theta$  é fase inicial do movimento,  $A$  é a amplitude de oscilação e  $\gamma = -b/2m$  é a constante de amortecimento.

A Figura 6 mostra o resultado de  $x(t)$  para o pêndulo oscilando em dois meios distintos: água e ar. Comparando as duas curvas podemos observar os decaimentos linear (pêndulo imerso no ar) e exponencial (pêndulo imerso na água). Note que o período das oscilações permaneceu constante, pois, no regime de pequenos deslocamentos, o período depende apenas do comprimento da haste do pêndulo segundo a expressão  $T = 2\pi(g/l)^{1/2}$ , onde  $l$  é o comprimento da haste e  $g$  a aceleração da gravidade.

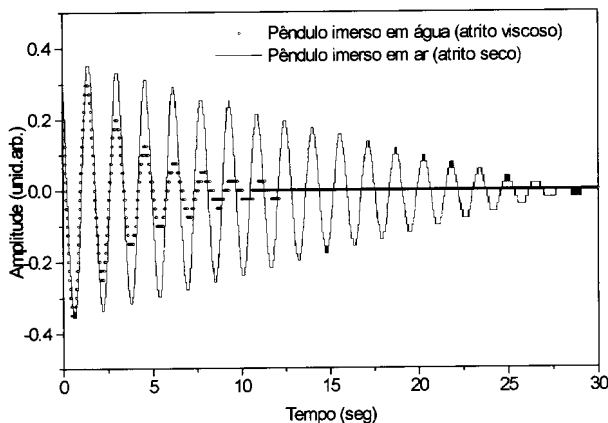


Figura 6. Gráfico de Posição versus Tempo para o pêndulo imerso em ar e em água (os valores de tensão medidos pela interface são diretamente proporcionais aos valores de posição do pêndulo). Note que o período das oscilações não mudou com a mudança do meio, isto era esperado pois no regime de pequenos ângulos o período de oscilação do pêndulo depende apenas do comprimento do mesmo.

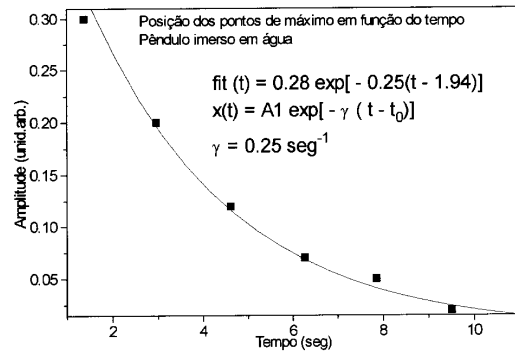


Figura 7a. Posição dos pontos de máximo em função do tempo para o pêndulo imerso em ar mostrando o decaimento linear.

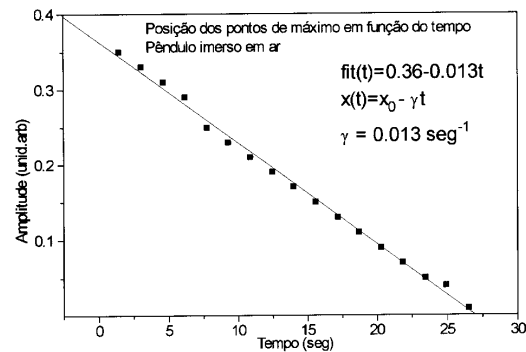


Figura 7b. Posição dos pontos de máximo em função do tempo para o pêndulo imerso em água mostrando o decaimento exponencial.

A partir das coordenadas dos pontos de máximo nas curvas mencionadas acima, podemos construir as curvas do amortecimento para cada caso. As Figuras 7(a) e 7(b) mostram as curvas de amortecimento linear para o atrito seco e de amortecimento exponencial para o atrito viscoso, respectivamente. As constantes de amortecimento podem ser facilmente derivadas do ajuste destas curvas. No caso do atrito seco a constante de amortecimento é dada pelo coeficiente angular da reta encontrada na figura 7a e seu valor foi de  $0.013 \text{ s}^{-1}$ . No caso do atrito viscoso a constante de amortecimento é dada por um ajuste exponencial (ou mesmo linear, se a mesma for graficada em um papel mono-log) da curva obtida na figura 7b, o valor encontrado para  $\gamma$  em nosso caso foi de  $0.25 \text{ s}^{-1}$ . Note que não foi observado nenhum desvio do comportamento linear quando o pêndulo esteve imerso em ar, o que nos garante que a contribuição do atrito viscoso neste caso é desprezível. Por outro lado, o amortecimento do atrito viscoso da água é aproximadamente 20 vezes maior que o amortecimento do atrito seco, o que justifica que abandonemos a contribuição do atrito seco ao tratarmos o pêndulo imerso em água.

Sugerimos que também sejam feitos experimentos com o pêndulo imerso em vários líquidos com diferentes viscosidades e sejam comparados os valores das constantes de amortecimento em cada caso como uma medida relativa da viscosidade destes meios.

### **Conclusão**

Por meio de uma interface de fácil montagem transformamos a porta paralela de microcomputadores em um digitalizador de baixo custo (R\$ 80,00). Através da mesma podemos automatizar o processo de coleta de dados em inúmeros experimentos de física, química etc.



## Anexo A

## 1 A) Rotina básica para a experiência da verificação da lei de Ohm.

CLS:

**SCREEN 12: COLOR 7****PortaA= &H27A: Porta8= &H278: Porta9= &H279 '(LPT1)****DIM I(1000), V2(1000) ' Dimensiona um vetor com 1000 pontos****Input Arq\$ ' Pede um nome de arquivo para salvar os dados****For z = 1 to 1000****Início1:****CANAL=1****Z = 2\*CANAL****OUT PortaA, Z****OUT PortaA, Z+ 1****OUT PortaA, Z****Teste1:****t=8 And Inp (Porta9)****IF t<>8 Them goto Teste1****X=Inp (Porta8)****V1=X\*5/255****CANAL=2****Z = 2\*CANAL-1****Início2:****OUT PortaA, Z****OUT PortaA, Z+ 1****OUT PortaA, Z****Teste2:****t=8 And Inp (Porta9)****IF t<>8 Them goto Teste2****Y=Inp (Porta8)****V2=Y\*5/255****I=(V2-V1)/4.7****I(z)=I****V2(z)=V2****Next z****Open Arq\$ for output as #1 'Abre arquivo para guardar os pontos adquiridos****for zz = 1 to 1000****open #1 V2(zz), I(zz)****Next zz****Close #1**

## 2 A) Rotina básica para a experiência do amortecimento com pêndulo

CLS:

```

SCREEN 12: COLOR 7
PortaA= &H27A: Porta8= &H278: Porta9= &H279 '(LPT1)
DIM P(1000), T(1000) ' Dimensiona um vetor com 1000 pontos

```

**Input Arq\$ ' Pede um nome de arquivo para salvar os dados**

**TT=Timer ' A variável TT assume o valor do "TIMER" do microcomputador**

**For z = 1 to 1000**

**Início1:**

```

CANAL=1
Z = 2*CANAL-1

```

```

OUT PortaA, Z
OUT PortaA, Z+ 1
OUT PortaA, Z

```

**Teste1:**

```

t=8 And Inp (Porta9)
IF t<>8 Them goto Teste1
X=Inp (Porta8)
P=X*5/255

```

```

P(z)=P
T(z)=Timer - TT ' A variável T assume o valor do "TIMER" atual menos o valor anterior

```

**Next z**

```

Open Arq$ for output as #1
for zz = 1 to 1000
open #1 P (zz), T(zz)
Next zz
Close #1

```

## Referências

1. D. F. de Sousa, J. Sartori, T. Catunda e L. Nunes, Rev. Bras. Ensino de Física **17**, 196 (1995).
2. Ray Wisman and Kyle Forinash, Am. J. Phys. **59**, 187 (1991).
3. A. Henríquez, P. Gil e M. Alvarez, Am. J. Phys. **62**, 568 (1994).
4. J.J. Brophy, *Eletrônica Básica* (Guanabara Dois, 1972), pp. 375.
5. *National Data Acquisition Databook*, National Semiconductor Corporation (Santa Clara, CA, 1995), pp. 2-51.
6. Veja, por exemplo, F. Sears, M. Zemansky and H. Young, *College Physics* (Addison-Wesley Pub. Co., 1985), Chap. 28.
7. L.G. Neto, "Modelos eletrônicos do atrito seco, sistemas bi-estáveis e colisões elásticas e inelásticas", Dissertação de Mestrado (IFQSC, USP, 1990).
8. R. Resnick and D. Halliday, *Física*, Vol. 2 (Ed. Livros Técnicos e Científicos S.A., 1991), Cap. 15.