

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**Jalves Sampaio Figueira**

**Atividades de Aquisição de Dados no Laboratório de Física em Cursos de Tecnologia**

Dissertação realizada sob orientação da Dra. Eliane Angela Veit e Dr. Fernando Lang da Silveira, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS, em preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre

2005

**Dedico aos meus pais, a minha esposa  
Cleonis Viater e a meu filho  
Vicente.**

## **AGRADECIMENTOS**

A todos que participaram, de alguma forma, na realização deste trabalho, em especial: à Professora Orientadora Eliane Veit, pelas inúmeras correções, incentivo e dedicação; ao Professor Co-orientador Fernando Lang da Silveira, pelas sugestões e olhar crítico; aos colegas e direção do CEFET-PR Unidade Sudoeste pela oportunidade e apoio; à família pela compreensão.

## RESUMO

No presente trabalho é proposto um conjunto de atividades de aquisição de dados para um laboratório didático de Física, no contexto de ensino tecnológico de escolas técnicas. São construídas rotinas de programação com a ferramenta *Visual Basic for Applications (VBA)*, incorporadas em planilhas Excel, sendo a aquisição de dados através da porta de *joystick* da placa de som do microcomputador. As atividades propostas envolvem especialmente experimentos no campo da mecânica, no qual são investigados o sistema massa-mola, pêndulo simples e movimento de rotação de um pião. A metodologia proposta para estas atividades é embasada na teórica construtivista de Vygotsky. O material foi aplicado e avaliado em uma oficina oferecida para alunos de cursos superiores de tecnologia (Automação Industrial e Manutenção Industrial e Sistemas de Informação) do CEFET/PR, unidade sudoeste do Paraná em 2005. O produto educacional deste trabalho consiste em um texto de apoio sobre medidas físicas e erros e sobre o uso da linguagem VBA em sistemas de aquisição de dados com a placa de som do microcomputador, e rotinas incorporadas a planilhas Excel que permitem a aquisição automática dos dados trabalhados nas atividades experimentais. No texto de apoio, também são sugeridas atividades para os alunos. As planilhas Excel (incluindo as macros VBA) constam o CD-ROM anexo a este trabalho, e estão disponibilizadas na web.

## **ABSTRACT**

In this work we propose a set of data acquisition activities for didactic Physics laboratory in the context of technical teaching in technical schools. Routines written with Visual Basic for Applications (VBA) software in Excel datasheets allow data acquisition via the joystick port of a microcomputer sound card. The proposed activities involve specially mechanics, like the spring-mass system, the single pendulum, and the rotating top. The methodology proposed to develop these activities is anchored on the Vygotsky constructivist theoretical basis. All activities were tested with a group of students at CEFET/PR, southeast Paraná branch, in 2005. The educational product of this work consists in an instructional text about physics measurements and errors, about writing macros with VBA in Excel datasheets, and the basics about data acquisition via the microcomputer sound card. The text contains also the activities suggested for the students. The Excel datasheets (including the VBA macros) are on the attached CD-ROM, as well as on the web.

## SUMÁRIO

<b>Capítulo I - Introdução</b>	<b>8</b>
<b>Capítulo II - Bases teóricas e o computador na aquisição automática de dados</b>	<b>11</b>
<b>II.1 - Bases teóricas</b>	<b>11</b>
<b>II.2 - O Computador na aquisição automática de dados</b>	<b>13</b>
<b>II.3 - Trabalhos envolvendo medidas de tempo</b>	<b>14</b>
<b>II.4 - Trabalhos com medidas de temperatura</b>	<b>17</b>
<b>II.5 - Medidas de intensidade luminosa</b>	<b>18</b>
<b>II.6 - Trabalhos envolvendo a entrada da impressora do PC</b>	<b>19</b>
<b>II.7 - Aquisição com a placa de som</b>	<b>21</b>
II.7.1 - Entrada de <i>joystick</i> da placa de som	23
<b>Capítulo III - Aquisição usando a planilha Excel</b>	<b>24</b>
<b>III.1 - Medidas de tempo</b>	<b>25</b>
<b>III.2 - Medidas de temperatura</b>	<b>26</b>
<b>III.3 - Usando sensores de intensidade luminosa</b>	<b>27</b>
<b>Capítulo IV - Atividades propostas</b>	<b>28</b>
<b>IV.1 - Módulo I: Introdução a medidas no laboratório de Física</b>	<b>28</b>
<b>IV.2 - Módulo II: Apresentando a linguagem VBA</b>	<b>30</b>
IV.2.1 - Atividades usando funções da planilha Excel	30
IV.2.2 - Atividades com a linguagem VBA no Excel	30
<b>IV.3 - Módulo III: Movimentos periódicos I</b>	<b>32</b>
IV.3.1 - Identificando um bit no byte da porta de jogos	33
IV.3.2 - Pêndulo	34
IV.3.3 - Análise do movimento de rotação de um pião	36
<b>IV.4 - Módulo IV: Movimentos periódicos II e medidas de temperatura</b>	<b>37</b>
IV.4.1 - Explorando o sensor LDR e a entrada analógica da placa de som	38
IV.4.2 - Oscilações – Sistema massa-mola	39
IV.4.3 - Medindo temperatura com termistor – NTC	40
<b>Capítulo V - Aplicação e avaliação dos resultados</b>	<b>41</b>
<b>V.1 - Primeiro dia de oficina</b>	<b>42</b>
<b>V.2 - Segundo dia de oficina</b>	<b>44</b>
<b>V.3 - Terceiro dia de oficina</b>	<b>44</b>
<b>V.4 - Quarto dia de oficina</b>	<b>48</b>
<b>V.5 - Comentários finais</b>	<b>50</b>
<b>Capítulo VI - Conclusões</b>	<b>53</b>
<b>Referências</b>	<b>55</b>
<b>Símbolos e abreviaturas</b>	<b>61</b>
<b>Apêndice</b>	<b>62</b>
<b>Apêndice-A – Textos de apoio com a planilha Excel e macros VBA</b>	<b>63</b>

<b>Apêndice-B - Artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física</b>	<b>159</b>
<b>Apêndice-C – Trabalho apresentado no XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física.</b>	<b>169</b>
<b>Apêndice-D – Trabalho apresentado no XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física</b>	<b>175</b>
<b>Apêndice-E – Questionário de Avaliação das Atividades</b>	<b>181</b>

## Capítulo I - Introdução

A proposta apresentada ao longo desta dissertação, do uso da linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*) em atividades de aquisição de dados, foi aplicada em agosto de 2005, no CEFET<sup>1</sup> - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, unidade do sudoeste do Paraná, na cidade de Pato Branco.

Os CEFETs, em número de trinta e quatro no Território Nacional, apresentam uma modalidade de ensino superior diferenciada, que são os cursos de tecnologia. Somente no Estado do Paraná são seis unidades, somando um total de 12300 alunos, 40 graduações e 12 cursos técnicos pós-médio. O projeto Pedagógico dos Centros de Tecnologia na formação dos futuros profissionais possui um diferencial em relação aos cursos superiores nas Universidades: com uma formação verticalizada e preocupada com os interesses regionais e sociais, os CEFETs possuem um ensino preferencialmente dirigido a uma determinada especialidade, aplicado e com fortes laços no contexto social regional. Desta forma, os cursos superiores de tecnologia adquirem modalidades de acordo com as características regionais, tais como: alimentos, mecatrônica, automação industrial, manutenção industrial, agrícola e química industrial. Para atender a esta especificidade, o programa curricular de Física dos Centros de Tecnologia busca um diferencial em relação aos cursos superiores regulares. Enquanto nos cursos de Engenharias e Licenciaturas o ensino de Física busca uma formação clássica, no ensino tecnológico, com grade curricular de um semestre e carga horária em torno de 3h semanais, o ensino de Física deve procurar novas atividades e práticas pedagógicas, inter-relacionando o programa de Física com as restantes disciplinas e com a atuação do futuro profissional.

Em um Centro Tecnológico, ainda mais do que na escola tradicional, requer-se que as atividades experimentais envolvam técnicas e instrumentos dos dias atuais, usados na indústria, nos consultórios médicos e reportados nos noticiários. Porém, percebe-se que as atividades no laboratório de física, raramente envolvem o uso de microcomputadores na aquisição de dados e, quando o fazem, empregam pacotes fechados, importados e não flexíveis, além de um ensino descontextualizado e com pouca interação entre as diferentes disciplinas.

Com base nesse contexto, e no crescimento de publicações na área de aquisição de dados como suporte para a realização de experimentos de Física de cunho didático -

---

<sup>1</sup> No dia 7 de Outubro foi sancionado pelo Presidente da República, Luis Inácio Lula da Silva, a transformação do CEFET-PR em UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Cavalcante et al. (2000, 2002, 2003a, 2003b), Haag (2001), Aguiar et al. (2001, 2003), Montarroyos et al. (2001, 2002), Figueira et al. (2004), Magno et al. (2004) e Mützenberg et al. (2004) – percebe-se a necessidade e o grande interesse do uso das novas tecnologias no ensino de Física. Contudo, estas publicações, na maior parte, utilizam linguagens pouco acessíveis e não disponíveis para grande parte de nossos alunos. Por outro lado, observa-se, a existência de *softwares* com fácil manipulação e uso em atividades didáticas do Ensino. Dentre as possibilidades existentes, destaca-se o ambiente de programação VBA (*Visual Basic for Applications*), que faz parte do pacote Office da Microsoft.

Este ambiente de programação permite a construção de programas computacionais que rodam em aplicativos como Access, Excel e PowerPoint, sendo possível elaborar rotinas para serem utilizadas em experimentos de aquisição automática de dados e atividades teóricas com poucas linhas de programação. Como exemplo destas rotinas podemos citar atividades experimentais que envolvem medidas de intervalo de tempo (Figueira et al., 2004), e de temperatura, resistência elétrica, intensidade luminosa (Figueira et al., 2005a) e atividades teóricas de análise e tratamento de dados (Lopes et al., 1999).

O presente trabalho apresenta uma proposta pedagógica para o uso do microcomputador em atividades didáticas no laboratório de física em que os alunos e o professor são partes ativas do processo de medida, desde a manipulação dos sensores, à construção de planilhas eletrônicas que permitem a leitura e o registro de dados, até o tratamento de dados. Pretende-se, com isso, dar-lhes condições para que, futuramente, possam construir e manipular seus próprios experimentos didáticos e, assim, construir seu próprio conhecimento.

Desse modo, parte-se da premissa que na “alfabetização tecnológica” é indispensável que o aluno tome consciência que pode estar no comando da situação, programando o que as máquinas farão, e não meramente usando recursos desenvolvidos por outros; que adquira alguma compreensão do processo de medida e de seus controles, e não meramente dos resultados produzidos.

Assim, entende-se que a inclusão de recursos de aprendizagem envolvendo novas “mídias” deve estar presente em todo o programa curricular e não ficar restrito aos cursos de informática. Especificamente, o computador é visto como uma ferramenta cognitiva que auxilia o aluno na consecução de medidas experimentais e de tratamento de dados, mantendo-o no controle da situação.

Cientes de que há pouco material nesta área, escrevemos um texto de apoio ao professor, que consta no Apêndice A desta dissertação. O texto inclui sugestão de atividades

que incluem o uso de planilhas Excel e construção de rotinas em VBA. Várias destas sugestões foram aplicadas em uma oficina extra-classe com alunos dos cursos de tecnologia em automação industrial e manutenção industrial no CEFET unidade sudoeste do Paraná. No conjunto das atividades são explorados conceitos sobre medidas físicas, algoritmos significativos e tratamento de dados. Estes conceitos são trabalhados usando resultados de medidas no laboratório, construindo rotinas em VBA, manipulando funções do aplicativo Excel e realizando experimentos de aquisição de dados no campo da mecânica, em movimentos periódicos, e na termologia para medidas de temperatura.

O presente trabalho está organizado como segue. Esta Introdução, onde é feita uma descrição do contexto do ensino técnico nos CEFETs e é apresentada a proposta de trabalho. O Capítulo II em que são apresentadas as bases teóricas em que a proposta se insere e os principais trabalhos na área de aquisição de dados dirigidos ao ensino de física e relacionados com os conteúdos de Física abordados no presente trabalho. Também alguns detalhes e aspectos relevantes sobre a aquisição de dados via a placa de som são revistos. O Capítulo III apresenta a linguagem de programação VBA inserida na planilha Excel, suas vantagens e principais técnicas para a medida de tempo, temperatura e intensidade luminosa. As atividades desenvolvidas pelos alunos e a avaliação dos resultados estão contida nos Capítulos IV e V. Os comentários finais e conclusões são apresentados no Capítulo VI. Ao final, são apresentados o texto de apoio (Apêndice A), nossas publicações na área (Apêndice B, C, D) e o questionários de avaliação (Apêndice E).

## Capítulo II - Bases teóricas e o computador na aquisição automática de dados

### II.1 - Bases teóricas

O uso do computador em atividades didáticas teve origem, principalmente, com o surgimento dos computadores pessoais. Seymour Papert (1994), professor de Matemática, foi o precursor da idéia de que deveria ser dada ao aluno a possibilidade de comandar a máquina, além de utilizá-la. Para tanto, desenvolveu a linguagem Logo, no final da década de 70. Tendo como base teórica as idéias de Piaget sobre a aprendizagem, a linguagem Logo estimulava que alunos construíssem seu conhecimento em um ambiente favorável. Ao longo desses anos, novos *softwares* e máquinas foram desenvolvidos, novas linguagens, mais simples, surgiram, mas, paradoxalmente, a idéia de que o aluno pode comandar a máquina não tem permeado a maior parte das propostas de introdução de aquisição automática de dados em atividades didáticas.

A proposta deste trabalho busca justamente inserir o computador como ferramenta pedagógica nas atividades de laboratório a partir de uma abordagem construtivista da aprendizagem. De acordo com Moreira (1999) e Moreira e Osterman (1999), “O construtivismo é uma posição filosófica cognitivista e interpretacionista”. (p.15 e p.7, respectivamente). Tal definição, dada pelos autores, deixa claro três aspectos importantes para essa abordagem de ensino, as quais serão descritas a seguir.

Primeiramente, o termo cognitivista nos remete à cognição, ou seja, ao modo como o indivíduo constrói seu conhecimento.

O termo interpretacionista prevê que o sujeito interpreta os eventos e objetos do universo, através de sua capacidade criativa de representar o mundo.

Esses dois aspectos do construtivismo vão de encontro a muitas idéias, ainda hoje presentes nos meios educacionais, que vêem o aluno como um mero receptor de informações, capaz, simplesmente, de responder aos estímulos que lhe são apresentados, sem que possa modificá-los ou interagir como os mesmos. A abordagem construtivista prevê exatamente o contrário: é impossível transferir conhecimento do meio ao indivíduo de forma intacta. Ele sempre os interpreta; tudo o que conhecemos é construído a partir de nossa própria experiência (Von Glasersfeld, 1995).

Essas idéias transformaram o construtivismo no principal marco teórico para o ensino e a aprendizagem do século XX, no entanto a passagem das idéias construtivistas para a sala

de aula nem sempre foi satisfatória, porque o construtivismo não é um método de ensino, mas sim uma postura filosófica.

Dentro desta abordagem existe um conjunto de teorias, resultado do trabalho de autores como Jean Piaget (1896-1980), Lev Vygotsky (1896-1934), George Kelly (1905-1967) e David Ausubel (1921-2001).

Em especial, optamos por embasar nossa proposta na teoria de Vygotsky (1896-1934) pelas razões que se seguem.

A teoria de Vygotsky parte da premissa de que o desenvolvimento cognitivo não ocorre independentemente do contexto social, histórico e cultural em que ele está inserido. Para ele, os processos mentais superiores (pensamento, linguagem, comportamento volitivo) têm origem em processos sociais. De acordo com Driscoll (Moreira, 1999, p. 110) “é na socialização que se dá o desenvolvimento dos processos mentais superiores”. Segundo Vygotsky (1984, p. 65) “a internalização das atividades socialmente enraizadas e historicamente desenvolvidas constitui o aspecto característico da psicologia humana”. Para ele, o processo de internalização, o qual reconstrói internamente uma operação externa, consiste em uma série de transformações (Moreira e Ostermann, 1999, p. 27).

As idéias de Vygotsky a respeito de como se dá o desenvolvimento cognitivo trouxeram importantes implicações educacionais.

De acordo com Moreira (1999, p.120), a interação social que deve caracterizar o ensino mostra o professor como o participante que já internalizou significados socialmente compartilhados e, de alguma maneira, os apresenta ao aluno, que deve, então, “devolver” ao professor o significado que captou. Nesse processo, o professor torna-se responsável por verificar se o significado que o aluno captou é o socialmente aceito. O ensino se consuma quando professor e aluno compartilham os mesmos significados.

Partindo desses pressupostos é apresentada uma proposta pedagógica que utiliza ferramentas de programação em atividades de laboratório, resgatando a participação social do aluno através de sua interação com essas tecnologias no processo ensino-aprendizagem em atividades realizadas em pequenos grupos.

A proposta pedagógica do uso de ferramentas de programação no laboratório de física está norteada também, pelas idéias de Papert (1928-1984), e oferece ao professor, entre outras, oportunidades de contextualizar o ensino de física com as transformações da sociedade e, ao aluno, planejar seus próprios experimentos e rotinas, realizando testes e previsões sobre os modelos físicos, sendo, assim, agente na construção do conhecimento através de sua interação social dentro do processo ensino-aprendizagem.

## II.2 - O Computador na aquisição automática de dados

O uso do microcomputador em atividades didáticas de laboratório na aquisição de dados não é recente. Propostas usando interfaces com conversores ADC (*Analog to digital converter*) são relatadas já com o surgimento dos microcomputadores pessoais no final da década de 70.

Tinker (1981) em *Microcomputers in the Teaching lab* publicado pela *Physics Teachers*, faz uma das primeiras análises do microcomputador como ferramenta didática aplicada às atividades de laboratório no ensino de Física. Neste trabalho, são descritas as inúmeras possibilidades de uso do microcomputador no laboratório didático como gerador de sinais e na aquisição e análise de dados. O pesquisador e professor Tinker, ligado ao grupo TERC (*Technology Center in Cambridge*), descreve que no ano de 1979 já realizava experimentos didáticos de medidas de temperatura, obtendo curvas de resfriamento para substâncias como a naftalina.

Ainda em *Microcomputers in the Teaching lab* são relatadas possíveis aplicações do uso da aquisição de dados no laboratório didático: no estudo da dinâmica rotacional, em medidas de aceleração angular e outras grandezas associadas, e também na dinâmica da partícula, com medidas de forças em tempo real, velocidade e aceleração de uma partícula.

Nessa época, utilizar o microcomputador no laboratório não era uma das tarefas mais simples. Poucos computadores possibilitavam a conexão de sensores, necessitando da instalação de conversores analógicos digitais (ADC).

O diagrama básico, Fig.1, corresponde ao conjunto de elementos necessários para um sistema de aquisição de dados nos primeiros projetos desenvolvidos com o microcomputador.



Fig. 1 - Conjunto de elementos básicos necessários para a aquisição de dados.

Somente com o padrão PC-AT e a expansão dos microcomputadores pessoais é que surgem novas propostas de trabalhos utilizando a placa da impressora e a placa de som. Com o aperfeiçoamento das novas ferramentas computacionais, novos meios e técnicas são empregados e, é precisamente neste contexto que esta dissertação se insere.

No Brasil, as primeiras propostas de aquisição de dados aparecem em trabalhos publicados na Revista de Ensino de Física, e no Caderno Catarinense de Ensino de Física, que

hoje, respectivamente, intitula-se: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), e Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF).

Foram selecionados alguns artigos sobre os tópicos da Física que são abordados no material instrucional ou nas experiências didáticas realizadas, os quais são evidenciados na seqüência.

### II.3 - Trabalhos envolvendo medidas de tempo

Experimentos para medida da aceleração são parte obrigatória em cursos introdutórios de Física. Entre esses, o experimento clássico de Galileu, que demonstra que uma bola rolando em um plano inclinado, a partir do repouso, percorre distâncias proporcionais ao quadrado do tempo gasto. A demonstração da uniformidade da aceleração para este experimento em um único lançamento de uma bolinha requer medidas acuradas de tempos em curtos espaços ao longo do plano. Os pesquisadores Crandall e Stoner (1982) descreveram, no início da década de 80, um experimento de medida da aceleração de queda em um plano inclinado utilizando fotocélulas e a linguagem Basic. No experimento citado, Crandall e Stoner utilizam ao todo um conjunto de oito fotocélulas dispostas com intervalos de 10 cm em um sulco de um plano inclinado. Oito lâmpadas dispostas acima e ao longo do plano iluminam as fotocélulas. A entrada do microcomputador - *Commodore* – utiliza sinal TTL.

O valor da aceleração, segundo os autores, é dado pela relação:

$$a = g \sin \alpha / \left[ 1 + \frac{2}{5} d^2 / (d^2 - w^2) \right], \quad (1)$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade,  $\alpha$  a inclinação do plano e  $d$  o diâmetro da bola. A bola rola em um sulco com secção semicircular  $w$ . O valor da aceleração obtida para quatro bolas de diferentes diâmetros apresenta precisão de três casas decimais. Crandall e Stoner, citam, no referido artigo, as vantagens do uso do microcomputador, principalmente em experimentos que exigem medidas com pequenos intervalos de tempo e medidas repetitivas.

Ainda no início da década de 80, Rafert et al. (1984) descrevem um conjunto de três experimentos: velocidade de pessoas caminhando, medidas de forças e queda livre em um plano inclinado. Utilizando um conjunto de oito fotocélulas e lâmpadas dispostas ao longo de uma reta, o microcomputador determina o intervalo de tempo entre as diferentes posições dos estudantes. No experimento com plano inclinado, Rafert et al. utilizam uma bola de basquete, e obtém uma precisão de  $\pm 0,5mm$  na medida da posição ao longo do plano. O ângulo tem

uma incerteza de  $\pm 0,15^0$ . O resultado obtido pelos pesquisadores para a aceleração gravitacional, com erro menor que 1% da aceleração local, é de  $979\text{ cm/s}^2$  e desvio padrão de  $5,8\text{ cm/s}^2$ .

Ao longo dos primeiros trabalhos de Rafert et al. (1984), nota-se a preocupação em mostrar as vantagens com respeito ao preço do microcomputador e à rapidez com que os dados são coletados, principalmente em experimentos que necessitam de medidas rápidas.

Mais recentemente, Aguiar e Laudares (2003) usaram a placa de som para determinar o coeficiente de restituição e a aceleração de gravidade de uma bola de pingue-pongue. Usando o microfone, o sinal dos sucessivos impactos da bola sobre a superfície é gravado e, em seguida, convertido para o formato ASCII com o programa de *shareware Awave Audio*. A análise da gravação fornece os intervalos de tempo entre as batidas da bola sobre a superfície.

Partindo da constância do coeficiente de restituição ( $\varepsilon$ ), e considerando-se a resistência do ar desprezível, a velocidade da bola no  $n$ ésimo impacto é dada pela relação  $v_n = v_0 \varepsilon^n$ , onde  $v_0$  corresponde a velocidade antes do primeiro impacto. A partir desta relação e sabendo-se que o tempo de vôo da bola ( $T_n$ ) entre os sucessivos impactos é proporcional a  $v_n$ , pela relação:

$$T_n = \frac{2v_n}{g}, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (2)$$

obtém-se o valor de  $g$ .

No experimento, Aguiar e Laudares obtém para a aceleração o valor de  $982 \pm 3\text{ cm/s}^2$ . O valor da aceleração no Rio de Janeiro é  $978,8\text{ cm/s}^2$ .

Saba et al. (2003) propõem um divertido experimento usando um pião construído com um clipe de papel (Clipião). Para medidas da velocidade angular ( $\omega$ ) são propostos três métodos.

O primeiro método utiliza uma câmera VHS que filma 30 quadros por segundo. A frequência de lançamento é determinada contando, a partir da gravação, o número de quadros que o dedo leva para girar o pião. Este método não possibilita determinar a velocidade de amortecimento do clipião.

O segundo método utiliza um *fotodiodo* em série com um resistor  $R$ . O conjunto *fotodiodo* e resistor  $R$  são dispostos sob o giro do clipião. Com uma luz, emitida por uma lâmpada, tem-se, à medida que o clipião gira, uma queda de voltagem no resistor  $R$  que é

medida por um osciloscópio. As imagens fornecidas pelo osciloscópio são filmadas por uma câmera digital e passadas para o computador com ajuda de do *software Movie Maker*.

No terceiro método, a queda de tensão sobre o resistor é gravada usando a entrada do gravador de som do microcomputador, e em seguida o sinal é analisado com o *software Spectrogram* (Horne, 2005).

Dos três métodos utilizados pelos autores, pode-se dizer que somente o terceiro consiste de um sistema automático de medidas de tempo com o computador. A Fig. 2 ilustra os dados obtidos pelos autores utilizando o método três de coleta automática de dados.

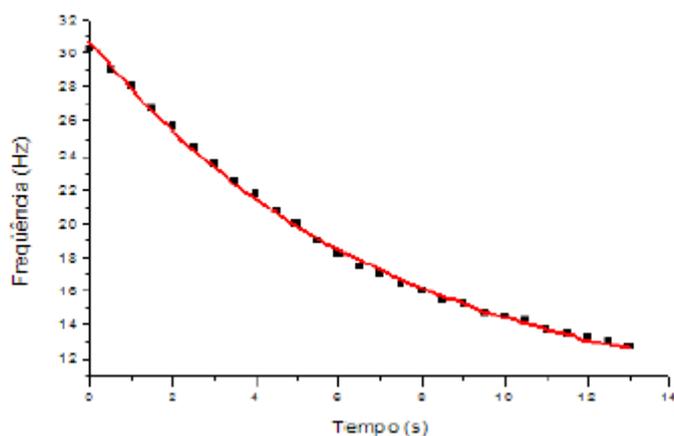


Fig. 2 - Amortecimento de um clipe obtido pelo gravador de som.

Medidas de tempo com o microcomputador usando a linguagem Logo e a entrada de *joystick* da placa de som são descritas em Aguiar et al. (2001). Nesse artigo, os autores utilizam a versão do Logo, produzida pelo núcleo de informática aplicada à educação (NIED, 2001) da Unicamp. Os comandos do *software* são em português e distribuídos gratuitamente na rede.

Como ilustração de medidas de intervalos de tempo, os autores utilizam o experimento de um pêndulo, no qual os períodos são medidos em função da amplitude de oscilação.

Um conjunto de fotodiodo e emissores de infravermelhos é ligado à entrada do *joystick* da placa de som. A Fig. 3 ilustra valores obtidos pelos autores no experimento do pêndulo.

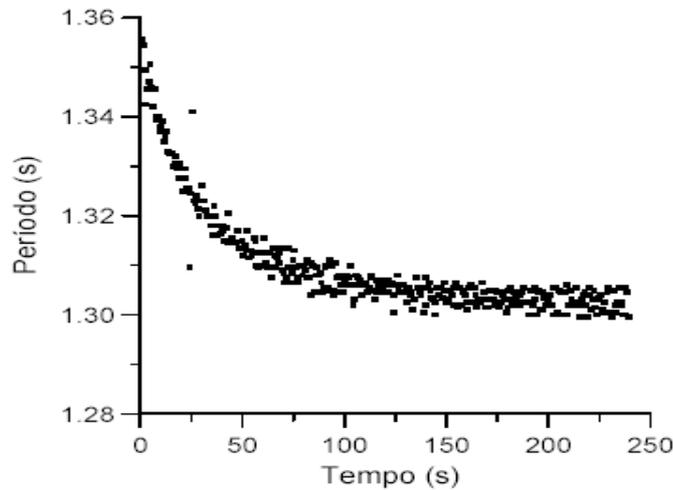


Fig. 3 - Período como função do tempo.

#### II.4 - Trabalhos com medidas de temperatura

Medidas de temperatura utilizando a porta de *joystick* são descritas, por exemplo, em *Using the Apple II as a laboratory instrument* de Jong e Layman (1984). Neste trabalho surgem as primeiras propostas do uso da porta de jogos na aquisição de dados. Com um microcomputador do tipo *Applet II*, foi possível coletar medidas de grandezas físicas analógicas como temperatura e intensidade luminosa.

A linguagem utilizada é uma versão do Basic escrita para o *Applet II*. A porta de *joystick* trabalha com resistência em torno de 100k $\Omega$ , ligada a um conector de 16 pinos. A medida do sinal de entrada é feita usando a instrução do *Basic*;  $y = PDL(x)$ , onde  $y$  é a grandeza medida diretamente proporcional à resistência e  $x$  é um valor lido pelo microcomputador entre 0 e 255.

Jong et al. (1984) utilizam um termistor do tipo *Fenwal Ga45P2* com resistência de aproximadamente 50k $\Omega$  à 250k $\Omega$ . No experimento, são utilizados dois pontos de temperatura para calibrar o termistor, cuja resistência varia exponencialmente com a temperatura. O coeficiente da curva de ajuste é dado por:

$$\beta = \left( \log \frac{Y_1}{Y_0} \right) / \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (3)$$

onde  $Y_0$  é a resistência na temperatura de referência,  $T_0$  é a temperatura de referência e  $\beta$  é o coeficiente da curva, sendo a temperatura,  $T$  em Kelvin, dada por:

$$T = 1 / \left( 1/T_0 + \frac{1}{\beta} \log \frac{Y}{Y_0} \right) \quad (4)$$

As constantes  $T_0$ ,  $Y_0$ , e  $\beta$  são valores para um particular termistor.

Haag et al. (2003) apresentam no XV SNEF uma excelente descrição das possibilidades do uso da porta de *joystick* e porta da impressora de um microcomputador em atividades de medidas de temperatura. Os autores propõem a utilização de um termistor tipo NTC conectado à entrada analógica da porta de jogos. O *software* utilizado para leitura dos dados é escrito em Visual Basic. Também é proposto o uso do sensor LM335 ligado à entrada paralela para a obtenção da curva de resfriamento de fluidos exposto a temperatura ambiente.

O *software* utilizado lê os valores da resistência e estes são salvos em arquivos texto e, posteriormente, é usada uma planilha eletrônica para leitura e interpretação dos dados.

A coleta automática de dados em experimentos da física térmica, também é desenvolvida por Sias et al. (2005), usando um sistema CBL (*Calculator Based Laboratory*). O sistema de coleta automático de dados utiliza sensores acoplados a calculadoras gráficas TEXAS, permitindo, assim, uma análise em tempo real e conexão do sistema ao microcomputador.

Dois experimentos são propostos com o sistema CBL. No primeiro experimento, usando uma seringa conectada ao sensor de medidas de pressão em gases, é investigado o comportamento da variação da pressão com a variação do volume de gases. No segundo, é proposta uma experiência com o objetivo de levar o aluno a analisar o comportamento da pressão e da temperatura de um gás mantido a volume constante. Para essa prática os autores utilizam dois sensores de medidas. Além do sensor para medida de pressão em gases, um sensor de temperatura.

## **II.5 - Medidas de intensidade luminosa**

Poucas propostas são encontradas na literatura, de atividades didáticas com sensores de intensidade luminosa. Fuller J. P. (1997), sugere alguns experimentos com a entrada analógica do *joystick*. Neste trabalho, descreve-se, entre outras sugestões, o uso da aquisição automática de dados nas medidas e análise de espectros. O autor não fornece detalhes do experimento apenas cita que uma das possibilidades é o uso de filtros utilizando fototransistores para a análise de espectros, sendo a resistência da fotocélula é determinada em função do filtro utilizado para a luz incidente.

Fotodiodos são detectores de radiação no espectro visível e infravermelho. A resposta espectral deste componente atinge o máximo em torno de 900 nm. Desta forma, é possível utilizar este componente como sensor de intensidade luminosa.

Da mesma forma, pode-se utilizar como sensor de intensidade luminosa um LDR (*Light Dependent Resistor*), que apresenta ótima sensibilidade à luz visível.

As medidas de intensidade luminosa são feitas usando a entrada analógica da placa de som (descritas na seção II.7), ou utilizando um conversor analógico digital.

## **II.6 - Trabalhos envolvendo a entrada da impressora do PC**

Uma das primeiras interfaces de comunicação entre o computador e um periférico, presente desde o surgimento dos computadores pessoais, é a porta paralela. Na entrada da porta paralela, conector de vinte cinco pinos (DB25), é possível conectar além da impressora, *scanners*, câmeras de vídeo, unidade de disco removível e uma variedade de dispositivos que surgem a todo instante no mercado.

O uso da entrada da impressora, na aquisição de dados, apresenta alguns inconvenientes. Ligada diretamente à placa mãe do microcomputador, basta um pequeno descuido para danificar o microprocessador. Outro inconveniente é que a maioria dos sensores como termopares, cristais piezelétricos, LDR's e potenciômetros, os quais atuam como sensores de temperatura, pressão, intensidade luminosa e de posição, trabalham de forma analógica. Assim, para que o sinal seja enviado para o microcomputador, pela entrada paralela há necessidade de um conversor analógico digital (ADC).

Possuindo cinco entradas de sinais TTL (*transistor-transistor logic*), tem-se, na entrada paralela, 0V para um sinal baixo e +5V para um sinal alto. Para capturar sinais do mundo externo para dentro do microcomputador, usam-se os seguintes pinos do conector DB25: *Ack* no pino 10, *Busy* no pino 11, *Paper end* no pino 12, *Select out* no pino 13 e *Error* no pino 15. A Fig.4 ilustra os pinos e suas respectivas funções na porta da impressora.

No artigo “Aquisição de Dados e Aplicações Simples, usando a Porta Paralela do Micro PC”, Souza et al. (1998) propõem dois experimentos com a entrada paralela: a obtenção da curva característica de tensão e corrente na determinação da lei de Ohm e amortecimento em pêndulos. Na proposta, os autores utilizam um conversor analógico-digital do tipo ADC0808, tecnologia CMOS com resolução de 8 bits e linguagem *Q-Basic*.

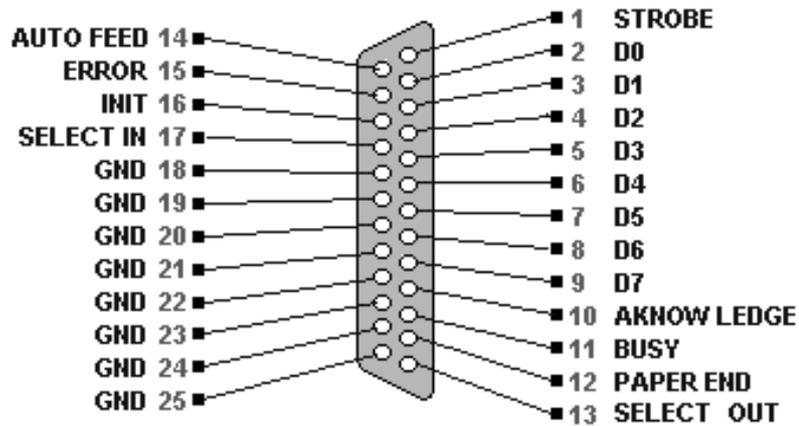


Fig. 4 - Ilustração dos pinos do conector DB25.

Para o experimento com pêndulo, um potenciômetro linear de  $1k\Omega$  é preso à haste do pêndulo, de modo que o movimento pendular produz uma variação na tensão nos terminais do potenciômetro. O conversor ADC lê esta queda de tensão, que é proporcional à amplitude de oscilação do pêndulo. Assim, é possível acompanhar as oscilações do pêndulo em função do tempo. No experimento são obtidas curvas de amortecimento para um pêndulo imerso na água e no ar. Os valores para o amortecimento na água, atrito viscoso, são superiores a 20 vezes o amortecimento do atrito seco. A Fig. 5 mostra o resultado de  $x(t)$  obtido pelos autores para o pêndulo oscilando em dois meios distintos: água e ar.

Para o experimento da lei de Ohm, a interface mede unicamente os valores de tensão de um circuito simples com o resistor de resistência conhecida,  $R$ . Assim, tem-se a corrente do circuito pela expressão  $V/R$ , sendo  $R$  a resistência do resistor em análise, e  $V$  a diferença de potencial aplicada ao resistor.

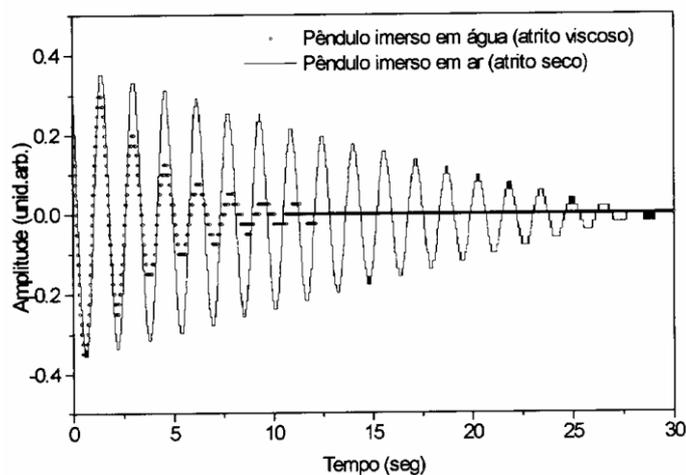


Fig. 5 - Gráfico da posição versus tempo para o pêndulo imerso em ar e em água.(Souza et al.(1998)).

Ribas et al. (1998) em “Um Sistema de Aquisição de Dados de Baixo Custo para o Laboratório Didático”, descrevem um experimento usando a válvula triodo de Franck-Hertz. O experimento citado determina em pequenos intervalos de tempo, menos de um minuto, medidas de corrente na faixa de  $10^{-9}$  a  $10^{-12}$  A e tensões de 1 a 50 Volts. O conversor analógico digital utilizado é do tipo ADC080, de 8 bits produzido pela *Texas Instruments*. O programa escrito em BASIC permite que os dados sejam armazenados em arquivo e, posteriormente, analisados por um editor gráfico. Na Fig.6 pode-se ver a curva de tensão versus corrente para a experiência de Franck-Hertz obtida pelos autores.

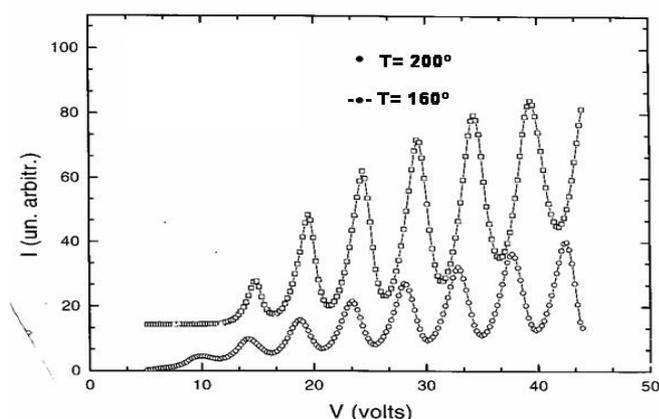


Fig. 6 - Curvas de tensão versus corrente para a experiência de Franck-Hertz (Ribas et al., 1998).

A grande maioria das propostas de aquisição de dados com a entrada paralela utiliza interfaces comerciais e importadas: Pico, Pasco e Phywe e, assim, os *softwares* são pacotes fechados ou propostas usando conversores analógicos digitais com a linguagem Q-Basic, Delphi ou Logo.

## II.7 - Aquisição com a placa de som

Os microcomputadores processam apenas sinais digitais. Mais precisamente, a linguagem dos computadores é binária. Microfones, sensores e alto-falantes trabalham com sinais analógicos, ou seja, apresentam como característica principal uma variação contínua no tempo. Assim, a placa de som, geralmente, é a única interface de comunicação analógico-digital e digital-analógico disponível na grande parte dos microcomputadores. E, considerando que a maior parte dos microcomputadores já possui a placa de som, isto torna o microcomputador um instrumento útil às atividades didáticas de laboratório.

No ensino, mais especificamente no uso do microcomputador como instrumento de medida, a placa de som permitiu que inúmeros experimentos didáticos, até então possíveis

somente com sistemas importados e com custo elevado, fossem realizados de forma acessível e com baixo custo comparado a sistemas comerciais.

As principais entradas disponíveis na placa de som são: entrada de *joystick*, entrada de microfone, saída de áudio e interface MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*). A Fig. 7 ilustra uma determinada placa de som e as possíveis entradas de sinais. Nesta placa temos as seguintes entradas: *Line out*, *Line in*, áudio, *joystick* e o sinal MIDI.

Dentre as diversas vantagens apresentadas pelo uso da placa de som na aquisição de dados, destacamos o baixo custo em relação às interfaces comerciais, a segurança contra riscos à placa mãe do microcomputador e a dispensa de circuitos eletrônicos externos que desempenham o papel de interface analógico-digital.

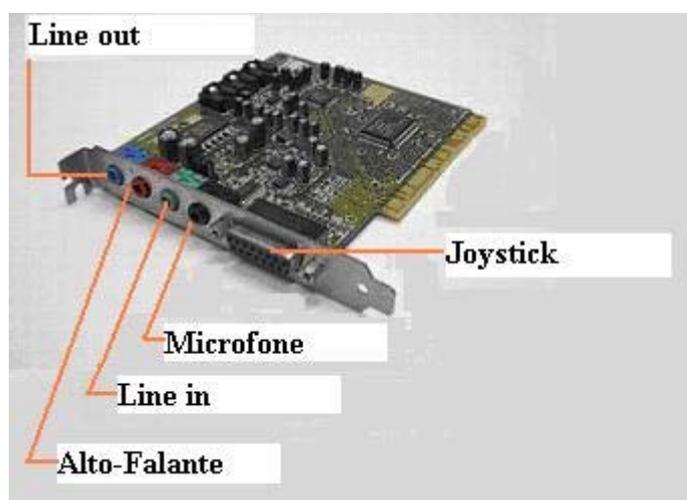


Fig. 7 - Placa de som com as entradas de áudio e *joystick*.

Dentre as inúmeras linguagens de programação usadas na aquisição de dados, destacam-se a linguagem *Basic* e *Logo* presentes nos trabalhos de Aguiar et al. (2001) e Souza et al. (1998) e *QBasic* e *C* no trabalho de Haag (2001).

Com respeito aos *softwares* empregados, o Aqdados 2.0 (Araujo 2005), apresenta características favoráveis ao ensino, pois é de fácil manuseio, é um *software* livre e possibilita até três leituras analógicas e quatro digitais da porta de jogos. O *Spectrogram* (Horne, 2005) é um *Software* analisador de espectro sonoro (o sinal pode ser captado pelo microfone) e pode ser obtido para avaliação com tempo limitado.

As interfaces comerciais produzidas pelas empresas: Pico(2005), Pasco (2005), Vernier (2005) e Phywe (2005) apresentam sistemas de aquisição sofisticados, considerados “caixas pretas”, e cujas rotinas de programação não são acessíveis ao aluno. Com exceção da empresa PICO, o qual disponibiliza determinados softwares abertos.

No presente trabalho, o único *software* que é utilizado para a aquisição de dados é a planilha Excel, com macros que escrevemos em VBA. O leitor interessado pode encontrar indicações de *softwares* úteis em Silva et al. (2005b).

A proposta deste projeto procura, dentro da perspectivas construtivistas, propiciar ao aluno um ambiente de aprendizagem usando sistemas de aquisição de dados com a linguagem VBA.

### II.7.1 - Entrada de *joystick* da placa de som

A entrada de jogos ou de *joystick* utiliza um conector do tipo DB15, com interface para dois *joysticks*. A Fig. 8 detalha a numeração dos pinos deste conector, assim como indica a função de cada um dos pinos e a tensão (terra ou 5V) fornecida pela porta de jogos. A grande parte dos *joysticks* trabalha com dois botões e dois potenciômetros cujas resistências variam de 0 k $\Omega$  até 150k $\Omega$ .

A CPU do microcomputador escreve e lê palavras de 8 bits no endereço I/O 201h, sendo destes quatro bits para as entradas analógicas e quatro para as digitais.

Os *joysticks* usuais possuem dois botões (A e B) correspondentes às entradas digitais, e dois potenciômetros (X e Y), às analógicas. É possível enviar informação para o microcomputador pressionando (liberando) os botões e/ou variando as resistências dos potenciômetros. Ao movimentar o braço do *joystick* para esquerda-direita (eixo X) variamos a resistência de um dos potenciômetros. De maneira análoga, ao movimentar para frente-trás (eixo Y) mudamos a resistência de um outro potenciômetro.

Nas atividades e experimentos de medidas de intervalo de tempo deste trabalho, são usados sensores conectados à entrada digital, e nas medidas de temperatura e intensidade luminosa às entradas analógicas.

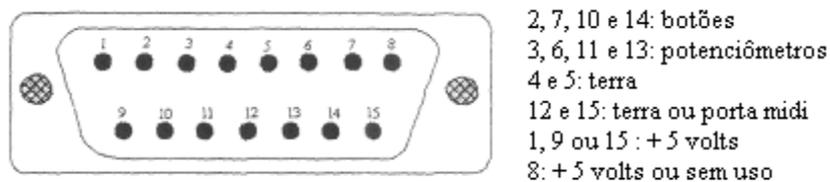


Fig. 8 - Numeração dos diversos pinos do soquete onde é conectado o *joystick*.

### Capítulo III - Aquisição usando a planilha Excel

A proposta apresentada nesta dissertação envolve medidas de tempo via entrada digital e medidas de intensidade luminosa e temperatura, usando a entrada analógica da porta de jogos. A aquisição e análise de dados são feitas com uma planilha Excel. Nossa motivação para o uso de planilhas eletrônicas se deve aos seguintes fatos (Figueira et al. 2004):

- são altamente ajustáveis às necessidades em vários campos de atividade, assim como na vida doméstica;

- permitem cálculos numéricos sem conhecimento de qualquer linguagem de programação ou metáfora simbólica;

- cálculos com planilhas costumam ser inteligíveis e apreciados por professores de ensino médio, enquanto programas escritos em linguagem de programação não têm a mesma receptividade;

- planilhas eletrônicas propiciam a construção de gráficos.

A planilha Excel é acompanhada por um interpretador e editor da linguagem Visual Basic (VBA), que permite a construção de macros (seqüência de comandos e funções armazenadas em um módulo do Visual Basic) para execução de uma tarefa. Assim, temos a possibilidade de executar em uma única planilha a coleta e interpretação dos dados ganhando, com isso, em tempo e flexibilidade de uso. Programas comerciais para aquisição de dados Pasco e Phywe, não permitem o acesso às rotinas, de modo que não há flexibilidade no uso destes pacotes.

Em publicação recente (Figueira et al. 2004), reproduzida no Apêndice B, ilustramos as facilidades e vantagens do uso de macros em sistemas de aquisição de dados.

Ao contrário de outras linguagens de programação, como o Basic e LOGO, o Visual Basic não dispõe de um comando específico para acessar as portas de entrada do microcomputador. Há duas alternativas: i) acessar a biblioteca do Windows chamada API (*Application Programming Interface*), que contém arquivos específicos com funções de acesso aos endereços da porta de jogos, ou ii) utilizar arquivos de uma biblioteca de links dinâmicos, do tipo DLL<sup>2</sup>, que contém funções específicas para a leitura e registro dos valores das entradas. Optamos por esta alternativa, usando o arquivo `inpout32.dll` (Axelson's, 2005), que apresenta a possibilidade de leitura, através da função `inp32`, e de escrita, com `out32`.

---

<sup>2</sup> Arquivos do tipo DLL (*dynamic link library*) contém uma coleção de comandos e dados que podem ser compartilhados por diferentes programas de uma mesma plataforma. Programas executáveis carregam os arquivos DLL enquanto rodam.

### III.1 - Medidas de tempo

O computador usa o sistema binário, constituído pelos dígitos 1 (um) e 0 (zero). O conjunto de entradas digitais e analógicas forma uma “palavra” ou um byte. Ao ler a entrada da porta de jogos, o computador recebe um byte de informação, que corresponde a oito bits: um bit para cada um dos quatro botões e para cada uma das quatro entradas analógicas, conforme esquematizado na Fig. 9. Os bits de 0 a 3, da direita para esquerda, informam os estados dos potenciômetros; os de número 4 a 7 informam os estados dos botões.

Ao ser pressionado um botão, o potencial na linha de saída torna-se 0 V, colocando o bit correspondente no valor “0”. Quando o botão é solto, o potencial na linha retorna para seu valor original (5 V) e o valor do bit passa a ser “1”. Para se coletar informação via entrada digital, é necessário um sistema que altere o valor do bit de “0” para “1”, ou vice-versa, quando determinado evento ocorrer.

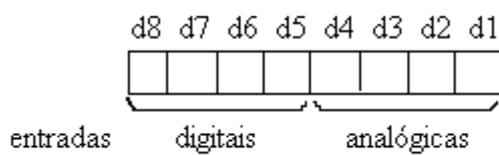


Fig. 9 - Posição dos *bits* no *byte*.

Para medidas de intervalos de tempo, um sistema apropriado foi construído com um emissor e um receptor de infravermelho. Quando não há obstáculo que impeça a passagem do feixe entre o emissor e o receptor, o sistema permanece em “0”; se houver bloqueio do sinal luminoso, o receptor passa para o “1”. Com a planilha Excel, utilizada neste trabalho, pode-se registrar se o sistema está no estado alto ou baixo em função do tempo e, então, determinar o tempo de bloqueio.

Para a detecção do tempo de duração de um evento, utilizamos um diodo emissor de infravermelho (LED), alimentado pelo microcomputador (pinos 1, 8 ou 9 do conector DB15 macho) e, como receptor, um fototransistor. O conjunto emissor e receptor foi montado em peças de lego – brinquedo infantil - pela facilidade de manuseio e baixo custo. Detalhes do sistema ótico montado pode ser visto na seção II.2 do Apêndice B.

Foram desenvolvidas duas atividades com medidas de intervalo de tempo: medidas do período de um pêndulo<sup>3</sup>, em função da amplitude de oscilação, e o período do movimento de

<sup>3</sup> Detalhes sobre esta medidas encontram-se na seção II.4 do Apêndice B.

rotação de um pião. As macros desenvolvidas na linguagem VBA, *Pêndulo.xls* e *Pião.xls*, estão listadas no apêndice do texto de apoio.

### III.2 – Medidas de temperatura

Nas medidas de temperatura, usa-se um sensor cujo valor da resistência dependa da temperatura. Um dos componentes indicado é um termistor, tipo NTC (do inglês: *Negative Temperature Coefficient*). Este deve estar ligado à entrada analógica da porta de jogos.

Vejamos a análise da entrada analógica, a partir do exame do circuito elétrico da Fig. 10.

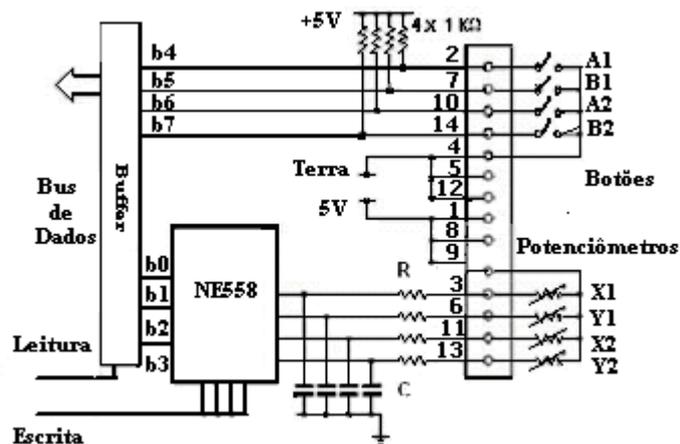


Fig. 10 - Esquema da porta de jogos.

O funcionamento da entrada analógica é um pouco mais complicado que das entradas digitais. Os valores dos bits de 0 a 3 são determinados com auxílio de um circuito integrado NE558. Este circuito mantém o nível lógico alto (1), até que se escreva algo no endereço da porta. Nesse instante, os capacitores são descarregados e o circuito coloca os bits no valor baixo (0). Em seguida, inicia-se a carga dos capacitores através dos potenciômetros, e o bit é mantido no valor “1” até que a tensão no capacitor atinja cerca de 3,3 V. Assim, por meio de *software* é possível determinar o tempo em que o sinal permanece baixo (0), este depende do valor do potenciômetro (Eq. 5).

Em outras palavras, deve-se primeiro enviar um dado à porta (endereço 201h). Em seguida efetuar a leitura dessa porta, determinando o tempo em que o nível lógico permanece baixo (0). Este tempo é função direta do valor da resistência conectada à entrada que está sendo monitorada. O valor da resistência é determinado conhecendo-se as constantes  $\alpha$  e  $\beta$  da relação:

$$R = \alpha(\Delta T) + \beta \quad (5)$$

Para medidas de temperatura foi desenvolvida a macro NTC.xls, disponível no apêndice do material de apoio (Apêndice A). Esta tem a função de ler a resistência do termistor, tipo NTC, ligado à entrada analógica da porta de jogos.

No texto de apoio são descritas duas atividades com sensor de temperatura. Uma exploratória, em que o aluno procura identificar as propriedades deste componente em função do acréscimo da temperatura, e outra em que o aluno procura determinar os coeficientes de ajuste da curva do NTC.

### **III.3 - Usando sensores de intensidade luminosa**

Nas medidas com sensores de luz, o indicado é utilizar um semicondutor que apresente uma variação da resistência com a intensidade luminosa. O componente utilizado em nosso material de apoio (Apêndice A) é um LDR (*Light Dependent Resistor*). Este componente apresenta uma variação linear da resistência em função da intensidade luminosa aplicada, e não apresenta polaridade. Não oferecendo dificuldades na ligação à entrada de sinais.

De modo semelhante ao descrito na seção III.2, o sensor é conectado a uma das entradas analógicas da entrada de *joystick*. Uma rotina construída com macros do Excel lê o valor da resistência desse componente.

Nas atividades propostas, capítulo IV do texto de apoio, foi explorado o uso do sensor LDR em experimentos com sistema massa-mola. Detalhes da rotina de programação em VBA encontram-se disponível no apêndice do texto de apoio.

## **Capítulo IV - Atividades propostas**

O conjunto de atividades sugeridas para os alunos está organizado em quatro módulos apoiados por textos, contendo os seguintes tópicos:

- Módulo I: *Tópicos sobre medidas físicas e técnicas de tratamentos de dados, Algarismos significativos, precisão, média, erros de uma medida e desvio padrão.* Apresentam-se quatro atividades experimentais, baseadas em medidas do período de um pêndulo com um cronômetro manual, medidas de diâmetros de moedas com régua e paquímetro e tempo de reação humano. Especialmente o conceito de Algarismo significativo é explorado nestas atividades.
- Módulo II: *Principais comandos do aplicativo Excel e aspectos gerais da linguagem VBA.* Neste material são explorados os principais comandos do aplicativo Excel e aspectos gerais da linguagem VBA. São sugeridas pequenas atividades com o gravador de macros e usando o editor do VBA.
- Módulo III: *Usando a entrada digital da porta de joystick no laboratório didático.* São exploradas duas atividades com o microcomputador: um experimento com pêndulo e medidas do movimento de rotação de um pião. As medidas são efetuadas com sensores ligados à entrada da porta de *joystick* da placa de som.
- Módulo IV: *Usando a entrada analógica do joystick no laboratório didático.* Neste módulo usam-se dois sensores: LDRs em medidas de posição do corpo em um sistema massa-mola e um termistor tipo NTC para medidas de temperatura.

### **IV.1 - Módulo I: Introdução a medidas no laboratório de Física**

Este módulo consta de um conjunto de quatro atividades, com a seguinte estrutura metodológica. Inicialmente o professor faz uma exposição sucinta sobre medidas físicas e técnicas de tratamentos de dados, Algarismos significativos, precisão, média, erros de uma medida e desvio padrão. Então, os experimentos são desenvolvidos no laboratório de física, devendo ser executados em pequenos grupos, com no máximo quatro alunos. No decorrer das atividades propostas, com a supervisão do professor, e com auxílio do texto de apoio, são exploradas questões relacionadas a erros, Algarismos significativos e precisão de uma medida. Para isso, os alunos utilizam um cronômetro manual, régua e paquímetro.

Ao final, um texto de apoio com atividades complementares é disponibilizado.

### **Atividades no laboratório de Física<sup>4</sup>**

As questões que seguem devem ser respondidas após a realização das atividades 1, 2, 3 e 4.

Quais os possíveis erros encontrados no conjunto de medidas?

Com quantos algarismos significativos deve-se expressar o valor da medida?

Qual o procedimento que se deve seguir no arredondamento?

Qual o valor mais provável da medida e como se deve expressar esse resultado?

Em qual situação o zero é significativo – à esquerda / à direita?

Como expressar o resultado significativo em potência de dez?

Qual é a estatística que determina a flutuação (dispersão) de cada medida em torno da média?

1 – Com um barbante de 0,70 m de comprimento e um pequeno peso, construa um pêndulo e pendure em um tripé.

Usando um cronômetro digital, determine o período, medindo o tempo de apenas uma oscilação (T).

2 – Usando réguas de diferentes procedências, determine o diâmetro de uma moeda de 25 centavos. Realize uma medida com cada régua e expresse o resultado com algarismos significativos.

3 – Usando paquímetros repita a atividade 2.

4 – Nesta atividade realizada em duplas, um aluno segura uma régua por uma extremidade, na vertical, colocando o início da escala entre os dedos indicador e polegar de seu colega. Sem avisar seu colega, a régua é solta e este deve pegá-la.

A partir da distância percorrida pela régua entre o início da queda e o instante em que é pega, determine o tempo de reação do colega. Arranje os dados dos diferentes grupos, em uma tabela .

---

<sup>4</sup> Transcrevemos ao longo deste capítulo os roteiros de laboratório entregue aos alunos.

## IV.2 - Módulo II: Apresentando a linguagem VBA

As atividades são desenvolvidas no laboratório de informática em pequenos grupos, que inicialmente exploram a planilha Excel e suas principais ferramentas e, em seguida, procedem à configuração do VBA e as principais funções na construção de macros. São sugeridas, em um primeiro contato com a planilha Excel, a utilização do gravador de macros, e posteriormente, a partir das atividades gravadas, a exploração das principais ferramentas do VBA. O texto elaborado, que consta no capítulo II do Apêndice A, é suficientemente detalhado de modo que é dispensável uma apresentação inicial do professor.

### IV.2.1 - Atividades usando funções da planilha Excel

1 – Com o Excel aberto, crie uma nova planilha para cada atividade realizada no laboratório (seção IV.1). Digite os valores e determine, para cada conjunto de atividades, as seguintes estatísticas:

a- média ( $\bar{y}$ );

b- desvio da média para cada medida ( $|y_i - \bar{y}|$ );

c- desvio padrão da média ( $S_{\bar{y}}$ ).

2 - Use a função Aleatório() e determine números aleatórios no intervalo de -2,45 a 2,45. Faça uma análise do comportamento da média dos números aleatórios gerados para diferentes valores de  $n$ .

Com ajuda de um gráfico explore o comportamento da média em função do número de medidas.

3 - Utilize a função frequência do Excel e construa um histograma para as atividades 1 e 2.

### IV.2.2 - Atividades com a linguagem VBA no Excel

4 - Com o editor do Visual Basic aberto, insira um novo módulo. Após, na janela módulo escreva uma sub-rotina para cálculo da média, use os valores da atividade anterior.

Compare a macro criada com a opção que segue.

Sub média()

```

For i = 1 To 7
y = Cells(12, i).Value
x = y + x
Next
media = x / 7
Cells(1, 1) = media
End Sub

```

Procure explorar esta macro, alterando os valores das variáveis, e acrescentando novos dados.

5 - Com o Editor do Visual Basic aberto, procure construir uma macro para determinar a média dos valores obtidos nas atividades experimentais e use o comando `Format (número,"0.00")` expressando os valores das medidas com três algarismos significativos.

6 - Semelhante à função `ARRED` do exemplo anterior, a linguagem VBA possui o comando `Format (número, "0.00")`. Com esse comando é possível converter determinada expressão para um número `x("0.00")` de casas decimais.

Com o editor do Visual Basic aberto, use o comando `Format (número,"0.00")` em uma macro expressando os valores das medidas com três algarismos significativos.

Compare a macro criada com a opção abaixo:

```

Sub Atividade8 ()
For i = 1 To 7
x = Cells (23, i)
y = Format(x, "0.00")
Cells (24, i).Value = y
Next
End Sub

```

7 - Repita a atividade anterior usando a instrução `Do loop`: Compare a macro criada com a opção abaixo

```

Sub Atividade9()
Do
i = i + 1
x = Cells (23, i)
y = Format(x, "0.00")

```

Cells (24, i).Value = y

Loop Until i = 7

End Sub

Obs: Procure explorar estas macros identificando as funções de cada linha.

8- Os períodos de movimento de rotação de um disco estão gravados no arquivo Período.xls. Construa uma macro com estes dados para determinar a velocidade angular do disco sabendo que este possui raio  $R = 3,45$  cm. Expresse o resultado incluindo apenas os algarismos significativos.

### IV.3 - Módulo III: Movimentos periódicos I

Neste módulo é apresentado ao aluno o sistema de aquisição de dados com a porta de *joystick*. São detalhadas as funções da placa de som e da entrada de *joystick* (DB15), bem como, a função dos diferentes pinos.

As medidas deste módulo são efetuadas com sensores ligados à entrada da porta de *joystick* da placa de som de um microcomputador. Para isso, usa-se linguagem VBA (*Visual Basic Application*) que acompanha a *software* Excel na aquisição automática de dados.

Inicialmente fazem-se exercícios de identificação de um *bit* na leitura de um *bite* da porta de jogos e, em seguida são exploradas duas atividades com o microcomputador em medidas de intervalo de tempo.

Os experimentos foram escolhidos de modo a explorar aquelas situações em que: i) são necessárias medidas em intervalos de tempo pequenos para serem coletadas manualmente, por exemplo, medidas de frequência em polias em experimentos de determinação do momento de inércia e medidas para o estudo da cinemática de rotação de um pião girante; ii) há necessidade de um monitoramento em tempos prolongados, como em medidas do período de um pêndulo durante o tempo de amortecimento em grandes amplitudes.

A descrição detalhada da entrada da placa de som, rotinas em VBA e principais sensores são apresentados no Apêndice A.

### IV.3.1 - Identificando um bit no byte da porta de jogos

Utiliza-se, para esta atividade, uma chave tipo *push button*, normalmente aberta (NA) (Fig. 11). A Fig. 12 ilustra a caixa de entrada (extensão do conector DB15) com duas dessas chaves ligada às entradas digitais (LED verde).



Fig. 11 - Chave liga-desliga tipo *push button*.

O experimento consiste em identificar os bits do *byte* recebido, quando a chave é pressionada em uma das quatro entradas.



Fig. 12 - Caixas de entrada com chaves *push button*.

Desta forma, com a ajuda da calculadora do windows, o aluno explora o bit recebido nas diferentes entradas.

A rotina para esta atividade tem o seguinte aspecto:

```
Sub PalavraByte()
```

```
‘Aquisição usando MACRO DO EXCEL – Identificando um bit na porta de jogos
```

```
‘jalves@pb.cefetpr.Br
```

```
x=Inpu(513)
```

```
Cells(9,2).Value = x
```

```
End Sub
```

### IV.3.2 - Pêndulo

#### Material para prática

O material desenvolvido para esta atividade experimental consta de um conjunto emissor e receptor de infravermelho, disposto em peças de lego<sup>5</sup>. A Fig. 13 ilustra a posição dos semicondutores com respectivas peças de lego.

Os sensores são conectados à entrada digital (primeira entrada), usando para isso a extensão do conector DB15. Veja Fig. 14.

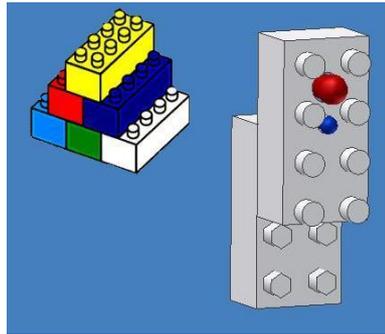


Fig. 13 - Detalhe da montagem do emissor (LED) e receptor de infravermelho (Til75) em peças de lego.



Fig. 14 - Extensão do cabo DB15.

O conjunto de materiais para esta atividade resume-se a:

- esfera de aço com diâmetro de cerca de 2cm (a esfera que usamos tem:  $d = 0,0189$  m);
- cordão;
- sensores de infravermelho e conjunto de peças de lego<sup>6</sup>;
- extensão do cabo de *joystick*;

---

<sup>5</sup> Detalhes sobre a montagem desta experiência são apresentados no Apêndice B.

<sup>6</sup> Os detalhes para a montagem destes dispositivos em sensores conectados à porta de jogos são apresentados no Apêndice B.

- tripé para fixação do pêndulo;

- macro Pêndulo.xls

### **Procedimento experimental**

Posicione o sensor e ajuste o comprimento do pêndulo (0,70 m) de modo que o centro da esfera de aço passe pelo feixe de infravermelho, Fig. 15.

Execute a macro Pêndulo.xls e coloque o pêndulo a oscilar em pequenas amplitudes. Observe o valor das medidas, na coluna dos períodos, apresentada na planilha Excel.

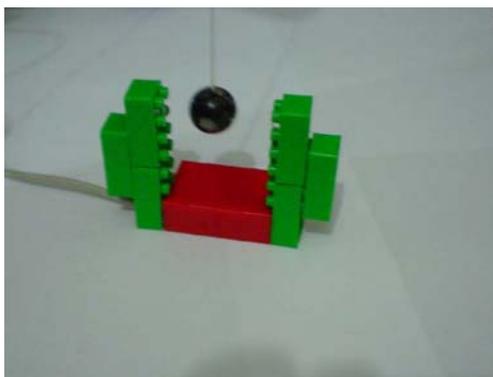


Fig. 15 - Disposição do pêndulo e conjunto de sensores.

### **Medidas do período para pequenas amplitudes**

- Procure analisar o comportamento da curva que aparece no gráfico.
- Compare o valor do período obtido neste experimento com o valor determinado na atividade realizada com o cronômetro manual do Módulo I.
- Determine a média e o desvio da média nas medidas do período.
- Discuta com o grupo os possíveis erros e cuidados que o experimento exige.
- Como se relacionam as diferentes energias envolvidas no decorrer das oscilações?
- Usando a função análise de dados do Excel, construa um histograma para os dados.

### **Medidas do período para grandes amplitudes**

Nesta prática procure abandonar o pêndulo para “amplitudes grandes” (discuta com o grupo o significado de “amplitudes grandes”). Em seguida execute a macro Pêndulo.xls e deixe o sistema oscilar por determinado tempo.

- Observe no gráfico o valor do período em função do número de oscilações.
- Faça uma análise a partir da relação teórica do período para pequenas oscilações e o critério de aproximação para o seno do ângulo.

c) Discuta com colegas a validade da equação para o período e para que intervalo de ângulo esta equação torna-se um bom modelo.

d) Afinal, o que você diria sobre a seguinte afirmativa: O período de um pêndulo é independente da amplitude.

### IV.3.3 - Análise do movimento de rotação de um pião

Nesta aplicação trabalha-se com “velocidades altas” e, portanto, não é possível uma coleta usando cronômetro manual. O objetivo da prática é determinar a velocidade de um pião e como esta varia em função do tempo de giro. No decorrer da prática, vê-se que nosso experimento não serve apenas para medidas de velocidade de um pião. Este é apenas um pretexto inicial. As possíveis aplicações são parte de um dos itens das atividades.

A montagem é apresentada na Fig. 16. O emissor (LED) e receptor (transistor) de infravermelho estão presos nas peças de lego. A superfície do pião é refletora e, estando ela à frente do sistema ótico, o feixe de infravermelho é desviado no sentido do receptor. Uma fita adesiva preta, anti-reflexiva, fixa no pião, é necessária para que o sinal na saída do fototransistor seja alternado entre “0” e “1” (e vice-versa) a cada giro do pião.

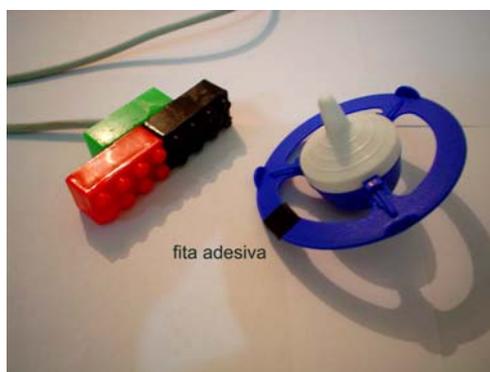


Fig. 16 - Detalhe do conjunto de lego, pião e sensores.

#### Material para prática

- rotina em VBA Pião.xls;
- conjunto de sensores e peças de lego;
- pião.

#### Questões e sugestões para estudo pelo grupo

Antes de executar o experimento é importante que se faça uma análise da macro Pião.xls. Procure:

- a) identificar os principais comandos usados, com as equações envolvidas;

- b) relacione os ramos da física que descrevem as leis do movimento de rotação de um pião;
- c) identificar as forças exercidas no pião;
- d) discutir com o grupo as semelhanças (caso existam) entre a dinâmica do movimento de um disco girante e a rotação de um pião;
- e) fazer uma análise das leis que descrevem a dinâmica do movimento de rotação de um corpo rígido;
- f) refletir com os colegas em que possíveis experimentos a macro Pião.xls poderia ser útil.

#### **IV.4 - Módulo IV: Movimentos periódicos II e medidas de temperatura**

Neste módulo é explorada a entrada analógica no estudo de um sistema massa-mola, e em medidas de temperatura. Para o experimento massa-mola foi utilizado um LDR (**Light Dependent Resistor** - resistor dependente da luz), e um termistor, tipo NTC (do inglês: *Negative Temperature Coefficient*) nas medidas de temperatura.

##### **Sensor de Luz – LDR (*Light Dependent Resistor* - resistor dependente da luz)**

Para nossos propósitos, o LDR foi disposto no interior de um tubo de uma caneta (Fig. 17), e com isso pode-se focalizar o feixe luminoso em apenas uma direção.



Fig. 17 - LDR com cabos disposto no interior de uma caneta.

Em um primeiro contato com o componente LDR, o aluno com auxílio do professor, procura explorar o componente eletrônico LDR e a linguagem VBA. A atividade é aberta, fazendo com que os grupos interajam e vejam as potencialidades da macro construída.

#### IV.4.1 - Explorando o sensor LDR e a entrada analógica da placa de som

O sensor de luz é conectado a uma das entradas analógicas (entrada B5), utilizando para isso a extensão do *joystick*. Observe o comportamento do gráfico obtido, examinando-o para diferentes valores de intensidades de luz.

A Fig. 18 ilustra a variação da resistência na entrada analógica em função da intensidade de luz aplicada ao sensor LDR. Como a resistência do LDR varia linearmente com a intensidade luminosa incidente, o gráfico representa a variação da intensidade luminosa em unidades arbitrárias. Observe o comportamento do gráfico obtido, examinando-o para diferentes valores da intensidade de luz.

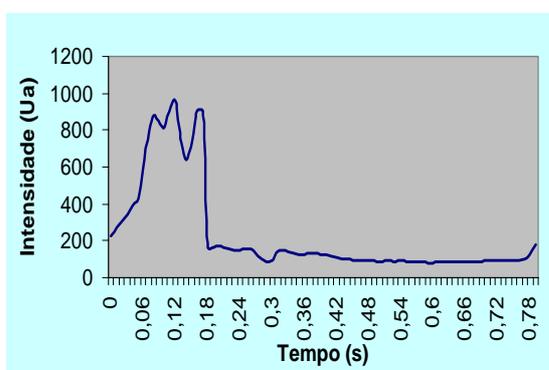


Fig. 18 - Variação da intensidade de luz em função do tempo.

A macro desenvolvida em VBA para esta atividade, com as principais linhas de comando, apresenta o seguinte aspecto:

```
Sub Medida_Analogica()  
'Macro gravada em 09.04.05 por Jalves Figueira – CEFET-Pato Branco-PR  
fim=False  
T0= timeGetTime  
D0  
DoEvents  
t1=timeGetTime  
CallPortOut(PortAddress, 4)  
10 m=m+1  
If GetPortBit(PortAddress, x) then Go To 10  
Medida = m  
t2=TimeGetTime  
T1=(t1+t2)/2  
T=t1-t0  
Cells (13+j, "B"). Value = x1  
Cells (13+j, "A"). Value = t/1000  
j=j+1  
If 160<=j then  
t0=timeGetTime  
j=0
```

```
End If
Loop
J=0
To=timeGetTime
End Sub
```

#### IV.4.2 - Oscilações – Sistema massa-mola

Nesta atividade usa-se o sensor LDR para medidas das posições de um corpo preso a uma mola. Considera-se na medida da posição, a intensidade de luz função direta da posição ocupada pelo corpo ao longo das oscilações. Esta aproximação é válida para pequenos deslocamentos do corpo.

A montagem do experimento, para esta atividade, está ilustrada na Fig.19, com a disposição do sensor, interno à caneta, e suporte para prender a mola.



Fig. 19 - Sistema massa- mola com sensor LDR

Com a planilha do Excel aberta, o aluno executa o arquivo OscHarmonico.xls e em seguida, coloca o sistema em movimento, puxando levemente a massa para baixo.

As principais questões exploradas ao longo da atividade são:

- qual é a forma do gráfico?
- qual é o valor do período para o movimento?
- explore o comportamento do período para diferentes massas;

#### Questões para discussão com o grupo

Procure examinar o comportamento do gráfico da amplitude X tempo e discuta com o grupo as seguintes questões:

- Como você determinaria a constante da mola (K) usando os valores obtidos no gráfico do Excel?
- Qual o comportamento do sistema para valores diferentes de  $m$ ? E com diferentes molas?
- O que acontece ao sistema se acrescentarmos mais molas?

#### IV.4.3 - Medindo temperatura com termistor – NTC

A macro desenvolvida para esta atividade tem a função semelhante às anteriores, ou seja, a de ler o valor da resistência na entrada analógica da porta de jogos.

Conecte o sensor de temperatura (Fig. 20) à entrada de sinais. Em seguida, execute a macro NTC.xls, procure examinar o valor da resistência obtida para diferentes temperaturas.

A atividade é livre, explore o sensor de temperatura conhecido como termistor aquecendo com os dedos ou resfriando com um leve sopro no componente.



Fig. 20 - NTC ligado a um *plug* tipo P2.

#### Questões para discussão com o grupo

Procure examinar o comportamento da resistência com o acréscimo de temperatura. Discuta com os diferentes componentes do grupo as seguintes questões:

- A resistência aumenta ou diminui com o aumento da temperatura?
- Discuta com os colegas qual a função que descreve a variação da resistência.
- Após aquecer o componente, procure examinar as trocas de calor com o ambiente em função do tempo.

## Capítulo V - Aplicação e avaliação dos resultados

A aplicação da proposta de aquisição de dados no laboratório de física deu-se nos dias 09, 10, 11, e 12 de agosto de 2005 em oficina realizada no CEFET do Paraná, das 13:30 h às 17:30 h, com intervalo de quinze minutos entre duas aulas, perfazendo um total de 16h-aula. Participaram dezesseis alunos, sendo dez do curso de Automação Industrial, cinco da Manutenção Industrial e um de Sistemas de Informação.

No desenvolvimento das tarefas foram utilizados dois ambientes. Para medidas, módulo I, a sala de laboratório de física, contendo seis bancadas e capacidade média de seis alunos por bancada. Nas atividades as macros VBA, módulos II, III e IV, fez-se uso da sala de computadores, pertencente ao curso de Automação Industrial, onde estão instalados vinte computadores com o sistema operacional Windows 98 e o pacote da Microsoft.

Em todas as atividades houve uma breve exposição dos conteúdos a serem abordados, aproximadamente quinze minutos e, em seguida, a distribuição de material impresso. Na seqüência, foi reservado um pequeno intervalo de tempo para leitura desse material.

Algumas das atividades propostas nesta dissertação não foram trabalhadas nas oficinas, devido à escassez de tempo. Nas próximas seções, são relatadas, discutidas e avaliadas as atividades desenvolvidas.

As Fig. 21, 22 e 23 mostram as fotos dos alunos que participaram das oficinas.



Fig. 21 - Alunos dos cursos de tecnologia em atividade.



Fig. 22 - Primeiro dia de atividades no laboratório de física.



Fig. 23 – Participantes no último dia de oficina.

### V.1 - Primeiro dia de oficina

No primeiro dia da oficina, trabalhou-se com os módulos I e II. Devido ao pouco tempo disponível, realizaram-se somente as primeiras duas atividades de cada módulo.

As tarefas foram divididas em dois períodos. No primeiro, antes do intervalo, trabalhou-se o módulo I, seção I.5 do texto de apoio, na sala de laboratório de física. Após o intervalo de quinze minutos, os alunos dirigiram-se à sala de computadores e responderam questões do módulo II, seção II.6 do material de apoio.

Desta forma, no primeiro período, os alunos, em pequenos grupos, trabalharam com conceitos de medidas, erros e Algarismos Significativos. Para isso, foram utilizados cronômetro manual e régua milimetrada.

As equipes de trabalho foram produtivas e demonstraram grande interesse na realização dos experimentos. O professor, como mediador, direcionou questionamentos para que os grupos trabalhassem os conceitos envolvidos.

Algumas dificuldades corresponderam a dúvidas conceituais sobre pêndulo simples e dúvidas no procedimento adotado para expressar Algarismos Significativos de uma medida.

Cabe ressaltar que esse tipo de atividade de laboratório, envolvendo medidas e erros, é parte do programa das disciplinas de física nos cursos de tecnologia, porém costuma ser desenvolvida somente após as primeiras semanas de aulas teóricas.

Já no primeiro contato com os alunos, ficou evidente que se tratava de uma turma bastante heterogênea. Como a oficina teve início na primeira semana do semestre letivo, uma parcela significativa dos alunos (seis) era de calouros, ou seja, com apenas uma semana de ensino tecnológico. Parcela igualmente significativa (sete) era do segundo semestre, havendo ainda um aluno do terceiro, um do quarto e um do quinto semestre.

Os seis alunos calouros exigiram do professor uma atenção especial, na realização das tarefas, ao longo das atividades.

Passado o intervalo, os alunos dirigiram-se à sala de microcomputadores e trabalharam em pequenos grupos (máximo de três alunos por computador).

Após uma exposição de quinze minutos, foi lhes apresentado o ambiente da planilha Excel, e ferramentas utilizadas na construção de macros. Em seguida, os grupos de trabalho receberam o material impresso e tiveram um tempo para a sua leitura.

O objetivo principal das atividades foi proporcionar familiaridade com as principais ferramentas na construção de macros da planilha Excel; caixa de ferramentas do editor de macros e a utilização do gravador de macros.

A turma de alunos do primeiro semestre teve alguma dificuldade com a linguagem de programação VBA. Os demais demonstraram familiaridade. Tais fatos são comprovados na avaliação do questionário, apresentado no Apêndice E, em que nove alunos concordaram com

a afirmativa “Foi fácil a utilização da planilha Excel” e sete alunos só concordaram em parte. Mais de 50% dos participantes já conheciam alguma linguagem de programação.

## **V.2 - Segundo dia de oficina**

No segundo dia de oficina, os grupos trabalharam no ambiente de programação (sala de computadores) rotinas em VBA, seção IV.2.2, e atividades da seção IV.3.1.

No primeiro período, antes do intervalo, com a supervisão do professor, foram retomadas as tarefas de construção de macros com a linguagem VBA e, posteriormente, apresentadas a placa de som e a entrada de *joystick*. No quadro, foram detalhadas as características da entrada de *joystick* e, as funções dos pinos desta entrada.

Neste dia, houve a necessidade de um maior tempo de exposição, em torno de trinta minutos. Assim, foram relatadas, além das configurações e do arquivo dll utilizado na aquisição de dados, as características e vantagens do uso da aquisição de dados no laboratório de física.

Com o uso da macro de leitura de um byte (seção IV.3.1) da entrada de jogos foi detalhada a entrada digital da porta de jogos. No decorrer da atividade, os grupos não tiveram grandes dificuldades na realização das tarefas.

## **V.3 - Terceiro dia de oficina**

No terceiro dia da oficina, foi trabalhado o módulo III, cada grupo recebeu a extensão de *joystick*, conjunto de lego com sensores e material para a montagem do pêndulo.

Os grupos não tiveram dificuldades na execução do experimento.

Também foi constatado, o grande interesse que o experimento com o pêndulo despertou nos alunos. Mesmo com conhecimento de linguagem de programação (Fig. 24), muitos desconheciam as possibilidades da aquisição de dados no ensino de física.

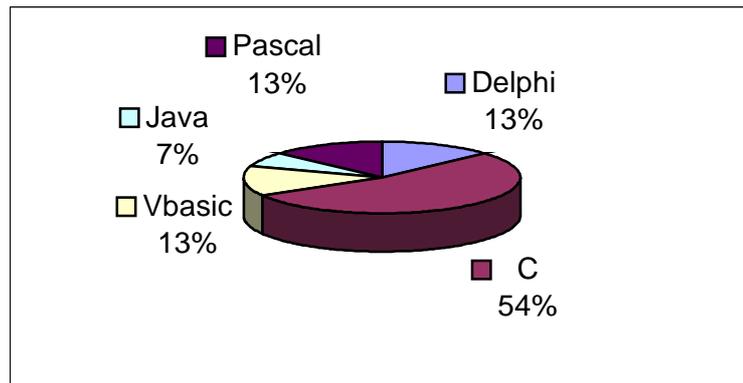


Fig. 24 - Quais linguagem de programação você tem conhecimento?

As figuras 25 e 26 apresentam fotos dos alunos desenvolvendo a coleta automática de dados com macros do Excel no experimento com o pêndulo.



Fig. 25 - Grupos de alunos em atividade com pêndulo.

No decorrer do desenvolvimento dos trabalhos, os grupos se mostraram hábeis na execução da atividade. Alguns alunos, com conhecimento da linguagem C e Delphi procuraram examinar a rotina em VBA, aos quais foi detalhada a macro para coleta de dados; aos restantes da turma, a exigência era apenas que soubessem acessar o editor do VBA e identificar a chamada da função presente na DLL para leitura dos bytes presentes na porta de *joystick*.

Um dos aspectos positivos foi a discussão sobre os diferentes erros envolvidos no experimento em confrontação com as medidas executadas com cronômetro manual na primeira atividade.

Pode-se verificar na ilustração da Fig. 27, alguns dados obtidos no experimento do pêndulo com sensores ligado à entrada de *joystick* da placa de som do microcomputador.



Fig. 26 - Aluno analisando a macro para medidas do período de um pêndulo.

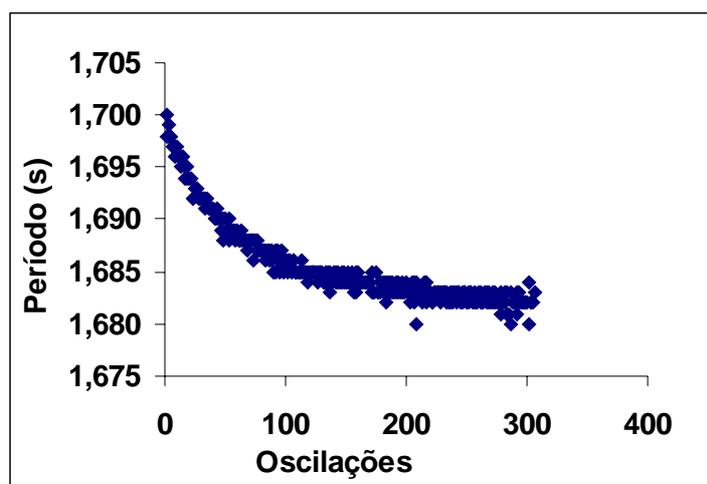


Fig. 27- Valores obtidos para o período do pêndulo em função do número de oscilação.

Foi constatada, no decorrer dos experimentos, uma maior motivação da turma para o sistema de coleta automático de dados em detrimento, de certa forma, aos conceitos físicos

envolvidos, fato esse compreensível em um curso de tecnologia. O objetivo foi fazer com que esses alunos, com predisposição às novas tecnologias, tivessem uma aproximação maior com os conceitos físicos.

De todas as atividades trabalhadas, a análise do período de rotação de um pião foi a única não satisfatória. Os sensores apresentaram instabilidade nas medidas e grande parte dos grupos não conseguiu realizar o experimento.

A Figura 28 ilustra o empenho dos grupos na tentativa de medir a velocidade de rotação do pião.

O objetivo desta atividade era explorar conceitos básicos do movimento de rotação, tais como aceleração e velocidade, e as principais forças que atuam no sistema. Após diversas tentativas, poucas equipes tiveram êxito na experiência.

Em uma análise detalhada da proposta de medida foi constatado que a superfície do pião não apresentava um índice de reflexão suficiente para ativar a fotocélula e que a estabilidade do sistema depende da potência e alinhamento do conjunto emissor e receptor de infravermelho. Assim, após debate com a classe, optou-se pela utilização de uma superfície reflexiva (espelhada), no lugar da não-reflexiva como proposta em trabalho anterior (Figueira et al. 2004).



Fig. 28 - Equipes de alunos manuseando sensores para medida do movimento de um pião.

Após esta mudança, no dia seguinte de atividade, o sistema foi apresentado para a turma com resultado satisfatório.

Este pequeno inconveniente ficou refletido na avaliação final sobre as atividades (Fig 29). Observa-se que a atividade com o pião não aparece entre as atividades que mais chamaram a atenção entre as turmas.

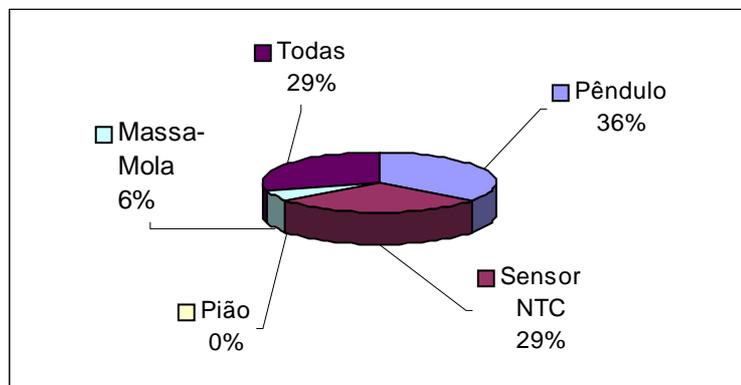


Fig. 29 - Atividade que chamou mais a atenção.

#### V.4 - Quarto dia de oficina

No início das tarefas, após a exposição inicial por parte do professor, quinze minutos, os grupos receberam um sensor de luz (LDR) e com liberdade exploraram o componente em diferentes posições quanto à incidência de luz. A macro desenvolvida para esta atividade encontra-se no Apêndice do material de apoio.

Após as discussões e troca de idéias com os grupos foi fornecido o material para execução do experimento massa-mola: conjunto de sensores, mola, base de apoio e pesos de 50 gramas.

No experimento com o sistema massa-mola foram enfocados conceitos básicos: amplitude de oscilação, período, velocidade e energias do sistema. Os alunos divididos em grupos, procuraram identificar na planilha Excel o comportamento do gráfico da posição em função do tempo e identificar conceitos como período e distensão.

A atividade foi dirigida com bastante liberdade para que os grupos interagissem e, assim, trocassem experiências e questionamentos surgidos durante o seu desenvolvimento.

Além das questões citadas, como desafio, foi sugerido às equipes, a partir da análise do gráfico obtido (Fig. 30), a determinação da constante elástica da mola. Constatou-se que somente aqueles alunos com mais habilidade conseguiram terminar a tarefa. A principal dificuldade encontrada por grande parte dos alunos, foi a interpretação do gráfico na tela do computador.

Os grupos trabalharam sempre motivados, ativos, participantes e com muita interatividade, questionando o professor sobre os principais conceitos envolvidos no sistema oscilatório, o que representou um fator positivo na aprendizagem, refletindo uma mudança de atitude dos alunos em relação às aulas tradicionais.

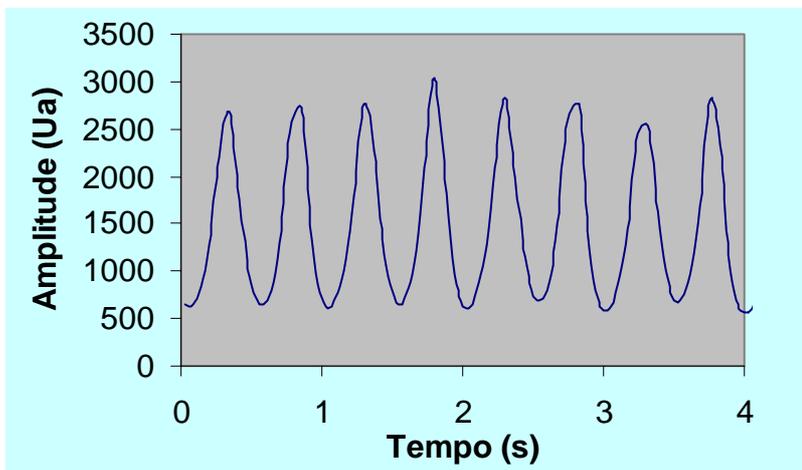


Fig. 30 – Variação da amplitude para um sistema massa-mola obtidos com uma macro do Excel.

Além do experimento massa-mola, desenvolveu-se uma atividade com o termistor (NTC). Considerando as características da turma, e o tempo insuficiente, optou-se por não determinar o coeficiente do NTC, conforme detalhado nas atividades sugeridas (módulo IV).

Assim, após a exposição por parte do professor, os alunos em grupo exploraram o componente (NTC) e a macro desenvolvida para esta atividade.

A fig. 31 ilustra a variação da resistência com o tempo obtido com o sistema de aquisição automática de dados com a planilha Excel.

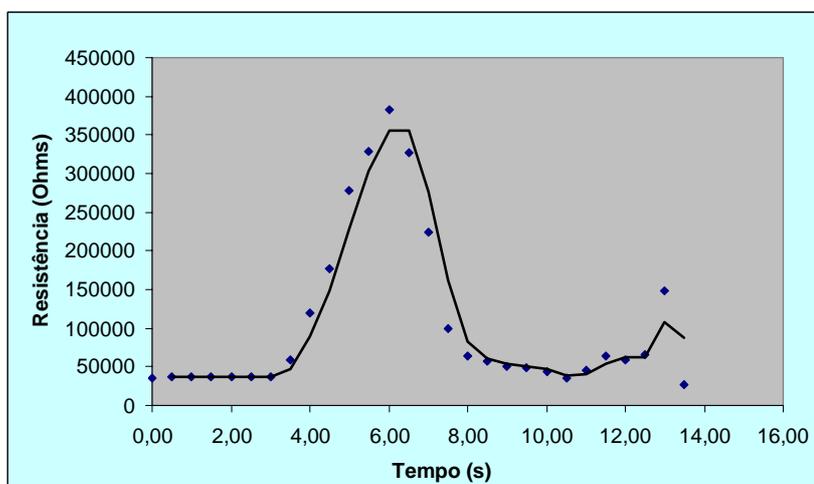


Fig. 31 - Valores de resistência obtidos nos terminais de um NTC.

Uma característica positiva e que nos surpreendeu, foi o grande interesse da turma na manipulação dos sensores, com “brincadeiras”, usando a ponta dos dedos e com leve sopro no sensor, testando a variação da resistência em função do aumento da temperatura.

## V.5 - Comentários finais

O desempenho, motivação e dificuldades enfrentadas no decorrer da aplicação da proposta foram analisados e confrontados com as respostas do questionário (Apêndice E), aplicado ao final da oficina.

Estes dados mostram que a linguagem de programação, em sistema de aquisição de dados, não apresenta dificuldades para os alunos, pelo menos quando os alunos já tem algum conhecimento de linguagem de programação. (Mais de 50% dos alunos tinham conhecimento de alguma linguagem de programação.) Também foi evidenciado, na análise do questionário, o grande interesse dos alunos pelo sistema automático de aquisição de dados (Fig. 32, 33, 34 e 35) e, foi constatada a preferência das turmas dos cursos de tecnologia por atividades experimentais.

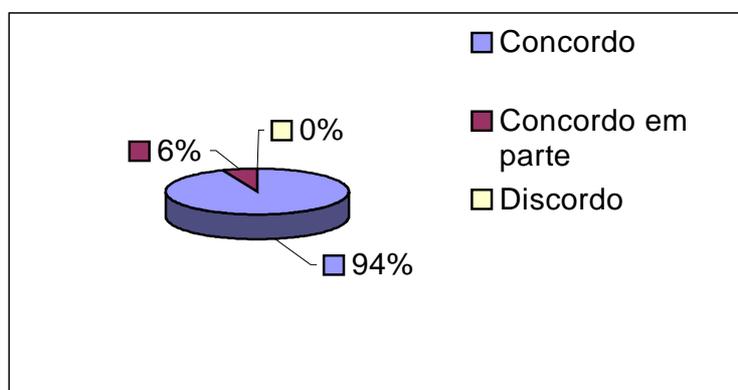


Fig. 32 – Gosto de realizar experimentos nas aulas de física.

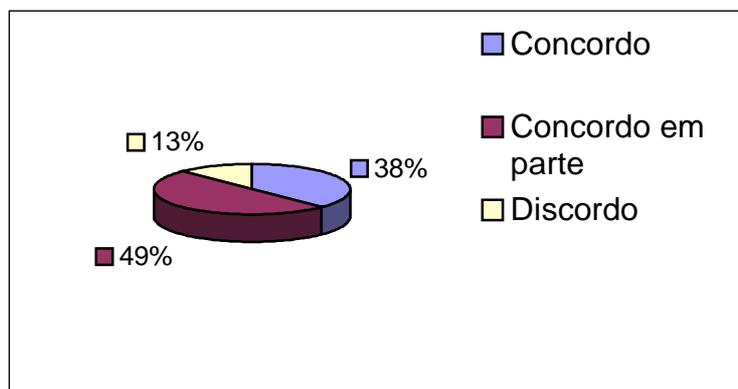


Fig. 33 - O tempo de desenvolvimento das atividades foi suficiente?

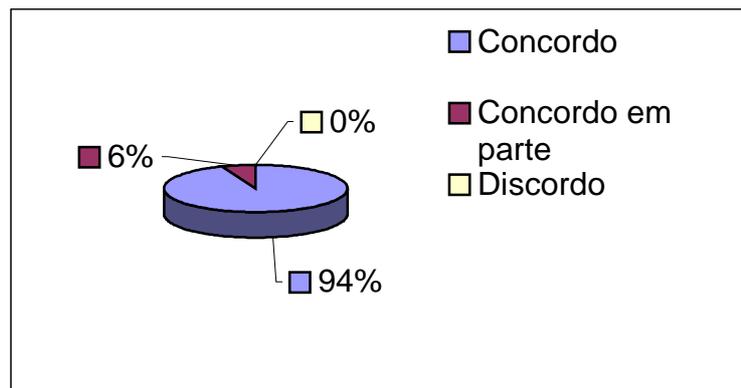


Fig. 34 - Gostaria de continuar com aulas experimentais em outro ramo da física?

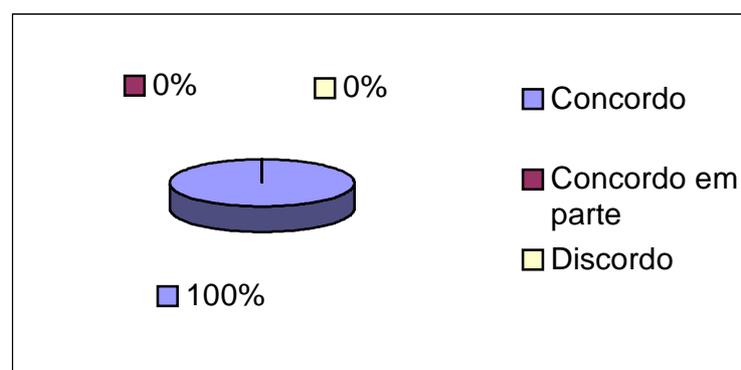


Fig. 35 - Aulas experimentais facilitam o entendimento dos conceitos de física?

Uma das dificuldades enfrentadas no decorrer da realização das tarefas, cabe ressaltar, foi que a turma era bastante heterogênea (39 % calouros), exigindo do professor um esforço adicional.

Segundo a opinião dos alunos, houve pouco tempo para a realização das tarefas. Entendemos que ocorreu um excessivo número de experimentos, abrangendo o campo de oscilações, terminologia, precisão de medidas e a programação com macros. A oficina poderia ter sido dividida em campos de conteúdos específicos, o que corresponde aos capítulos referentes ao material de apoio. Ainda assim, seriam necessárias, pelo menos, o dobro do número de horas-aula.

Os alunos tiveram, no andamento dos experimentos, participação ativa e liberdade de exploração. Puderam, assim, observar e refletir sobre as questões trabalhadas.

O objetivo ao longo das oficinas foi trabalhar com os alunos os principais conceitos envolvidos no fenômeno em estudo. Durante todos os experimentos, procurou-se discutir com os alunos o fenômeno estudado, enfocando os principais conceitos envolvidos, fazendo com que estes explicitassem suas idéias e expectativas.

Dentro do possível, para um bom andamento das atividades, os roteiros dos experimentos foram fracamente estruturados, permitindo dessa forma ao aluno liberdade na exploração dos fenômenos. Coerentemente com o referencial vygostkyano, foi incentivada a interação dentro do próprio grupo de trabalho e entre os diferentes grupos, sempre mediada pelo professor. Essa proposta fez com que a atividade de laboratório fosse agradável e interessante.

Esse modo de encaminhar a atividade de ensino no laboratório de física é no nosso entendimento, o ensino como proposta construtivista em que o aluno constrói seu próprio conhecimento através de sua ação.

## Capítulo VI - Conclusões

Nas últimas décadas, a sociedade presenciou um crescimento tecnológico e científico – as novas tecnologias de comunicação e mídia - sem precedentes na história. Assim, convivemos com câmeras digitais, microcomputadores, brinquedos digitais e celulares com tecnologia DVS. Todas, de alguma forma, presentes na vida de nossos alunos.

A escola, e especificamente os CEFETs, com o objetivo de formar cidadãos capacitados para uma vida profissional e atentos às novidades científicas e tecnológicas, em conjunto com a sociedade, tem o dever de democratizar a inclusão social e prover a “alfabetização tecnológica”. Isso significa tornar essas “mídias” presentes ao longo das atividades acadêmicas. E nós, professores de Física, muitas vezes criticados por ensinar um conteúdo distante do cotidiano de nossos alunos e dos avanços da sociedade, temos de procurar novas formas e métodos pedagógicos, com o objetivo de motivar e tornar nossa disciplina mais acessível e atraente ao estudante.

Os diversos experimentos e atividades de aquisição automática de dados, descritos ao longo dessa dissertação; desde o experimento com um plano inclinado até medidas do coeficiente de restituição, e de nossas propostas de medidas e análise da rotação de um pião com macros do Excel, uma preocupação está presente: o ensino de física, esse é o objetivo maior, e, a tarefa de tornar os conceitos de física acessíveis e mais próximos do dia-a-dia do aluno.

O professor ao utilizar no laboratório de física experimentos de aquisição de dados em turmas dos cursos de tecnologia, está trabalhando os diferentes campos conceituais presentes no currículo do aluno: sensores, linguagem de programação e robótica. E, os alunos ao utilizar os conceitos e conhecimentos trabalhados em suas disciplinas específicas, estão fixando e sedimentando esse conhecimento, além das suas áreas específicas. Dessa forma, podemos ter um aluno mais motivado, e o ensino de física vinculado às atividades do futuro profissional que a escola está formando.

Neste sentido, acredito que a proposta apresentada ao longo deste trabalho e, especialmente, o material desenvolvido e disponibilizado para alunos e professores, representa uma contribuição para a melhoria da qualidade do ensino de física.

Este trabalho mostrou a viabilidade e vantagens do uso da planilha Microsoft Excel, na aquisição automática de dados, para o laboratório didático de física. Foram desenvolvidas rotinas com macros VBA, nas medidas de tempo, temperatura e intensidade luminosa.

Deste trabalho resultou:

- um texto de apoio sobre medidas físicas e erros e sobre o uso da linguagem VBA em sistemas de aquisição de dados com a placa de som do microcomputador;
- planilhas Excel, com macros apropriadas para a aquisição de dados via entrada de *joystick* da placa de som, constantes no CD que acompanha esta dissertação e em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/index.html>
- hipertexto sobre construção de macros para o Excel, constante em: [http://www.ufrgs.br/cref/ntef/excel/introducao\\_macros.html](http://www.ufrgs.br/cref/ntef/excel/introducao_macros.html)
- Artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física
- Participação na II mostra de Pós-Graduação do Instituto de Física
- Duas participações no XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física

## Referências

AGUIAR, C. E.; LAUDARES, F. Aquisição de dados usando logo e a porta de jogos do PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-380, dez. 2001.

AGUIAR, C. E.; LAUDARES, F. Listening to the coefficient of restitution and the gravitational acceleration of a bouncing ball. *American Journal of Physics*, College Park, v. 71, n.1, p. 499-501, May 2003.

ARAUJO, I. S. *Aqdados*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/material/joystickNTC.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005. Software para leitura das entradas da porta de jogos.

AXELSON'S, J. Paralel port central. Disponível em: <<http://www.lvr.com/parport.htm>>. Acesso em: 15 out. 2005.

BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, College Park, v. 62, n. 8, p. 750-765, Aug. 1994.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.

BOYLESTAD, R. *Dispositivos eletrônicos e teorias de circuitos*. 5 ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1994.

CALADO, L.; AGUIAR, C. E. *Aquisição de dados via porta paralela*. Disponível em: <<http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/infoenci/alunos/leandro/projfinal.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

CAVALCANTE, M. A; TAVOLARO, C. R. C. Cuidados na utilização de sistemas de aquisição de dados no ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 247-258, jun. 2000.

CAVALCANTE, M. A; TAVOLARO, C. R. C. O estudo das colisões através do som. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 150-157, jun. 2002.

CAVALCANTE, M. A; TAVOLARO, C. R. C. Medir a velocidade do som pode ser simples e rápido. *A Física na Escola*, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 29-30, maio 2003.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. *Novas tecnologias no ensino de acústica* [2003]. Apostila distribuída na oficina realizada no XV Simpósio Nacional de Ensino de Física. Curitiba, março 2003. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/mpef/promocoes/oficina0305.html>>. Acesso em: 23 jan 2005.

CHONACKY, N.; INGOLDSBY, T. C. Microcomputers for physics teaching: the shape of things. *The Physics Teacher*, Stony Brook, v. 22, n. 1, p. 16-20, jan. 1984.

CRANDALL, A. J.; STONER, R. A microcomputer-controlled measurement of acceleration. *The Physics Teacher*, Stony Brook, v. 20, n. 5, p. 304-308, May 1982.

DAVIDSON COLLEGE. *Physlet Archive*. Disponível em: <<http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

EISBERG, R.; RESNICK, R. *Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FULLER, J. P. *Science experimenters kit#1*. Using computers in the classroom. 2 ed. Western Australia, Mandurah. 1997. Disponível em: <<http://www.southwest.com.au/~jfuller/logotut/games.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2005.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Usando o excel para medidas de intervalo de tempo no laboratório de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 203-211, set. 2004.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT E. A. *Usando o excel para medidas via porta de jogos de um microcomputador*. Pôster apresentado no XVI Simpósio Nacional em Ensino de Física, 24 a 28 de janeiro de 2005. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/sys/resumos/T0052-2.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2005.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Planilha excel para coleta de dados: pêndulo e velocidade de pião. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel>>. Acesso em: 15 out. 2005.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Trabalho publicado na II Mostra de Pós-Graduação do Instituto de Física – UFRGS. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/mostrapg/index2.html>>. Acesso em: 15 out. 2005.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT., E. A. *Macro pêndulo*: planilha excel para leitura da entrada digital da porta de jogos. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/tempo.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

GRAEF, J. Teaching, science with computers. *The Physics Teacher*, Stony Brook, v. 22, n. 7, p. 430-436, Oct. 1984.

GRAF. [Sítio Institucional]. Disponível em: <<http://axpfep1.if.usp.br/~graf/>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

HAAG, R. Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 176-183, jun. 2001.

HAAG, R. Ntef. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software>>. Acesso em: 23 jan. 2005. Software para leitura das entradas analógicas da porta de jogos.

HAAG, R.; OLIVEIRA, L. M.; VEIT, E. A Utilizando o microcomputador para medidas de tempo no laboratório didático de física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15, 2003, Curitiba. Atas do ... Curitiba: CEFET/PR, 2003. p. 1302-1310. 1 CD-ROM

HAAG, R.; OLIVEIRA, L. M.; VEIT, E. A coleta automática e interpretação de dados em um laboratório didático de termologia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15, 2003, Curitiba. Atas do ... Curitiba: CEFET/PR, 2003, p. 625-635. 1 CD-ROM.

HOLLMAN, G; HARRES, J. B. S.; SCHOSSLER, L. C.; BRUST, P. R.; HAETINGER, W. *Introdução à eletrônica: conceitos e aplicações*. Lajeado: UNIVATES, 2001. (Texto didático, 4)

HORNE, R. *Spectrogram*. Disponível em: <<http://www.monumental.com>>. Acesso em: 15 out. 2005

JONG, M. L.; LAYMAN, J. W. Using the apple II as a laboratory instrument. *The Physics Teacher*, Stony Brook, v. 22, n. 5, p. 291-296, May 1984.

KAWAMURA, R. D.; HOSOUME, Y. A contribuição da física para um novo ensino médio. *A Física na Escola*, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 22-27, nov. 2003.

LOPES, P. A. *Probabilidades e estatística*. Rio de Janeiro: Reischman & Afonso, 1999.

MAGNO, W. C.; ARAÚJO, A. E. P.; LUCENA, M. A.; MONTARROYOS, E. Realizando experimentos didáticos com o sistema de som de um PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 1, 117-123, dez. 2004.

MONTARROYOS, E.; MAGNO, W. C. Aquisição de dados com a placa de som do computador. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 57-62, mar. 2001.

MONTARROYOS, E.; MAGNO, W. C. Decodificando o controle remoto com a placa de som. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 497-498, dez. 2002.

MOREIRA, M. A. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. *Teorias construtivistas*. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 1999.

MÜTZENBERG, L. A.; VEIT, E. A.; SILVEIRA, F. L. da. Elasticidade, plasticidade, histerese... e ondas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 307-314, out./dez. 2004.

Núcleo de Informática Aplicada à Educação (Nied/Unicamp), Superlogo 3.0. Disponível em: <<http://www.nied.unicamp.br>>. Acesso em: 15 out. 2005.

PAPERT, S. A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

PASCO SCIENTIFIC. [Site Institucional]. Disponível em: <<http://www.pasco.com>>. Acesso em: 15 out. 2004.

PIAGET, J. *A gênese do número na criança*. 3º ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1981.

RAFERT, J. B.; NICKLIN, R. C. Velocity measurements of humans by computers. *The Physics Teacher*, Stony Brook, v. 22, n. 4, p. 213-221, Apr. 1984.

REDISH, E. F.; SAUL, J. M.; STEINBERG, R. N. On the effectiveness of active-engagement microcomputer-based laboratories. *American Journal Physics*, College Park, v. 65, p. 45-54, Jan. 1997. Disponível em: <<http://www.physics.umd.edu/perg/papers/redish/mb1/mb11.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

RIBAS, R. V.; SOUZA, A. F.; SANTOS, N. Um sistema de aquisição de dados de baixo custo para o laboratório didático. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 293-295, set. 1998.

SILVA, L. F.; FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. *Atividades de aquisição automática de dados no laboratório didático de física da escola de ensino médio*. Pôster apresentado no XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 24 a 28 de janeiro de 2005. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/sys/resumos/T0052-1.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2005.

SIAS, D. B.; TEIXEIRA, R. M. R. Proposta de atividades experimentais em física térmica para o ensino médio com a utilização do sistema CBL. Pôster apresentado no XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 24 a 28 de Janeiro 2005. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/sys/resumos/T0052-2.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2005

SABA, M. F.; MELO, T. B.; THOMPSON, P. Ensinando rotação e equilíbrio com o “clipião”. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 15., 2003, Curitiba, PR. Atas do ...Curitiba : CEFET-PR, 2003. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xv/>. Acesso em: 15 mar. 2005

SILVA, L. F. da; VEIT, E. A. *Ondas mecânicas*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/index.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

SILVA, L.F. da; VEIT, E. A. *Tempo*: planilha excel para leitura da entrada digital da porta de jogos. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/tempo.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

SOUZA, D. F.; SARTORI, M. J. B.; NUNES, A. O. Aquisição de dados e aplicações simples usando a porta paralela do micro pc. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 413-420, dez. 1998.

STENSGAARD, I.; Laegsgaard, E. Listening to the coefficient of restitution-revisited. *American Journal of Physics*, College Park, v. 69, n. 3, p. 301- 305, Mar. 2001.

TINKER, R. F. Microcomputers in the teaching lab. *The Physics Teacher*, Stony Brook, v. 19, n. 2, p. 94-105, Feb. 1981.

VON GLASERSFELD, E. *Radical constructivism: a way of knowing and learning*. London: Falmer Press, 1995.

VEIT, E. A. et al. *Novas tecnologias no ensino de física*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/mecanica/restituicao/restituicao.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

VEIT, E. A. O laboratório didático de física e os parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15, 2003, Curitiba. *Atas do ...* Curitiba: CEFET/PR, 2003. p. 133-142. 1 CD-ROM.

VIGOTSKY, L. S. *Pensamento e linguagem*. 3 ed. São Paulo: Martins Fortes, 2003.

VYGOSTKY, L. S. *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. São Paulo: Martins Fonte, 1984.

ZARO, M. Laboratório de medições mecânicas. Disponível em:  
<<http://www.mecanica.ufrgs.br>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

## Símbolos e abreviaturas

ADC - *Analog to Digital Converter*  
API - *Application Programming Interface*  
ASCII – *American Standard Code for Information Interchange*  
BASIC - *Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code*  
BIT - *Binary digiT*  
BYTE – *Binary Term*  
CBL - *Calculator Based Laboratory*  
CMOS - *Complementary metal-oxide-semiconductor*  
CPU - *Central Processing Unit*  
DB25 – *Connector Serial with a 25-pin*  
DLL - *Dynamic Link Lib*  
DVS - *Descriptive Video Service*  
LDR - *Light Dependent Resistor*  
LED – *Light Emitting Diode*  
MIDI - *Musical Instrument Digital Interface*  
MIDI - *Musical Instruments Digital Interface*  
NTC - *Negative Temperature Coefficient*  
TTL - *Transistor-transistor logic*  
VBA - *Visual Basic for Applications*  
VHS - *Video Home System*

## **Apêndices**

## **Apêndice-A – Textos de apoio com a planilha Excel e macros VBA**



**CENTRO FEDERAL de EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA do PARANÁ  
UNIDADE SUDOESTE DO PARANÁ – PATO BRANCO**

## **Texto apoio: Aquisição de dados no laboratório de Física<sup>1</sup>**

**Jalves Sampaio Figueira – CEFET-PR**

---

<sup>1</sup> Este material é quesito parcial para a conclusão do trabalho de mestrado de Jalves Sampaio Figueira, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRGS.

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUÇÃO A MEDIDAS NO LABORATÓRIO DE FÍSICA .....</b>	<b>68</b>
<b>I.1 - Algarismos significativos e precisão de instrumentos de medida .....</b>	<b>69</b>
<b>I.2 - Precisão e exatidão de medidas.....</b>	<b>72</b>
<b>I.3 - Média e desvio padrão da média .....</b>	<b>74</b>
I.3.1 - Valor médio de uma medida .....	74
I.3.2 - Desvio padrão de uma medida e da média de um conjunto de medidas.....	75
<b>I.4 - Distribuição de erros aleatórios (Distribuição de Gauss).....</b>	<b>77</b>
<b>I.5 - Atividades .....</b>	<b>82</b>
<b>Referências .....</b>	<b>84</b>
<b>II. INTRODUÇÃO AO APLICATIVO EXCEL E À LINGUAGEM VBA .....</b>	<b>85</b>
<b>II.1 - Aspectos gerais da linguagem VBA .....</b>	<b>85</b>
<b>II.2 - Macros VBA.....</b>	<b>85</b>
II.2.1 - Construindo Macros no Excel.....	86
II.2.2 - Instalando o Visual Basic no Excel.....	86
II.2.3 - Gravando uma Macro.....	87
II.2.4 - Executando uma Macro .....	88
II.2.5 - Editando uma Macro.....	89
II.2.6 - Inserindo um botão .....	91
<b>II.3 - Digitando o código de um programa em VBA .....</b>	<b>91</b>
<b>II.4 - Resolvendo dúvidas .....</b>	<b>92</b>
<b>II.5 - Variáveis no Visual Basic for Applications (VBA) .....</b>	<b>93</b>
II.5.1 - Declarando variáveis.....	94
<b>II.6 - Atividades.....</b>	<b>98</b>
II.6.1 - Atividades usando funções da planilha Excel.....	98
II.6.2 - Atividades com a linguagem VBA no Excel .....	98
<b>Referências .....</b>	<b>100</b>
<b>III. MOVIMENTOS PERÍODICOS I.....</b>	<b>101</b>
<b>III.1 - Sinal analógico e digital.....</b>	<b>101</b>
<b>III.2 - Placa de som .....</b>	<b>102</b>
III.2.1 - Entrada de <i>joystick</i> da placa de som .....	104
III.2.2 - Detecção nas entradas digitais da porta de jogos.....	104
III.2.3 - Detecção nas entradas analógicas da porta de jogos.....	105
<b>III.3 - Acessando o <i>hardware</i> com o Excel –VBA .....</b>	<b>106</b>
III.3.1 - Configurando uma DLL no editor VBA.....	107
III.3.2 - Identificando um <i>bit</i> na entrada da porta de jogos na linguagem VBA .....	107
<b>III.4 - Transdutores .....</b>	<b>109</b>
<b>III.5 - Atividades .....</b>	<b>111</b>
III.5.1 - Identificando um <i>bit</i> no <i>byte</i> da porta de jogos.....	112
III.5.2 - Pêndulo Simples .....	113
III.5.3 - Análise do movimento de rotação de um pião.....	117
<b>Referências .....</b>	<b>119</b>
<b>IV. MOVIMENTOS PERÍODICOS II.....</b>	<b>120</b>

<b>IV.1 - Sensor de luz – LDR (<i>light dependent resistor</i>) resistor dependente da luz).....</b>	<b>120</b>
IV.1.1 - Explorando o sensor LDR e a entrada analógica da placa de som .....	121
<b>IV.2 - Atividades .....</b>	<b>122</b>
IV.2.1 - Oscilações – Sistema massa-mola .....	122
IV.2.2 - Determinando a constante elástica da mola.....	122
<b>Referências .....</b>	<b>124</b>
<b>V. MEDIDAS DE TEMPERATURA COM UM TERMISTOR – NTC.....</b>	<b>125</b>
<b>V.1 - Atividades com o termistor NTC.....</b>	<b>126</b>
V.1.1 - Determinando o coeficiente $\beta$ .....	127
<b>Referências .....</b>	<b>129</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>130</b>
<b>Apêndice A - Macro para identificar um <i>byte</i> na entrada de <i>joystick</i>. .....</b>	<b>131</b>
<b>Apêndice B - Macro para determinar o período de um pêndulo.....</b>	<b>133</b>
<b>Apêndice C - Macro para medida do período de rotação de um pião .....</b>	<b>137</b>
<b>Apêndice D - Macro para medidas com sensor LDR .....</b>	<b>141</b>
<b>Apêndice E - Macro para o sistema massa-mola .....</b>	<b>144</b>
<b>Apêndice F- Macro para medidas da temperatura com NTC .....</b>	<b>147</b>
<b>Anexo A – Sistemas numéricos .....</b>	<b>153</b>

## APRESENTAÇÃO

As atividades experimentais de laboratório exigem uma variedade de instrumentos eletrônicos de medidas. E isto não é exigência recente. Instrumentos para medidas de corrente e tensão, por exemplo, são necessários desde os primeiros estudos com o eletromagnetismo que datam de meados do século XIX. Quando falamos em instrumentos eletrônicos, estamos a nos referir desde um simples galvanômetro (necessário na análise da Lei de Ampère), até um cronômetro digital (utilizado em medidas de intervalo de tempo), ou mesmo um osciloscópio (imprescindível na análise de formas de onda).

Muitas das atividades de laboratório necessitam de multímetros, analógicos ou digitais, para medidas de tensão e corrente; os modelos mais sofisticados e, portanto, com preços elevados, permitem também medidas de temperatura. Osciloscópios são úteis para medidas de tensão, intervalos de tempo, frequência e no estudo de formas de sinais. Também há necessidade de geradores de sinais, que permitem gerar ondas de diferentes formas com frequências e amplitudes ajustáveis.

Neste texto de apoio, vamos utilizar o microcomputador da mesma forma que é utilizado a variedade dos instrumentos descritos acima, com a vantagem de que o microcomputador, nos últimos anos, está mais presente no dia-a-dia que determinados “instrumentos tradicionais” utilizados nas atividades experimentais.

Da mesma forma que necessitamos de conhecimento prévio e preparo para o manuseio dos equipamentos tradicionais, também necessita para o uso do microcomputador como instrumento de medida. Por isto, nos itens que se seguem iremos descrever como utilizar esse “instrumento eletrônico” e algumas das inúmeras aplicações em medidas físicas nas atividades experimentais de laboratório.

Usando simples rotinas de programação em Basic associadas com a planilha Excel (*Visual Basic for Applications*), descritas no capítulo II, e a placa de som apresentadas no capítulo III, tem-se no microcomputador um útil e necessário instrumento de medida no laboratório didático. As rotinas desenvolvidas em macros do Excel estão disponíveis nos apêndices.

## I. INTRODUÇÃO A MEDIDAS NO LABORATÓRIO DE FÍSICA

**Capítulo I** – Tópicos sobre medidas físicas e técnicas de tratamento de dados, Algarismos significativos, precisão, média, erros de uma medida e desvio padrão.

Medidas são uma constante em nossa vida diária. No nascimento uma das primeiras preocupações do médico pediatra é tomar as primeiras medidas de altura e peso do pequeno recém-nascido. E, a partir dessas medidas, com base em modelos de crescimento, acompanhar o desenvolvimento da criança ao longo dos anos.

Nas ciências a atividade de medir também é freqüente. Pesquisadores de ciências com base experimental como a Física, Química e Economia necessitam freqüentemente de medidas.

Procura-se obter medidas de grandezas físicas com o objetivo de melhor compreender os diferentes sistemas e suas interações. Para determinado fenômeno observado, buscam-se relações de dependências entre grandezas. E, a partir de novos dados, modelos são ajustados e, como conseqüência, novas previsões e conjecturas são feitas.

A atividade científica utiliza medidas que envolvem desde valores muito pequenos a muito grandes, permitindo avaliar desde modelos teóricos na escala atômica ( $10^{-9}$  m) até modelos na escala do universo ( $10^9$  anos luz).

A atividade experimental é bastante complexa, exigindo do pesquisador além do conhecimento dos sistemas e variáveis envolvidas no experimento, preparo dos instrumentos e habilidade no seu manuseio, a análise estatística dos dados obtidos e, por último, a interpretação dos resultados. Assim, é possível dividir o trabalho experimental em etapas. Uma primeira etapa consiste na delimitação do fenômeno a ser estudado; por exemplo, na análise do fenômeno queda dos corpos, selecionamos para estudo determinadas condições: altura, forma dos corpos, pesos, forças de atrito e latitude. Temos, então, um sistema a ser estudado, que é descrito por determinado modelo teórico. Cabe ao investigador a intuição ou argúcia em identificar nestes sistemas as variáveis que melhor descrevem o fenômeno observado. Uma segunda etapa consiste no conhecimento e preparo do material a ser utilizado. Conhecimentos sobre a sensibilidade de instrumentos, escalas envolvidas, características e erros previstos pelo fornecedor são necessários. Segue-se o tratamento estatístico que permitirá chegar a resultados a serem interpretados.

Uma das conseqüências destes vários componentes que envolvem a atividade experimental - instrumentos, observadores e modelos teóricos - é a incerteza do resultado de uma medida. Dizer que determinada medida possui um valor de incerteza, não significa que se cometeu engano ao medi-la. E sim que o resultado está limitado aos instrumentos utilizados e o procedimento adotado. Erros cometidos por descuidos são facilmente corrigidos e não são inerentes ao processo experimental.

Medir uma grandeza  $\theta$  é compará-la com outra,  $\varphi$ , tomada como padrão. Assim, ao medir a grandeza  $\theta$ , procura-se determinar quantas vezes esta contém a unidade padrão  $\varphi$ .

$$n = \frac{\theta}{\varphi}$$

Ao realizar uma determinada medida, tem-se que considerar a unidade de medida da grandeza, por exemplo, distância em metros (m), massa em quilogramas (kg), volume em metros cúbicos (m<sup>3</sup>), temperatura em graus Celsius (°C). Assim como é preciso considerar a precisão requerida, por exemplo, 2,540 m ± 0,004 m , 140,0 g ± 0,5 g.

### Atividades em grupo

1- Usando grãos de feijão como unidade padrão de volume, determine o volume de copos plásticos usados em cafezinhos. Utilize as medidas dos diferentes grupos e apresente os resultados em uma tabela.

Tabela 1: Resultados experimentais para diferentes medidas do volume de copos de cafezinho. N é o número de grão de feijão.

Medidas				
N				

#### I.1 - Algarismos significativos e precisão de instrumentos de medida

O resultado de uma medida deve ser fornecido especificando apenas os números significativos, isto é, aqueles que se tem certeza, mais a unidade que determina a incerteza da medida. Na Fig. 1, temos como exemplo, a escala de um instrumento graduado em graus Celsius. Não tem sentido especificar-se o valor de uma medida realizada com este instrumento com quatro algarismos. Por exemplo, caso se indique como resultado 6,758 °C, o número oito não tem significado. Com este instrumento, a temperatura é medida com precisão

de até meio grau Celsius, ou seja,  $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ . Assim, a estimativa da temperatura (incerteza) é de  $\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ . Observe que a precisão de uma medida determina com quantos algarismos significativos deve ser expressa a medida.

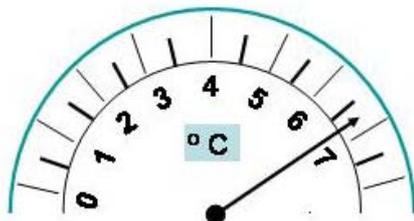


Fig. 1 – A precisão de uma medida é dada pela menor divisão da escala. Neste exemplo,  $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ . A estimativa da medida é dada pela metade da menor divisão, ou seja,  $\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ .

O resultado da medida também pode ser expresso em termos da estimativa da medida como:

$$T = 6,50 \pm 0,25^{\circ}\text{C} .$$

Observe que a precisão de uma medida envolve, entre outros fatores, a precisão da escala e da leitura; sendo esta função da acuidade visual do observador, e nem sempre a precisão do instrumento e da leitura coincidem. Como regra geral considera-se a precisão de um instrumento a metade da divisão de sua escala.

Considere um outro exemplo. Ao expressar uma determinada medida como 12,30 cm, tem-se um valor com quatro algarismos significativos e uma precisão de um décimo de centímetro. O último algarismo expressa a estimativa (incerteza) da medida, que é da ordem de um décimo de milímetro ou centésimo de centímetro. Escrevendo a mesma medida como 0,1230 m ou 0,0001230 km, têm-se os mesmos quatro algarismos significativos. Os números de zeros à esquerda indicam a posição da vírgula. Assim, tem-se que o número de algarismos significativos determina a precisão da medida.

Nas operações aritméticas envolvendo valores experimentais, deve-se manter o mesmo número de algarismos significativos da medida de menor precisão em uma operação.

### **Exemplo:**

Com quantos algarismos significativos deve-se expressar o cálculo da velocidade linear para uma partícula em movimento circular uniforme em uma trajetória com raio de 2,45 m e período de 1,377 s?

Neste exemplo o resultado correto deve ter somente três algarismos significativos. A medida do raio representa a menor precisão, com três algarismos significativos. Logo, o resultado da operação também deve ser expresso com três algarismos significativos.

## Atividades

Nas atividades que se seguem ao longo do texto observe as seguintes regras de potenciação:

$$a^p \cdot a^q = a^{p+q} \quad a^{-p} = \frac{1}{a^p} \quad (a^p)^q = a^{pq}$$

1 - Determine o número de algarismos significativos das seguintes medidas:

a) 0,000234 m

b) 2,345 °C

c)  $2,3 \times 10^{-4}$  s

d) 2,03 dm<sup>3</sup>

e)  $2,00 \times 10^3$  N

2 - Efetue o cálculo e determine o resultado final usando notação científica:

a)  $10^3 \times 10^{-2} =$

b)  $(10^{-9} \times 10^3 \times 10^{-1}) / (10^{-3} \times 10^{-5}) =$

3 - Determine o número de algarismos significativos que deve ser representado a área do grande círculo em um campo de futebol, sabendo que é medido das seguintes formas:

a) o jogador A conta o raio do círculo com passos de 0,5 m;

b) o árbitro determina o raio usando uma trena graduada em mm.

4 - Qual o valor da medida da Fig. 2? Expresse o resultado com algarismos significativos nas unidades de mm, cm e metros.

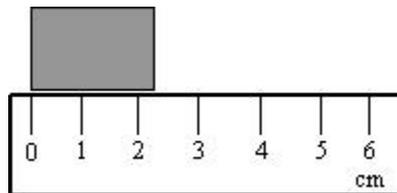


Fig. 2 - A medida do corpo deve ser expressa levando em conta os algarismos significativos.

5- Qual a precisão de um cronômetro cuja menor divisão é  $\frac{1}{4}$  de segundos?

6 - Examinando o instrumento analógico da Fig. 3, determine a precisão da escala considerando os seguintes valores para a menor escala do instrumento:

a) 1 mA;

b) 0,1 mA;

c) 0,01 mA.

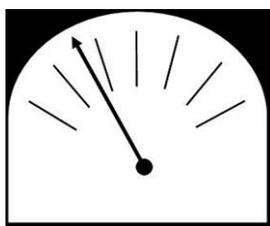


Fig. 3 - A incerteza da medida é função da escala do instrumento.

## Usando o Excel

7 - Expresse o conjunto das medidas da Tabela 2 com apenas dois algarismos significativos. Para isso, use a função arredonda do Excel: ARRED().

Primeiro abra o Excel e copie o conjunto das medidas para determinado conjunto de células. Após, escolha determinada célula para o resultado. Por fim, vá em **inserir> função** e escolha ARRED(E12;M12)

Tabela 2 – Medidas do período de um pêndulo

| T (s)  |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3,4670 | 3,5670 | 3,4360 | 3,4058 | 3,4224 | 3,4743 | 3,4555 |

8 - Compare a função ARRED() com a opção formatar células: vá em **formatar> célula> número**.

## I.2 - Precisão e exatidão de medidas

Ao medir determinada grandeza, tem-se um conjunto de fatores que acarretam uma incerteza no valor obtido, tais como: o procedimento utilizado, equipamentos e o próprio observador contribuem para que os valores medidos apresentem erros.

A teoria de erros busca determinar o melhor valor para uma grandeza a partir de  $n$  medições, atribuindo à medida um valor que mais se aproxima do verdadeiro valor desta grandeza,  $y_v$ . Assim, o erro de uma grandeza,  $\eta$ , é definido como:

$$\eta = y - y_v, \quad (1)$$

onde  $y$  representa o valor medido e  $y_v$ , o valor verdadeiro da grandeza. Por outro lado, o valor verdadeiro da grandeza,  $y_v$ , é desconhecido, afinal este é o objetivo da medida. Logo, na Eq. (1) também não se conhece o valor de  $\eta$ . Contudo, considerando que os erros envolvidos sejam de natureza estatística, é possível estimar em termos probabilísticos o valor de  $\eta$ .

É possível classificar os erros de uma medida em dois grupos: os erros sistemáticos e os aleatórios.

- **Erros Sistemáticos:** aqueles que alteram a exatidão de uma medida. Geralmente estão associados a equipamentos mal calibrados e a variáveis não consideradas na análise de determinado sistema, como temperatura, forças de atrito. Os erros sistemáticos alteram de forma sistemática toda uma série de medidas.

Por exemplo, na Fig. 4 o dispositivo empregado para gerar as marcas pretas apresenta precisão, pois as marcas se concentram em uma pequena região, porém pouca exatidão, pois esta região não está no alvo central. Há um desvio **sistemático** para baixo e para direita. Caso se use um instrumento de medida mal calibrado, por exemplo, um metro cuja graduação esteja mais espaçada do que deveria, todas as medidas que forem feitas com este metro, fornecerão valores menores que os verdadeiros. Tem-se, assim, um erro sistemático para menos.

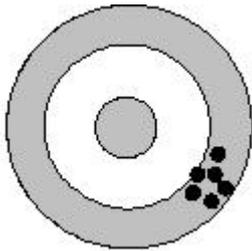


Fig. 4 - Na ilustração o dispositivo empregado apresenta muita precisão e pouca exatidão

- **Erros aleatórios (ou estatísticos):** são aqueles que produzem variações ao acaso em uma medida, relacionadas com flutuações estatísticas de uma medição  $y_i$ , de tal forma que os  $n$  resultados  $y_i$  distribuem-se de forma aleatória em torno da grandeza verdadeira  $y_v$ . Uma das possíveis fontes para erros estatísticos são os fatores ambientais, como possíveis variações de temperatura ou oscilações de sinais, como tensão da rede. Também podem estar associados a vibrações em sistemas mecânicos.

Nem sempre é possível eliminar os diferentes erros envolvidos em uma medição. Uma solução para diminuir seus efeitos é repetir muitas vezes a medição. Para  $n \rightarrow \infty$  ou  $n$  suficientemente grande, tem-se uma aproximação da média em torno do valor verdadeiro (caso não haja erro sistemático), de modo que o valor médio tem um erro estatístico aleatório menor.

Medidas que apresentam erros aleatórios, por conseguinte, quando repetidas exatamente sob as mesmas condições terão uma determinada dispersão. Isto é, têm-se flutuações dos valores individuais  $y_i$  em torno da média  $\bar{y}$ . Pode-se ver na Fig. 5 um instrumento pouco preciso, pois apresenta uma dispersão das marcas em torno do alvo.

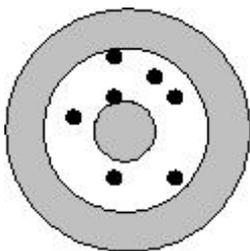


Fig. 5 - Dispositivo com pouca precisão

Na prática, os erros sistemáticos e estatísticos ocorrem simultaneamente. Assim, considera-se que para um número muito grande de medidas,  $n \rightarrow \infty$ , o valor médio da

grandeza  $\bar{y}$  é uma boa aproximação do valor médio verdadeiro  $\bar{y}_v$ , sendo a diferença entre o valor médio verdadeiro e o valor verdadeiro da medida, o erro sistemático.

### I.3 - Média e desvio padrão da média

Após tomadas  $n$  medidas de determinada grandeza física, duas estatísticas fornecem informações sobre os dados obtidos. São elas: a média e o desvio padrão.

#### I.3.1 - Valor médio de uma medida

Para  $n$  medições de uma grandeza  $y$ , em condições de repetitividade, isto é, medições idênticas, feitas com o mesmo instrumento e as mesmas condições ambientais, não teremos sempre o mesmo valor, devido aos erros aleatórios. Denominando por  $y_n$  o valor obtido para a medida  $n$ , os valores nas  $n$  medidas serão representados por

$$y_1, y_2, y_3, \dots, y_{n-1}, y_n,$$

sendo o valor médio definido por:

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_{n-1} + y_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2)$$

A Fig. 6, ilustra o comportamento da média  $\bar{y}$  para os diferentes valores medidos  $y_n$ .

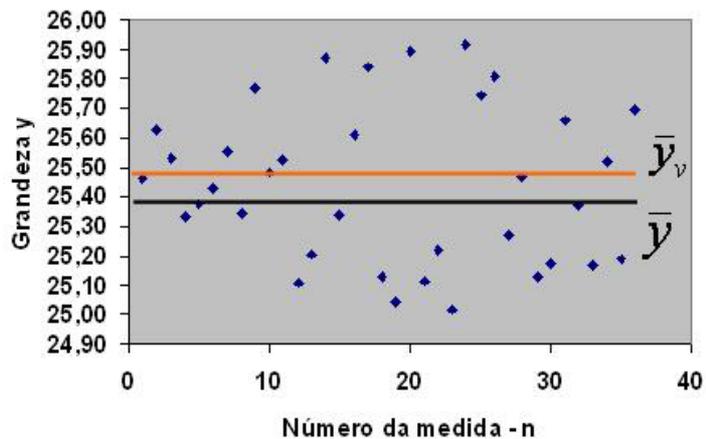


Fig. 6 - A diferença entre o valor médio e o valor médio verdadeiro é devido aos erros sistemáticos.

A medida que  $n$  cresce, o valor médio aproxima-se de um valor definido (esta afirmação decorre da lei dos grandes números), que é chamado de valor médio verdadeiro

( $\bar{y}_v$ ) ou média limite (também chamado de esperança matemática de  $y$ , ou média da distribuição”.)

Assim, o valor médio verdadeiro pode ser representado por  $\bar{y}_v = \lim_{n \rightarrow \infty} \bar{y}$ . A diferença

entre  $\bar{y}_v$  e  $\bar{y}$  (para  $n \rightarrow \infty$ ) é devido aos erros sistemáticos envolvidos no processo. Contudo como  $\bar{y}_v$  é uma quantidade desconhecida, na prática considera-se  $\bar{y}$ , de  $n$  medições, uma boa aproximação para  $\bar{y}_v$ .

Em uma análise do gráfico da Fig. 6, pode-se identificar a incerteza associada ao valor médio,  $\bar{y}$ , em relação à incerteza dos valores individuais  $y_i$  da medição. A aproximação entre  $\bar{y}$  e  $\bar{y}_v$  está relacionada ao tipo de erro da medida. Instrumento com precisão ruim (erros sistemáticos grandes) terão uma menor aproximação entre  $\bar{y}$  e  $\bar{y}_v$ .

### I.3.2 - Desvio padrão de uma medida e da média de um conjunto de medidas

O desvio padrão,  $\sigma$ , de uma medida é a estatística que descreve a dispersão de um conjunto de medidas em relação à média. E com isso temos uma informação da precisão do conjunto de medidas individuais.

Considerando  $n$  medições, com valores  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_{n-1}, y_n$ , define-se o desvio  $d_i$  de cada valor medido  $y_i$ , como  $d_i = y_i - \bar{y}_v$ . Assim, nas  $n$  medições tem-se:  $d_1, d_2, d_3, \dots, d_{n-1}, d_n$  e o valor médio dos desvios é dado por:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_v)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}_v}{n} \quad (3)$$

Como  $\sum_{i=1}^n \bar{y}_v = n \bar{y}_v$ , e  $\bar{y}$  aproxima-se de  $\bar{y}_v$ . Temos que a média dos desvios tende a ser nula

$$\bar{d} = (\bar{y} - \bar{y}_v) = 0.$$

Contudo, tomando-se a Eq. (3) e fazendo a média dos quadrados dos desvios quando  $n \rightarrow \infty$ , obtém-se a relação (4) definida como variância.

$$\sigma_v^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum (y_i - \bar{y}_v)^2 \quad (4)$$

A variância,  $\sigma_v^2$ , é um parâmetro desconhecido. A melhor estimativa experimental à variância é  $\hat{S}^2 = \frac{1}{n-1} \sum (y_i - \bar{y})$ .

O desvio padrão  $\sigma_v$ , isto é, desvio médio quadrático, é a raiz quadrada da variância:  
 $\sigma_v = \sqrt{\sigma_v^2}$ .

Na prática, uma grandeza de uso em atividades experimentais é o desvio padrão do valor médio  $S_m$ , estimado da seguinte forma:

$$s_m \approx \frac{\hat{s}}{\sqrt{n}}, \quad (5)$$

onde o desvio padrão  $\hat{s}$  é dado pela expressão:

$$\hat{S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

Pela expressão (5), observa-se que o desvio padrão do valor médio é  $(n)^{-1/2}$  vezes menor que o desvio padrão  $\hat{s}$ . Por exemplo, em um conjunto de dezesseis medidas, o desvio padrão médio  $S_m$  é  $\frac{\hat{S}}{4}$  vezes menor que o desvio padrão.

O desvio padrão do valor médio é uma medida de dispersão da média  $\bar{y}$ . Em outras palavras, o desvio padrão do valor médio informa-nos quanto a média de um conjunto de  $n$  medidas varia aleatoriamente. E, assim temos como prever a incerteza da média  $\bar{y}$  para futuras medições que podem ser realizadas. Na seção I.4, será mostrado graficamente o melhor modelo para as flutuações de um conjunto de medidas em torno da média.

## Atividades

### Simulando erros estatísticos com o Excel

A planilha Excel dispõe das funções ALEATÓRIO( ) e RANDBETWEEN (- c, c) que permitem gerar números aleatórios. A função ALEATÓRIO( ), retorna um número aleatório maior ou igual a 0 e menor que 1 distribuído igualmente e RANDBETWEEN (- c, c) gera números compreendidos entre -c e c. Ou ainda, a opção ALEATÓRIO( )\*(b-a)+a para gerar números aleatórios entre **a** e **b**. Com isso é possível escolher os números **a** e **b** em torno de um ponto central, isto é, simétricos e portanto com igual probabilidade.

É possível explorar as funções da planilha Excel para gerar números aleatórios na simulação de erros estatísticos de uma medida  $e$ , com isso, analisar o comportamento desses para um número  $n \rightarrow \infty$ . A média dos erros estatísticos deverá tender a zero, considerando a mesma probabilidade de ocorrer um erro positivo ou um erro negativo. A medida que  $n \rightarrow \infty$  tem-se que:

$$\bar{n} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \eta_n = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} (y_n - y_v) = 0 \quad (7)$$

Ou ainda, quando  $n$  tende a infinito a média dos valores obtidos tende ao valor verdadeiro da grandeza.

$$\bar{y} = y_v = \lim_{N \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_n \right) \quad (8)$$

Na Tabela 3 tem-se alguns números aleatórios de um conjunto de dez mil, obtidos usando a função **ALEATÓRIO ()\*(b-a)+a**, entre  $-0,75$  e  $0,75$ . Observe o comportamento da média para diferentes valores de  $n$ .

Tabela 3 - Na primeira linha tem-se alguns dos valores de  $N$ , na segunda linha o enésimo número aleatório gerado e na última a média dos  $n$  primeiros números aleatórios gerados.

$N$	1	2	3	...	10	...	100	...	1000	...	10000
ALEATÓRIO ()	0,44	-0,29	-0,39		-0,55		-0,67		0,58		-0,41
Média	0,44	0,37	0,55		0,1934		0,0194		0,0007		0,0004

9- Use a função Aleatório() e determine números aleatórios no intervalo de  $-2,45$  a  $2,45$ . Faça uma análise do comportamento da média para diferentes valores de  $N$ .

#### I.4 - Distribuição de erros aleatórios (Distribuição de Gauss)

Conforme visto na seção I.3 em uma medida de uma grandeza física experimental –  $y$  (*mensurando*), busca-se como um dos objetivos encontrar o valor verdadeiro da grandeza –  $y_v$ . Assim, considera-se o valor verdadeiro como desconhecido; para isso se faz medidas.

A partir disso tem-se que o erro de uma medida é definido como:  $\eta = y - y_v$ . Visto que não se conhece  $y_v$ , o erro também não é conhecido. Entretanto, considerando que o erro seja aleatório, este segue determinado modelo teórico.

Estamos constantemente procurando e usando modelos; tanto no campo conceitual, para descrever determinadas percepções, quanto para descrever determinados conjuntos de valores numéricos. Deste modo, podemos prever um conjunto de experiências. Esta é uma das

vantagens em procurar por modelos. Assim, não somos pegos de surpresa em situações novas. De certa forma o pesquisador detesta surpresas e sempre procura descrever o novo a partir de modelos já conhecidos.

Com este objetivo procuramos modelos estatísticos que melhor descrevam um conjunto de dados experimentais. Ou, em outras palavras, qual é o modelo que melhor descreve a distribuição de erros aleatórios, supondo que estes sejam resultados de um somatório de erros elementares e independentes.

Um dos modelos que descrevem a distribuição de erros é dado por uma gaussiana – distribuição gaussiana - cuja representação é ilustrada pela Fig. 7, também conhecida como distribuição normal. A equação que descreve esta distribuição é

$$G(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_v^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\bar{y}_v}{\sigma_v}\right)^2}, \quad (9)$$

na Eq. (9) o valor médio verdadeiro é  $\bar{y}_v$  e o desvio padrão verdadeiro é dado por  $\sigma_v$ , sendo  $G(y)$  a função densidade de probabilidade. Sendo a probabilidade de encontrar um valor  $y$  em um intervalo  $\Delta y$  proporcional a  $G(y)$ , e esta representa a área da gaussiana (Fig. 7).

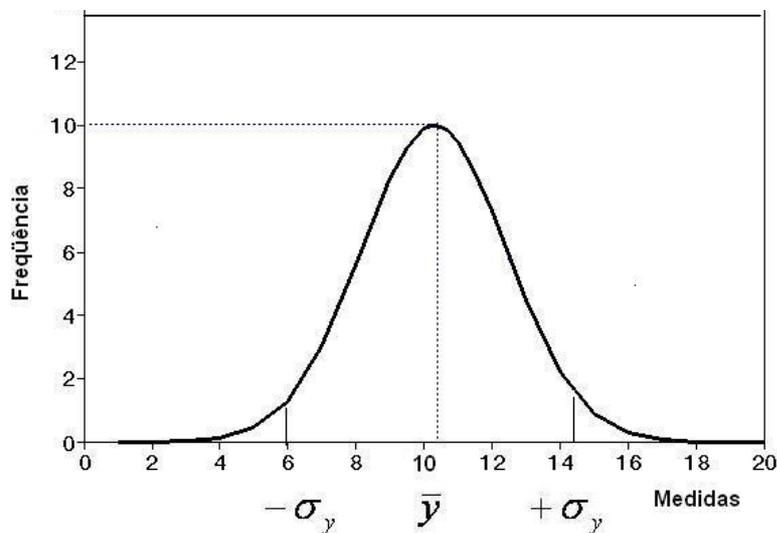


Fig. 7 - Distribuição gaussiana.

Examinando a Fig. 7, pode-se obter as estimativas percentuais da probabilidade de uma medida  $y$  encontrar-se em determinado intervalo. A Tabela 4 apresenta a probabilidade de uma medida se situar dentro do intervalo  $\bar{y} \pm \delta$ . De acordo com a tabela, aproximadamente 2/3 das medidas estão entre  $\bar{y} \pm \sigma$ .

Tabela 4 – Distribuição da probabilidade em função do desvio.

Desvio ( $\delta$ )	Probabilidade de uma medida estar no intervalo $\delta$
0	0
$1\sigma$	0,683
$2\sigma$	0,954
$3\sigma$	0,997
$\infty$	1,000

A Fig. 8 apresenta – usando uma simulação no Excel - em um histograma um conjunto de 68 medidas do diâmetro de uma moeda de 50 centavos, usando réguas de diferentes procedências e com precisão de 0,5 mm.

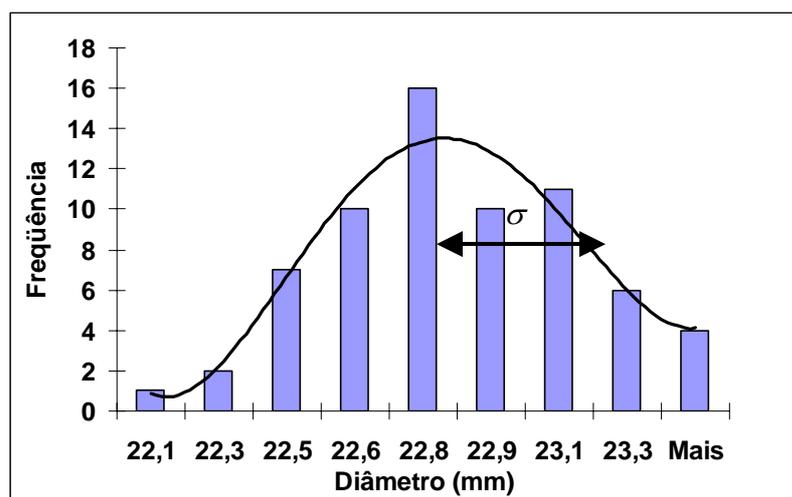


Fig. 8 - Histograma para medidas do diâmetro de uma moeda de 50 centavos.

O valor médio obtido é de  $\bar{y} = 22,81\text{mm}$  com desvio padrão de  $\sigma = 0,26\text{mm}$ . Verifica-se, conforme Tabela 4, que a melhor distribuição para as  $n$  medidas é uma curva normal.

O gráfico da Fig. 8 pode ser obtido facilmente usando a função frequência. Vá em Inserir> Função> Estatísticas e escolha a função frequência. Assim, temos a frequência com que os valores ocorrem em um determinado intervalo de valores. Pelo fato da Frequência retornar uma matriz, deve ser inserida como uma fórmula matricial. Após escolha Inserir> Gráfico e escolha o tipo de gráfico como colunas.

A Fig. 9 ilustra dois histogramas para dois conjuntos de medidas, sendo um deles com desvio padrão duas vezes maior. Observa-se que quanto menor o desvio padrão, mais aguda é a gaussiana. E, portanto, os erros maiores têm uma probabilidade menor de ocorrer.

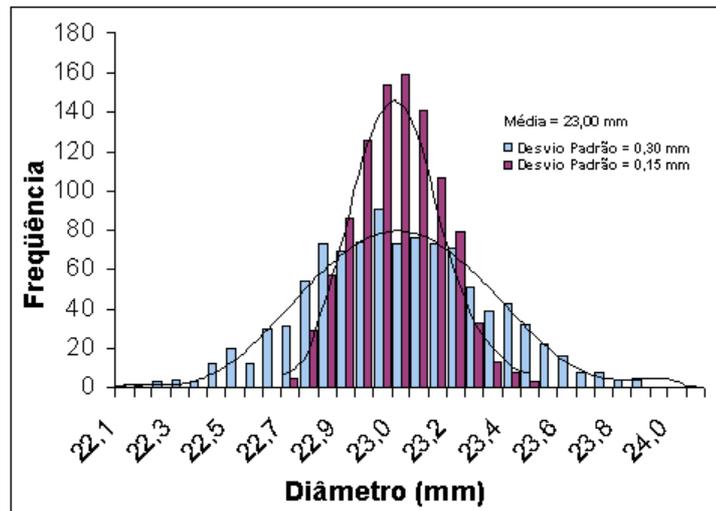


Fig. 9 - Ambas os dados descrevem a distribuição de um conjunto de medidas em torno da média para uma moeda de 50 centavos.

Também é possível constatar o comportamento da gaussiana examinando a Eq. (9). O coeficiente da exponencial é função de  $\frac{1}{2\sigma^2}$ . Assim, quanto maior o desvio padrão, mais achatada é a gaussiana, o que corresponde a uma precisão pequena.

**Determinando a média com a ferramenta “Função” do Excel:**

10 - Para o cálculo da média, utilize a opção inserir função: primeiro copie o conjunto dos dados abaixo, para uma linha da planilha. Após, escolha uma célula na qual você deseja colocar o resultado e, em seguida, no menu **inserir > função** escolha a função média, digite o intervalo de células que deseja determinar a média: MÉDIA(A12;G12)

Tabela 5 – Medidas do períodos de um pêndulo simples.

1,3245	1,4356	1,2678	1,2876	1,3034	1,31224	1,3498
--------	--------	--------	--------	--------	---------	--------

11 - As medidas de média, desvio padrão e variância da amostra podem ser determinadas de uma só vez. Para isso use a ferramenta **estatística descritiva**.

Abra o arquivo **tempo.xls<sup>2</sup>**, contendo medidas de período de um pêndulo simples. Após vá à barra de Menus e selecione **Ferramenta> Análise de dados**. Assim, teremos uma nova janela. Escolha a opção **Estatística Descritiva**. Selecione o conjunto de dados a ser analisado.

A ferramenta estatística descritiva cria um relatório com as principais informações para uma análise de um conjunto de medidas.

<b>Média</b>	<b>9,666502</b>
<b>Erro padrão</b>	<b>0,115694</b>
<b>Mediana</b>	<b>9,836378</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,834279</b>
<b>Variância da amostra</b>	<b>0,696021</b>
<b>Intervalo</b>	<b>2,772751</b>
<b>Mínimo</b>	<b>8,15021</b>
<b>Máximo</b>	<b>10,92296</b>
<b>Soma</b>	<b>502,6581</b>

12 - Use a função Aleatório() para simular o comportamento de erros estatísticos em uma medida. Considere com medida verdadeira de uma grandeza  $y_v = 4,75$ Volts. Use a função Aleatório () e acrescente erros aleatórios no intervalo de -0,75 à 0,75. Após, use a função Estatística descritiva e faça uma análise dos dados, observe o comportamento da média e desvio para os dados obtidos.

Observe os resultados obtidos na Tabela A,  $n = 2865$ , e compare com os valores com a Tabela B para  $n= 15$  medidas obtidas.

<b>Tabela A – Relatório com as principais funções.</b>		<b>Tabela B – Relatório com as principais funções.</b>	
<b>Média</b>	<b>4,751</b>	<b>Média</b>	<b>4,989</b>
<b>Erro padrão</b>	<b>0,008</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,088</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,434</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>0,342</b>
<b>Variância da amostra</b>	<b>0,188</b>	<b>Variância da amostra</b>	<b>0,117</b>
<b>Intervalo</b>	<b>1,499</b>	<b>Intervalo</b>	<b>1,229</b>
<b>Mínimo</b>	<b>4,000</b>	<b>Mínimo</b>	<b>4,264</b>
<b>Máximo</b>	<b>5,499</b>	<b>Máximo</b>	<b>5,493</b>
<b>Contagem</b>	<b>2865</b>	<b>Contagem</b>	<b>15</b>

<sup>2</sup> Disponível no CD que acompanha este material.

## I.5 - Atividades

Esta seção consta de um conjunto de três atividades, com a seguinte estrutura metodológica: a primeira atividade, desenvolvida no laboratório de física, deve ser executada em grupos de no máximo quatro alunos. Após realizar os experimentos propostos, com a ajuda do professor, serão exploradas questões relacionadas a erros, algarismos significativos e precisão de uma medida. Em seguida, na sala de informática, em grupos de dois, executar as questões pedidas com os valores obtidos nas atividades experimentais e usando funções da planilha Excel.

Por fim, a última atividade procura explorar algumas rotinas em VBA, com base nas medidas da atividade experimental.

As questões que seguem devem ser respondidas após a realização de cada uma das atividades.

- a) Quais os possíveis erros encontrados no conjunto de medidas?
- b) Com quantos algarismos significativos devemos expressar o valor da medida?
- c) Qual o procedimento que devemos seguir no arredondamento?
- d) Qual o valor mais provável da medida e como devemos expressar esse resultado?
- e) Em qual situação o zero é significativo – à esquerda / à direita?
- f) Como expressar o resultado significativo em potência de dez?
- g) Qual é a estatística que determina a flutuação (dispersão) de cada medida em torno da média?

1 – Com um barbante de 0,70 m de comprimento e um pequeno peso, construa um pêndulo e pendure em um tripé.

Usando um cronômetro digital, determine o período, medindo o tempo de apenas uma oscilação (T).

2 – Usando réguas de diferentes procedências, determine o diâmetro de uma moeda de 25 centavos. Realize uma medida com cada régua e expresse o resultado levando em conta os algarismos significativos.

3 – Usando paquímetros repita a atividade I 5.2.

4 – Nesta atividade realizada em duplas, um aluno segura uma régua pela extremidade, na vertical, colocando o início da escala entre os dedos indicador e polegar de seu colega. Sem avisar seu colega, a régua é solta e este deve pegá-la.

A partir da distância percorrida pela régua entre o início da queda e o instante em que é pega, determine o tempo de reação do colega. Arranje os dados dos diferentes grupos, em uma tabela .

## Referências

VUOLO, J. H. *Fundamentos da teoria dos erros*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

GUIMARÃES, P. S. *Ajuste de curvas experimentais*. Santa Maria: Ed. UFSM, 2001.

BUCHWEITZ, B.; DIONÍCIO, P. H. *Óptica experimental*. 2. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1994.

Aprendendo a errar. Disponível em: <<http://www.galeradafisica.com.br/fe/20/medidas.pdf>>  
Acesso em 15 out. 2005.

BUENO, W. A. *Manual de laboratório de física-química*. São Paulo: McGraw-Hill, 1980.

LOPES, P. A. *Probabilidades e estatística*. Rio de Janeiro: Reischman & Afonso, 1999.

YOUNG, H. D. *Statistical treatment of experimental data*. New York: McGraw-Hill, 1962.

MARINELLI, F. et al. Uma interpretação para os erros nas representações das medidas realizadas no laboratório didático. SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15., 2003, Curitiba. *Atas do XV*. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xv/atas/>>. Acesso em 15 de out. de 2005.

GOLDEMBERG, J. *Física geral e experimental*. Vol. 1 Ed. da USP 1968.

## II. INTRODUÇÃO AO APLICATIVO EXCEL E À LINGUAGEM VBA

**Capítulo II** – Principais comandos do aplicativo Excel e aspectos gerais da linguagem VBA.

### II.1 - Aspectos gerais da linguagem VBA

O VBA (*Visual Basic for Applications*) é uma adaptação da linguagem de programação Visual Basic que acompanha a planilha Excel. Ao construir uma aplicação em VBA, o código desta fica contido no que chamamos “macros VBA”.

Uma das vantagens oferecidas pela linguagem de programação VBA é a sua uniformidade. A linguagem está presente em todo pacote Office, e pode ser utilizada em qualquer ferramenta da Microsoft, como: MSEXCEL, MSWORD, MSACCESS, etc. Outra importante característica da ferramenta, acessada facilmente pelo menu, é a ajuda, que contém os principais conceitos da linguagem, com exemplos e aplicações em português, disponíveis ao usuário.

Dentre as demais vantagens oferecidas pelo uso de macros na planilha Excel, se destacam: automatizar seqüências de cálculos repetitivos e criar novas funcionalidades à ferramenta Excel. Assim, com o uso da linguagem VBA, o Excel torna-se uma ferramenta poderosa e com características de linguagem de programação.

Nosso propósito ao longo deste trabalho não é fornecer um curso da planilha Excel e, muito menos, ensinar a programar em VBA. Para isso, precisaríamos de no mínimo um semestre inteiro para explorar as principais funções do Excel e mais um para as funções em VBA. Contudo, vamos explorar algumas características da ferramenta com um objetivo bem determinado, que é sua aplicação na aquisição de dados em atividades de laboratório didático.

Ao longo dos tópicos da disciplina de Física, vamos explorar alguns conceitos e aplicações de macros no Excel e, ao final, culminar com o uso da ferramenta em práticas de laboratório no campo da mecânica e da termodinâmica.

### II.2 - Macros VBA

Emprega-se o termo “macro VBA” para um conjunto de instruções – procedimentos – escrito em código VBA. O VBA tem como estrutura base a linguagem Basic. Esta apresenta uma estrutura e sintaxe flexível e de fácil assimilação. O ambiente Visual (o Windows)

integrado aos produtos do pacote OFFICE com a linguagem Basic representam uma poderosa ferramenta de programação Visual.

### II.2.1 - Construindo Macros no Excel

O Excel apresenta ferramentas que facilitam a atividade de criação de macros. A ferramenta gravar uma macro é semelhante a gravar uma fita cassete: após o início da gravação, todas as tarefas executadas na planilha são convertidas automaticamente em código VBA. Assim, atividades repetitivas podem ser executadas tantas vezes quanto se queira, facilitando nosso trabalho.

### II.2.2 - Instalando o Visual Basic no Excel

Um primeiro passo para trabalhar com macros na planilha Excel é a instalação da caixa de ferramentas. Para adicioná-la, proceda como indicado na Fig. 10. Vá em **Exibir> Barra de ferramentas> Visual Basic**.

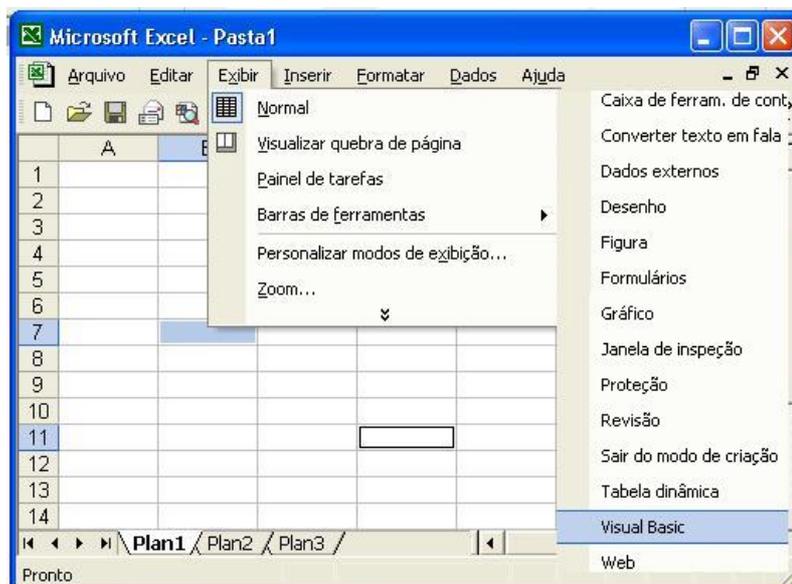


Fig. 10 - Adicionando ao Excel a caixa de ferramentas do Visual Basic

Após a instalação, aparecerá na barra de ferramentas do Excel o seguinte conjunto de botões da Fig. 11, com as funções especificadas na Tabela 6.

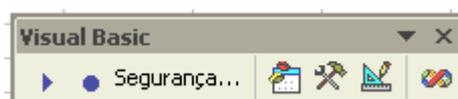


Fig. 11 - Ferramentas do VBA

Tabela 6 – Ícone mostrado na caixa de ferramentas e função desempenhada pelo botão.

	Permite escolher, criar e executar macros presentes
	Gravador de macros
	Abre o editor do VBA
	Permite abrir o conjunto de ferramentas do VBA
	Editam o conjunto de componentes inseridos na planilha do Excel

### II.2.3 - Gravando uma Macro

Para gravar uma macro, clique na opção . Deste modo teremos uma janela, Fig.12, com as seguintes opções:

**Nome da macro** - Ao gravar uma macro, escolha um nome significativo para a atividade desenvolvida.

**Teclas de atalho** – O MS Excel permite que se execute as macros por teclas de atalho.

**Armazenar macro em** – Escolha a opção **Esta pasta de trabalho**

Ao clicar **OK**, todas as tarefas executadas na planilha serão gravadas em código VBA.

Ao final das atividades, clique no botão  para finalizar a gravação.

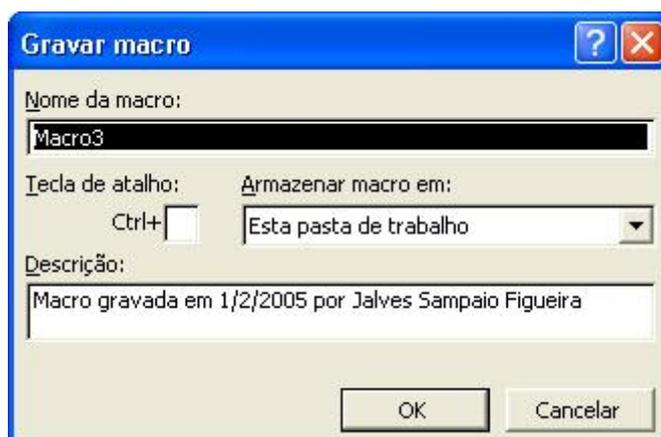


Fig. 12 - Gravador de macros

#### Atividades- 1A

1 - Com a planilha aberta escreva a equação que transforme determinada temperatura da escala Celsius para a temperatura na escala Fahrenheit. Use o gravador de macros para gravar

toda a atividade executada. Procure colocar o valor da grandeza Celsius na célula (4, 2) e o resultado na célula (4, 3). Veja figura abaixo:

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3		T (°C)	T (°F)				
4		1,0	33,8				
5							
6							

Escolha **Temperatura01** para o nome da macro e grave-a.

2 – Grave uma nova macro com o nome **Pintar** e, use **Shift + P** para teclas de atalho. Após, clique sobre a célula (5, 3) e preencha com determinada cor usando o balde de tinta, existente na ferramenta desenho. Observe que o Excel está gravando toda a atividade executada com o *mouse*.

#### II.2.4 - Executando uma Macro

Ao clicar na opção , executar macro, é aberta uma nova janela, Fig. 13, com as principais ferramentas de edição e execução de macros.

**Teclas de atalho** – Para rodar a macro utilize as teclas de atalhos escolhidas na gravação.

**Comandos** – Uma outra opção é escolher uma macro dentre uma lista de macros já gravadas e utilizar o comando .

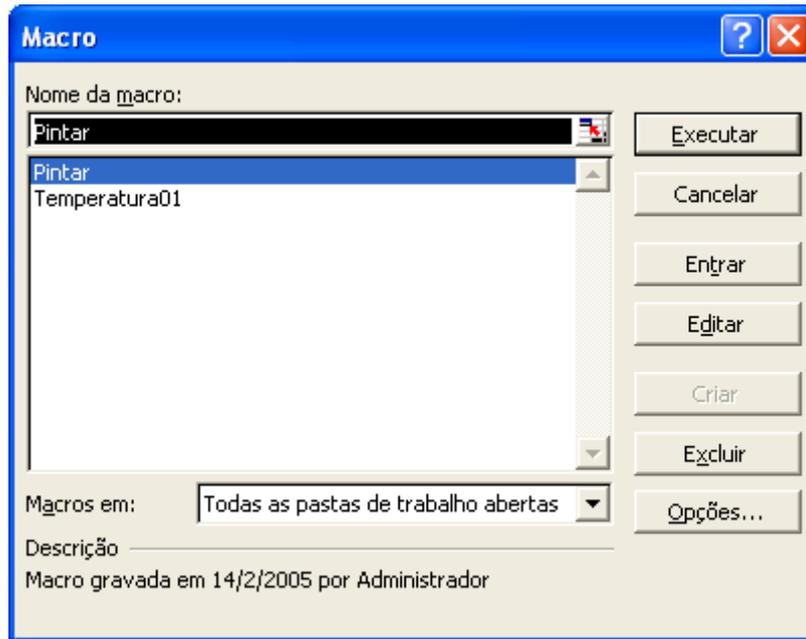


Fig. 13 – Janela que permite criar, editar e executar macros.

### II.2.5 - Editando uma Macro

Ao clicar em  é aberto um novo ambiente de trabalho, que é o editor do VBA. Assim, pode-se visualizar o código da linguagem de programação VBA.

Neste ambiente de desenvolvimento, Fig. 14, é possível observar os principais elementos da ferramenta de programação VBA:

- barra de ferramentas – fornece um conjunto de ícones para as principais funções;
- barra de menus – permite acesso a todas as funções do VBA;
- janela de projetos – mostra os projetos atualmente abertos;
- janela de módulos – exibe o módulo atual. Sequência de instruções em VBA.

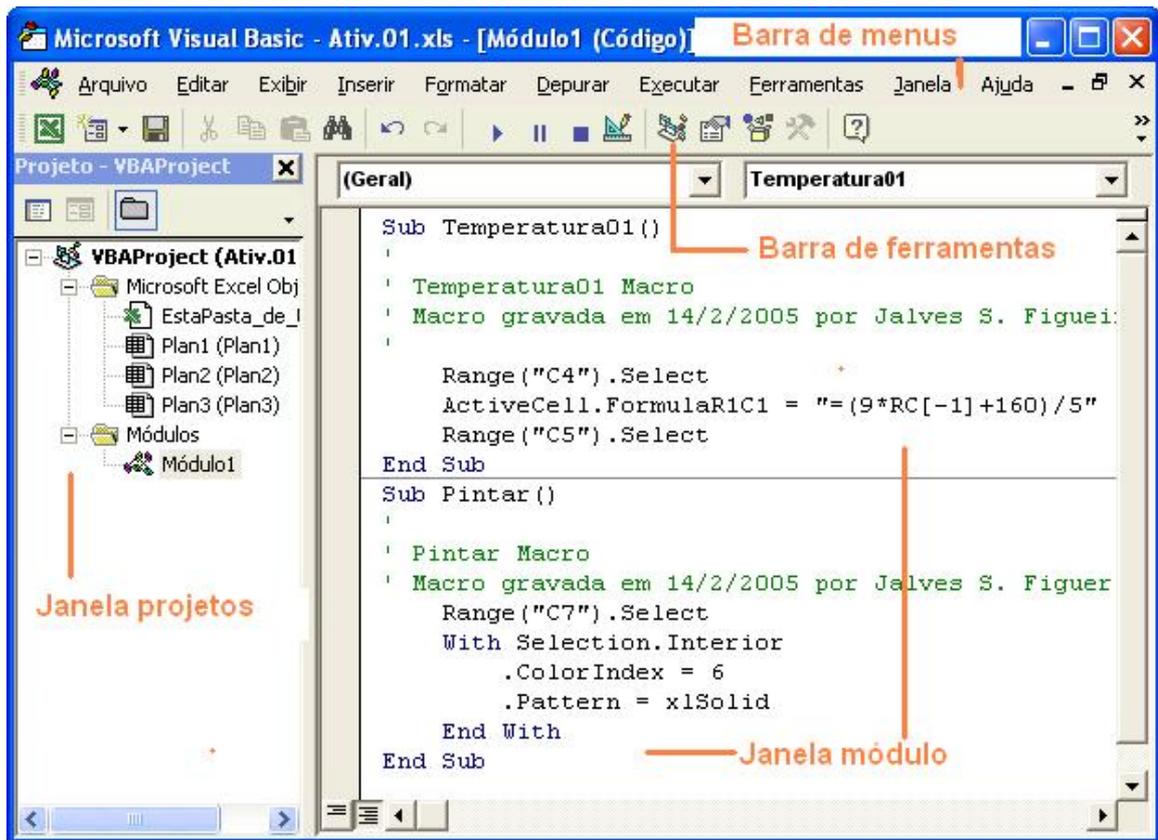


Fig. 14 - Ambiente de programação VBA.

O conjunto de instruções, na linguagem VBA, está localizado em um módulo. Pode-se identificar na pasta módulo1, Fig. 14, as macros gravadas: “**Temperatura01**” e “**Pintar**”. Observa-se ainda que o conjunto de sub-rotinas em VBA inicia com as instruções SUB e terminam com END SUB. Também é possível identificar os comentários no interior de um procedimento. Um comentário é identificado pelo símbolo apóstrofe no início da linha ou pela instrução REM (remember).

### Atividades- 2A

1 - Com o editor VBA aberto, reescreva a macro “Temperatura01” com as seguintes instruções:

```
Sub Temperatura02()
" Temperatura Macro
' Macro gravada ...
Cells(10, 3) = (9 * Cells(12, 2) + 160) / 5
End Sub
```

2 - Construa também uma macro obedecendo as seguintes instruções:

```

Sub Temperatura03()
'
' Temperatura Macro
' Macro gravada em...
'
x = Cells(12, 2).Value
Cells(10, 3).Value = (9 * x + 160) / 5
End Sub

```

Compare as instruções e identifique a função dos comandos cells (i,j)

### II.2.6 - Inserindo um botão

É possível executar as macros dos exemplos acima através de um botão de comando. Para isso, vamos inserir um botão na barra de ferramentas da planilha Excel.

Para adicionar um botão, posicione o cursor do *mouse* na barra de ferramentas da planilha e clique com o botão direito, após em **personalizar> formulários**. Localize o botão e arraste para a barra de ferramentas do Excel. Para adicioná-lo à planilha, clique sobre o botão e na área de trabalho.

Um outro caminho é **Exibir> barra de Ferramentas> Caixa de Ferramentas de Controle**.

### II.3 - Digitando o código de um programa em VBA

Uma “macro VBA” é uma série de instruções com comandos na linguagem VBA. Esse conjunto de instruções, denominado simplesmente procedimento em VBA, pode ser construído na forma de sub-rotinas ou funções; as funções VBA são sub-rotinas que retornam valores.

Uma “macro VBA” é formada por pelo menos uma sub-rotina. Desde modo, pode-se ter em um módulo um conjunto de sub-rotinas (funções) ou vários módulos cada um com suas sub-rotinas.

As sub-rotinas começam pela palavra chave SUB e terminam com End Sub. Da mesma forma as funções iniciam com Function e End Function.

Por fim, uma sub rotina tem a seguinte sintaxe:

[ **Public/ Private** ] Sub [ nome da sub rotina] ()

*‘Comentários ao longo do programa iniciam-se por apóstrofe*

*REM ou pelo comando REM(remember)*

*[Declarações]*

*End Sub*

**Public** - Opcional. Indica que o procedimento Sub é acessível a todos os outros procedimentos em todos os módulos

**Private** - Opcional. Indica que o procedimento Sub é acessível somente a outros procedimentos no módulo em que é declarado

### **Atividades – 3A**

1 - Com o editor do VBA aberto vá à barra de menus e clique em **Inserir> Módulo**. Após, digite as seguintes linhas na janela de módulos.

```
Sub Teste01()  
MsgBox " Aluno : Roberto da Silva"  
End Sub
```

2 – Neste exemplo, vamos utilizar a função InputBox. Repita o procedimento acima e insira um novo módulo. Após, digite a macro abaixo:

```
Sub Teste02()  
Resp = InputBox(" Digite o número de matrícula")  
Range("A1") = Resp  
End Sub
```

**OBS: Para executar as macros acima pressione a tecla F5 ou**



### **II.4 - Resolvendo dúvidas**

Uma importante característica da linguagem VBA é a documentação. A Microsoft disponibilizou uma ajuda, toda em português, com os principais conceitos do Visual Basic com exemplos e aplicações. Para acessar o help, clique no menu Ajuda> Ajuda do Microsoft Visual Basic.

No parágrafo seguinte, pode-se conferir a definição de Function obtida no Help do VBA. Acesse este tópico em menu **Ajuda>Ajuda do Microsoft Visual Basic> Tópicos conceituais do Visual Basic**.

Um procedimento **Function** pode utilizar argumentos, como constantes, variáveis ou expressões passadas para ele por um procedimento de chamada. Caso um procedimento **Function** não tenha argumentos, sua instrução **Function** deve incluir um conjunto de parênteses vazio. Uma função retorna um valor atribuindo um valor ao seu nome em uma ou mais instruções do procedimento.

No exemplo a seguir, a função **Celsius** calcula o número de graus Celsius a partir dos graus Fahrenheit. Quando a função for chamada a partir do procedimento **Main**, uma variável que contém o valor do argumento será passada para a função. O resultado do cálculo é retornado para o procedimento de chamada e exibido em uma caixa de mensagem.

```
Sub Main()  
    temp = Application.InputBox(Prompt:= _  
        "Digite a temperatura em graus F.", Type:=1)  
    MsgBox "A temperatura é " & Celsius(temp) & " graus C."  
End Sub  
  
Function Celsius(fDegrees)  
    Celsius = (fDegrees - 32) * 5 / 9  
End Function
```

## II.5 - Variáveis no Visual Basic for Applications (VBA)

Toda a informação armazenada no computador ocupa um determinado “espaço”. Assim, esta informação pode ser chamada durante a execução de determinado procedimento.

Nomear uma variável de memória é reservar um espaço para determinado tipo de dados. O VBA não necessita que as variáveis sejam declaradas, contudo ao declará-las otimizamos seu uso e nosso programa se torna mais legível.

Regras para nomeação de variável

- As variáveis não devem conter pontos, espaços, ou símbolos;
- O nome deve iniciar com uma letra;
- Não deve exceder 255 caracteres;
- Não podem ser utilizadas palavras reservadas do VBA. Por exemplo: Sub, End, if, Microsoft Excel.

A descrição a seguir “**Declarando Variáveis**” foi retirada do Help do VBA.

## II.5.1 - Declarando variáveis

Ao declarar variáveis, você geralmente utiliza uma instrução **Dim**. Uma instrução de declaração pode ser colocada dentro de um procedimento para criar uma variável de nível de procedimento. Ou ela pode ser colocada na parte superior de um módulo, na seção **Declarações**, para criar uma variável de nível de módulo.

O exemplo a seguir cria a variável `strName` e especifica o tipo de dados String.

```
Dim strName As String
```

Se esta instrução aparecer dentro de um procedimento, a variável `strName` poderá ser utilizada somente nesse procedimento. Se a instrução aparecer na seção **Declarações** do módulo, a variável `strName` estará disponível para todos os procedimentos dentro do módulo, mas não para procedimentos em outros módulos no projeto. Para tornar essa variável disponível para todos os procedimentos no projeto, preceda-a com a instrução **Public**, como no exemplo a seguir:

```
Public strName As String
```

Para obter mais informações sobre a nomenclatura das suas variáveis, consulte **Regras de nomenclatura do Visual Basic** na **Ajuda** do Visual Basic.

As variáveis podem ser declaradas como um dos seguintes tipos de dados: **Boolean**, **Byte**, **Integer**, **Long**, **Currency**, **Single**, **Double**, **Date**, **String** (para seqüências de caracteres de comprimento variável), **String \* length** (para seqüências de caracteres de comprimento fixo), **Object**, ou **Variant**. Caso você não especifique um tipo de dados, o tipo de dados **Variant** será atribuído como padrão. Você também pode criar um tipo definido pelo usuário através da instrução **Type**. Para obter mais informações sobre tipos de dados, consulte **Resumo de tipos de dados** na **Ajuda** do Visual Basic.

Você pode declarar diversas variáveis em uma instrução. Para especificar um tipo de dados, você deve incluir o tipo de dados para cada variável. Na instrução a seguir, as variáveis `intX`, `intY` e `intZ` são declaradas como tipo **Integer**.

```
Dim intX As Integer, intY As Integer, intZ As Integer
```

Na instrução a seguir, `intX` e `intY` são declaradas como tipo **Variant**; apenas `intZ` é declarada como tipo **Integer**.

```
Dim intX, intY, intZ As Integer
```

Você não precisa fornecer o tipo de dados da variável na instrução de declaração. Caso você omita o tipo de dados, a variável será do tipo **Variant**.

### Utilizando a instrução **Public**

Você pode utilizar a instrução **Public** para declarar as variáveis públicas em nível de módulo.

```
Public strName As String
```

As variáveis públicas podem ser utilizadas em todos os procedimentos do projeto. Caso uma variável pública seja declarada em um módulo padrão ou um módulo de classe, ela também poderá ser utilizada em qualquer projeto que faça referência ao projeto onde a variável pública é declarada.

### Utilizando a instrução **Private**

Você pode utilizar a instrução **Private** para declarar as variáveis privadas em nível de módulo.

```
Private MyName As String
```

As variáveis privadas podem ser utilizadas somente por procedimentos no mesmo módulo.

**Observação** Ao ser utilizada em nível de módulo, a instrução **Dim** é equivalente à instrução **Private**. Convém utilizar a instrução **Private** para facilitar a leitura e a interpretação do seu código.

### Utilizando a instrução **Static**

Quando você utilizar a instrução **Static** no lugar de uma instrução **Dim**, a variável declarada reterá os seus valores entre as chamadas.

### Utilizando a instrução **Option Explicit**

Você pode declarar implicitamente uma variável no Visual Basic, simplesmente utilizando-a em uma instrução de atribuição. Todas as variáveis declaradas implicitamente são do tipo **Variant**. As variáveis do tipo **Variant** exigem mais recursos de memória que a maioria das outras variáveis. O seu aplicativo será mais eficiente se você declarar as variáveis explicitamente e com um tipo de dados específico. A declaração explícita de todas as variáveis reduz a incidência de erros de conflitos de nomenclatura e de digitação.

Para impedir que o Visual Basic faça declarações implícitas, você pode inserir a instrução **Option explicit** em um módulo antes de todos os procedimentos. Essa instrução obriga-o a declarar explicitamente todas as variáveis dentro do módulo. Caso um módulo inclua a instrução **Option Explicit**, ocorrerá um erro em tempo de compilação quando o Visual Basic

encontrar um nome de variável que ainda não tenha sido declarada ou que apresente algum erro de digitação.

Você pode definir uma opção no ambiente de programação do Visual Basic para incluir automaticamente a instrução **Option Explicit** em todos os módulos novos. Para obter ajuda sobre como alterar as opções do ambiente Visual Basic, consulte a documentação do aplicativo. Observe que essa opção não altera o código existente que você gravou.

**Observação** Você deve declarar explicitamente as matrizes fixas e as matrizes dinâmicas.

### **Declarando uma variável de objeto para automação**

Quando você utiliza um aplicativo para controlar os objetos de outro aplicativo, você deve definir uma referência à biblioteca de tipos do outro aplicativo. Quando você define uma referência, pode declarar as variáveis de objeto de acordo com o tipo mais específico. Por exemplo, caso esteja no Microsoft Word ao definir uma referência à biblioteca de tipos do Microsoft Excel, você pode declarar uma variável do tipo **Worksheet** a partir do Microsoft Word para representar um objeto **Worksheet** do Microsoft Excel.

Caso você esteja utilizando outro aplicativo para controlar objetos do Microsoft Access, poderá, na maioria dos casos, declarar as variáveis de objeto de acordo com o tipo de dados mais específico. Você também pode utilizar a palavra-chave **New** para criar automaticamente uma nova ocorrência de um objeto. No entanto, talvez você deva indicar que ele é um objeto do Microsoft Access. Por exemplo, quando você declara uma variável de objeto para representar um formulário do Microsoft Access, a partir do Microsoft Visual Basic, deve diferenciar o objeto **Form** do Microsoft Access de um objeto **Form** do Visual Basic. Inclua o nome da biblioteca de tipos na declaração da variável, como no exemplo a seguir:

```
Dim frmEncomendas As New Access.Form
```

Alguns aplicativos não reconhecem tipos de objeto individuais do Microsoft Access. Mesmo se definir uma referência à biblioteca de tipos do Microsoft Access a partir desses aplicativos, você deve declarar todas as variáveis de objeto do Microsoft Access como tipo **Object**. Você também não pode utilizar a palavra-chave **New** para criar uma nova ocorrência do objeto. O exemplo a seguir mostra como se declara uma variável para representar uma ocorrência do objeto **Application** do Microsoft Access a partir de um aplicativo que não reconhece tipos de objeto do Microsoft Access. Em seguida, o aplicativo cria uma ocorrência do objeto **Application**.

```
Dim appAccess As Object
```

```
Set appAccess = CreateObject("Access.Application")
```

Para determinar a qual sintaxe um aplicativo oferece suporte, consulte a documentação do aplicativo.

## II.6 - Atividades

### II.6.1 - Atividades usando funções da planilha Excel

1 – Com o Excel aberto, crie uma nova planilha para cada atividade realizada no laboratório (seção I.5). Digite os valores e determine, para cada conjunto de atividades, as seguintes estatísticas:

a- média ( $\bar{y}$ );

b- desvio da média para cada medida ( $|y_i - \bar{y}|$ );

c- desvio padrão da média ( $S_{\bar{y}}$ ).

2 - Use a função Aleatório() e determine números aleatórios no intervalo de -2,45 a 2,45 .Faça uma análise do comportamento da média dos números aleatórios gerados para diferentes valores de  $n$ .

Com ajuda de um gráfico explore, o comportamento da média em função do número de medidas.

3 - Utilize a função frequência do Excel e construa um histograma para as atividades 1 e 2.

### II.6.2 - Atividades com a linguagem VBA no Excel

4 - Usando a linguagem VBA

Com o editor do Visual Basic aberto, insira um novo módulo. Após, na janela módulo escreva uma subrotina para cálculo da média, use os valores da atividade anterior.

Compare a macro criada com a opção que segue.

```
Sub média()  
For i = 1 To 7  
y = Cells(12, i).Value  
x = y + x  
Next  
media = x / 7  
Cells(1, 1) = media  
End Sub
```

Procure explorar esta macro, alterando os valores das variáveis, e acrescentando novos dados.

5 - Com o Editor do Visual Basic aberto, procure construir uma macro para determinar a média das atividades experimentais e use o comando Format (número,"0.00") expressando os valores das medidas com três algarismos significativos.

6 - Semelhante à função ARRED do exemplo anterior, a linguagem VBA possui o comando *Format (número, "0.00")*. Com este comando é possível converter determinada expressão para um número x("0.00") de casas decimais.

Com o editor do Visual Basic aberto, use o comando Format (número,"0.00") em uma macro expressando os valores das medidas com três algarismos significativos.

Compare a macro criada com a opção abaixo:

```
Sub Atividade8 ()  
For i = 1 To 7  
x = Cells (23, i)  
y = Format(x, "0.00")  
Cells (24, i).Value = y  
Next  
End Sub
```

7 - Repita a atividade anterior usando a instrução Do loop: Compare a macro criada com a opção abaixo

```
Sub Atividade9()  
Do  
i = i + 1  
x = Cells (23, i)  
y = Format(x, "0.00")  
Cells (24, i).Value = y  
Loop Until i = 7  
End Sub
```

Obs: Procure explorar estas macros identificando as funções de cada linha.

8- Os períodos de movimento de rotação de um disco estão gravados no arquivo Período.xls. Construa uma macro com estes dados para determinar a velocidade angular do disco sabendo que este possui raio  $R = 3,45$  cm. Expresse o resultado incluindo apenas os algarismos significativos.

## Referências

FERNANDES, M. *Desenvolvendo aplicações poderosas com Excel e vba*. Florianópolis: Visual Books, 2004.

MATTOS, L. *Treinamento avançado em Excel*. São Paulo: Digerati Books, 2004.

WELLS, E. *Desenvolvendo soluções e aplicações em excel7/ visual basic*. São Paulo: Makron Books, 1997.

### III. MOVIMENTOS PERÍODICOS I

**Capítulo III** – Apresenta o uso da placa de som do microcomputador em sistemas de aquisição de dados. Estrutura da entrada e tipos de entradas da porta de jogos: analógica e digital. Atividades experimentais de medidas tempo e intensidade luminosa. Rotinas em VBA para leitura das entradas.

Neste capítulo são descritos a placa de som com suas principais entradas e ao final, duas importantes aplicações da aquisição de dados utilizando a entrada digital da porta de *joystick*. A primeira atividade explora os principais conceitos associados a um pêndulo simples; medidas do período em função da amplitude e análise das energias envolvidas. O segundo experimento explora a partir de um brinquedo - um pião rotante - conceitos importantes da física do movimento circular e dinâmica de corpo rígido.

#### III.1 - Sinal analógico e digital

Sinais analógicos são aqueles que podem ser representados por uma função contínua. São exemplos de sinais analógicos as grandezas físicas, tais como tensão e corrente, temperatura e intensidade luminosa. Todos possuem variações contínuas em função do tempo.

Em um microfone a onda sonora, de sinal analógico, produz vibrações mecânicas em um pequeno diafragma, que são transformadas em variações contínuas da corrente elétrica. Na Fig. 15, tem-se uma representação de um sinal analógico. As variações da amplitude do sinal representam variações de tensão.

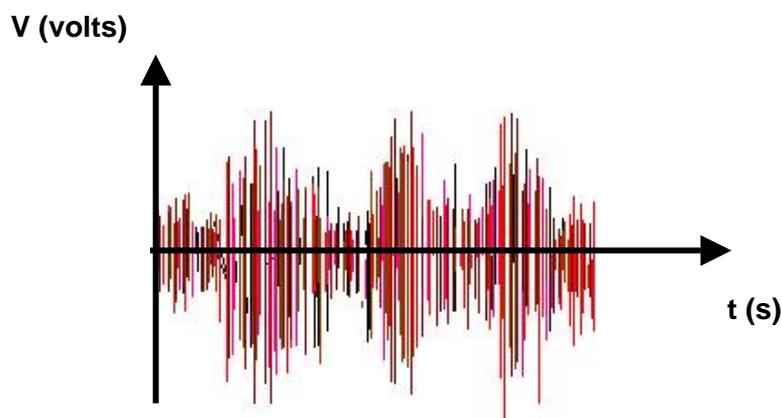


Fig. 15 - Representação do sinal elétrico na entrada do microfone.

A onda sonora, após ser captada pelo microfone, é convertida em variações de tensão que também correspondem a um sinal analógico. Para que o microcomputador “entenda”, ou melhor, processe a informação, esta deve passar primeiro por um conversor analógico/digital (conhecido pela sigla em inglês – ADC<sup>3</sup>).

Os conversores possibilitam que o sinal seja convertido em “palavras” de 8, 16, 32 ou 64 Bits. Um Bit (*Binary Digit*) corresponde à menor unidade de informação que pode ser processada. A Fig. 16 ilustra o processamento de um sinal na entrada do microfone.

Após o sinal ser digitalizado e a informação ser processada, é possível com o uso de determinados *softwares*, como Excel ou *Spectrogram*, determinar as características do sinal, traçando curvas de frequências e intensidade sonora. De maneira inversa, o conversor digital/analógico transforma uma “palavra” em sua entrada, em analógica na saída (tensão ou corrente).

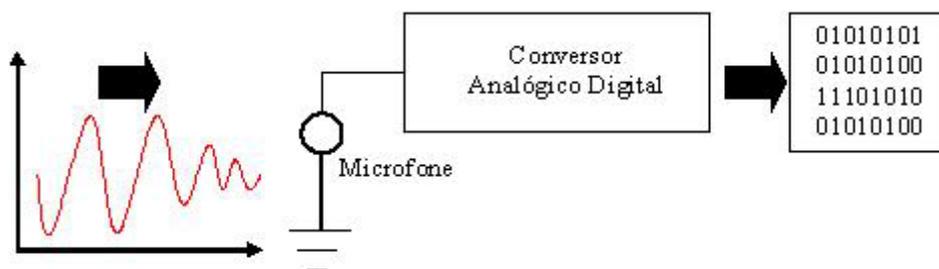


Fig. 16 - Representação do processamento de um sinal na placa de som transformado em uma "palavra" de 8 bits.

### III.2 - Placa de som

Uma das primeiras interfaces de comunicação entre o PC e o mundo externo, a placa de som, está presente desde o surgimento dos primeiros computadores pessoais, tornando estes mais próximos dos aparelhos ditos domésticos, na medida em que apresenta uma diversidade de possibilidades de interfaceamento, como amplificadores, microfones e instrumentos de som.

---

<sup>3</sup> ADC do inglês *Analog Digital Converted*.

No ensino, mais especificamente no uso do microcomputador como instrumento de medidas, a placa de som permitiu que inúmeros experimentos didáticos, até então possíveis somente em sistemas importados e com custo elevado, fossem realizados de forma acessível e com baixo custo comparado a sistemas comerciais.

No final da década de 1980, surgem em revistas nacionais de ensino as primeiras propostas de aquisição de dados usando a entrada da placa de som. Experimentos usando o microfone e a entrada de *joystick* são propostos em medidas de intervalo de tempo, resistência elétrica e temperatura, envolvendo conceitos no campo da mecânica, oscilações e termodinâmica.

A linguagem dos computadores é binária, isto é, todo o processamento de informação se dá de forma digital, sendo a unidade básica no processamento da informação “palavras” compostas por grupos de números 0 (bit baixo) e 1 (bit alto). Microfones, sensores (apresentados na seção X) e alto-falantes trabalham com sinais analógicos, ou seja, apresentam como característica principal uma variação contínua no tempo. Assim, a placa de som, geralmente, é a única interface de comunicação analógico-digital e digital-analógico disponível na grande parte dos microcomputadores.

As principais entradas disponíveis na placa de som são: entrada de *joystick*, entrada de microfone, saída de áudio e interface MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*).

A Fig. 17 ilustra uma determinada placa de som e as possíveis entradas de sinais. Nesta placa temos as seguintes entradas: *Line out*, *Line in*, áudio, *joystick* e o sinal MIDI. A entrada MIDI utiliza alguns pinos do conector de *joystick*, para isso necessita de um adaptador especial.

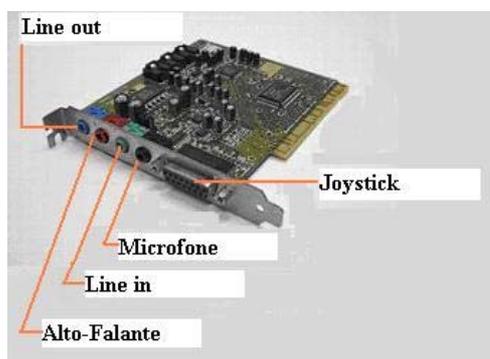


Fig. 17- Placa de som com as entradas de áudio e joystick.

No decorrer das atividades desenvolvidas, serão abordados experimentos de mecânica e termodinâmica usando a linguagem VBA via a entrada da porta de jogos. Dentre as diversas vantagens apresentadas pelo uso da placa de som na aquisição de dados, destacamos o baixo

custo em relação às interfaces comerciais, a segurança contra riscos à placa mãe do microcomputador e a dispensa de circuitos eletrônicos externos que desempenham o papel de interface analógico-digital.

### III.2.1 - Entrada de joystick da placa de som

A entrada de jogos ou de joystick utiliza um conector do tipo DB15, com interface para dois joysticks. A Fig. 18 detalha a numeração dos pinos deste conector, assim como indica a função de cada um dos pinos e a tensão (terra ou 5V) fornecida pela porta de jogos. A grande parte dos joysticks trabalha com dois botões e dois potenciômetros cujas resistências variam de 0 a 100 k $\Omega$  (até 150 k $\Omega$ ).

A CPU do microcomputador escreve e lê na porta no endereço I/O 201h (hexadecimal) com “palavras” de 8 bits, sendo quatro bits para as entradas analógicas e quatro para as digitais.

Os joysticks usuais possuem dois botões (A e B) correspondentes às entradas digitais, e dois potenciômetros (X e Y), às analógicas. Na seção V será visto com detalhes o circuito elétrico da porta de jogos. É possível enviar informação para o microcomputador pressionando (liberando) os botões e/ou variando as resistências dos potenciômetros. Ao movimentar o braço do joystick para esquerda-direita (eixo X) variamos a resistência de um dos potenciômetros. De maneira análoga, ao movimentar para frente-trás (eixo Y) mudamos a resistência de um outro potenciômetro.

Nas atividades e experimentos de medidas de intervalo de tempo, usamos sensores conectados à entrada digital, e nas medidas de temperatura e de intensidade luminosa, às entradas analógicas.

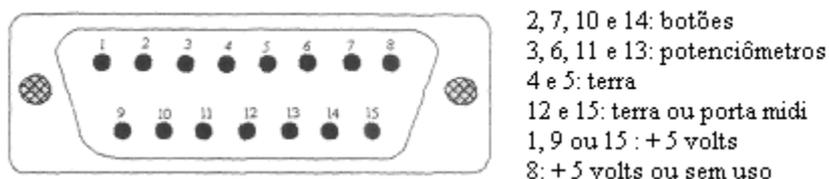


Fig. 18 - Numeração dos diversos pinos do soquete onde é conectado o joystick.

### III.2.2 - Detecção nas entradas digitais da porta de jogos

Como foi descrito na seção I, o computador usa o sistema binário constituído pelos dígitos 1 (um) e 0 (zero). O conjunto de entradas digitais e analógicas forma uma “palavra” ou

um *byte*<sup>4</sup>. Ao ler a entrada da porta de jogos, o computador recebe um *byte* de informação, que corresponde a oito bits: um bit para cada um dos quatro botões e para cada uma das quatro entradas analógicas, conforme esquematizado na Fig. 19. Os bits de 0 a 3, da direita para esquerda, informam os estados dos potenciômetros; os de número 4 a 7 informam os estados dos botões.



Fig. 19 - Posição dos bits no byte.

Ao ser pressionado um botão, o potencial na linha de saída torna-se 0 V (veja circuito na Fig. 6), colocando o bit correspondente no valor “0”. Quando o botão é solto, o potencial na linha retorna para seu valor original (5 V) e o valor do bit passa a ser “1”. Para se coletar informação via entrada digital, é necessário um sistema que altere o valor do bit de “0” para “1”, ou vice-versa, quando determinado evento ocorrer. Para medidas de intervalos de tempo, um sistema apropriado pode ser construído com um emissor e um receptor de infravermelho. Quando não há obstáculo que impeça a passagem do feixe entre o emissor e o receptor, o sistema permanece em “0”; se houver bloqueio do sinal luminoso, o receptor passa para o “1”. Com um *software* apropriado, por exemplo, a planilha Excel, utilizada neste trabalho, pode-se registrar se o sistema está no estado alto ou baixo em função do tempo e, então, determinar o tempo de bloqueio.

### III.2.3 - Detecção nas entradas analógicas da porta de jogos

Vejamos a análise da entrada analógica, a partir do exame do circuito elétrico da Fig. 20. O funcionamento da entrada ocorre da seguinte forma: o capacitor C, está carregado (5 V) por meio da resistência (R) e dos potenciômetros (X e Y). Assim, a saída apresenta um nível lógico alto (1). Quando enviado um sinal (um valor qualquer) para as entradas, inicia-se um processo de descarga do capacitor C, e o sinal passa de alto (1) para um nível lógico baixo (0). Ao atingir um determinado tempo a saída retorna ao seu estado lógico (1) no tempo dado pelo

<sup>4</sup> Lê-se baite. No Dicionário Houaiss já consta a palavra baite, mas preferimos aqui usar sua grafia original em inglês.

circuito RC. Assim, por meio de *software* é possível determinar o tempo em que o sinal permanece baixo (0) e a partir deste dado determina-se o valor da resistência conectada à entrada (Eq. 10).

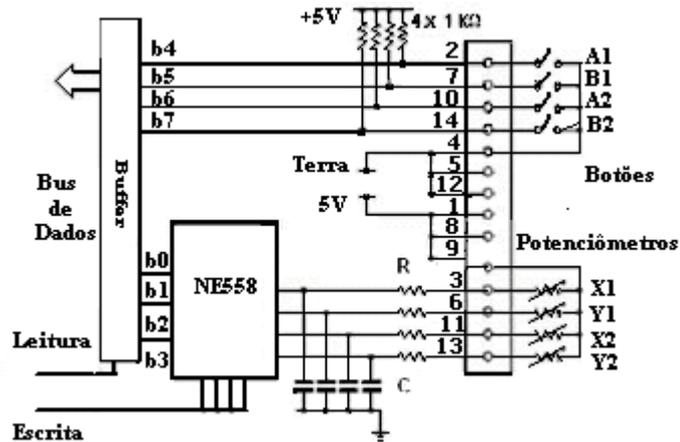


Fig. 20 - Esquema da porta de jogos.

Em outras palavras deve-se primeiro enviar um dado à porta (endereço 201h). Em seguida efetuar a leitura dessa porta, determinando o tempo em que o nível lógico permanece baixo (0). Este tempo é função direta do valor da resistência conectada a entrada que esta sendo monitorada. O valor da resistência é determinado conhecendo-se as constantes da Eq. 10.

$$R = \alpha (\Delta t) + \beta \quad (10)$$

Nas medidas de temperatura, é necessário conectar um sensor cujo valor da resistência dependa da temperatura. Um dos componentes indicado é um termistor, tipo NTC (do inglês: *Negative Temperature Coefficient*).

Da mesma forma, nas medidas de intensidade luminosa, usa-se um semiconductor que apresente uma variação da resistência com a intensidade luminosa. O componente mais indicado, para nossos propósitos, é um LDR (*Light Dependent Resistor*) ou um fototransistor. No Capítulo IV serão detalhados ambos os componentes.

### III.3 - Acessando o *hardware* com o Excel –VBA

A leitura de um *byte* na porta de jogos somente é possível com o uso de arquivos de uma biblioteca de *links* dinâmicos, do tipo DLL<sup>5</sup>, que contêm funções específicas para a

<sup>5</sup> Arquivos do tipo DLL (*Dynamic Link Library*) contêm uma coleção de comandos e dados que podem ser compartilhados por diferentes programas de uma mesma plataforma. Programas executáveis carregam os arquivos DLL enquanto rodam.

leitura e registro dos valores das entradas. Pode-se encontrar na rede diversas opções, algumas gratuitas, para acesso da porta de jogos. As principais, usadas no decorrer das atividades são: io.dll e inpout32.dll – encontradas gratuitamente na rede. Neste trabalho usamos arquivo inpout32.dll, que apresenta a possibilidade de leitura, através da função inp32, e de escrita, com out32.

### III.3.1 - Configurando uma DLL no editor VBA

Para ter acesso ao editor do Visual Basic, proceda da seguinte forma: com a planilha do Excel aberta, clique em exibir. Após, em barras de ferramentas e, por fim, em Visual Basic. Assim estará disponível uma caixa de ferramentas para trabalhar com macros. As macros construídas para a coleta de dados terão as seguintes funções: executar cálculos e testes repetitivos e ler o *byte* de informação presente na porta de jogos.

Para que o Visual Basic reconheça as funções (*inp32* e *out32*) e leia o valor do *byte* presente na porta de jogos, há necessidade de configuração da dll. Com a planilha do Excel aberta proceda da seguinte forma: a) abra o Editor do Visual Basic; b) na barra de ferramentas insira um novo módulo; c) copie a seguinte linha de comando:

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
```

```
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Byte
```

```
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
```

```
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal value As Byte)
```

d) após copie o arquivo inpout32.dll para a pasta do diretório Windows/System.

Estamos agora em condições de utilizar as funções inp32 e out32 presente no arquivo inpout32.dll.

### III.3.2 - Identificando um *bit* na entrada da porta de jogos na linguagem VBA

Ao utilizar a função inp32 da biblioteca inpout32.dll obtém-se um *byte* em sua representação decimal. Isto é, a função inp32 retorna um número compreendido entre 0 e 255. Para saber o valor de cada bit presente no *byte*, deve-se converter este valor para sua representação binária. Deste modo podemos identificar os diferentes bits do *byte* na entrada do conector DB15.

Um dos métodos que permitem identificar os diferentes bits do *byte* correspondente é o operador lógico And. O operador lógico And é representado em matemática pelo símbolo “^”.

Em lógica duas proposições p e q podem ser combinadas pelo conectivo e para formar uma nova proposição, sendo o valor lógico (verdadeiro ou falso) da conjunção de duas proposições (p ^ q) verdadeiro, se, e somente se, cada componente for verdadeira. Para melhor entendimento e análise dos valores lógicos, usa-se a tabela verdade (Tabela 7).

Tabela 7- Tabela-verdade da operação de conjunção

<b>p</b>	<b>q</b>	<b>P ^ q</b>
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	F

Assim, ao usar o operador lógico **AND** tem-se como resultado uma comparação lógica bit-a-bit, entre duas expressões numéricas. A Tabela 8 ilustra o resultado da operação lógica com a função lógica **AND**. Como exemplo, considere duas expressões numéricas: A = 8 e B = 10. O número decimal 8 é representado no sistema binário por 1000, e o número decimal 10 é representado por 1010. Comparando bit-a-bit os números binários 1000 e 1010 e usando a Tabela 8, tem-se como resultado o valor 1000, que no sistema decimal é igual a 8. Portanto o valor associado a A = 8 e B = 10, é o valor 8. Note que verdadeiro está associado ao número 1, falso ao 0 e nulo à ausência do algarismo.

Ao utilizar esse recurso pode-se facilmente identificar se o sinal em determinado *bit* encontra-se no nível “1” ou “0”. Por exemplo, para identificar se o sinal no *bit* dois (B2) encontra-se alto (“1”) ou baixo (“0”), usamos a seguinte expressão com o operador **AND**:

$$x = \frac{inp32 \text{ and } 4}{4}$$

Tabela 8 - Comparação lógica entre duas expressões numéricas

Se <i>expressão1</i> for	E <i>expressão2</i> for	O resultado será
Verdadeira	Verdadeira	Verdadeiro
Verdadeira	Falsa	Falso
Verdadeira	<u>Nula</u>	Nulo
Falsa	Verdadeira	Falso
Falsa	Falsa	Falso
Falsa	Nula	Falso
Nula	Verdadeira	Nulo
Nula	Falsa	Falso
Nula	Nula	Nulo

Disponibilizamos em anexo um texto de Forgiarini, L. S. (2005), a qual descreve o sistema binário e decimal e questões relacionadas à conversão de números de uma das bases para a outra.

### III.4 - Transdutores

Transdutores (ou sensores) são dispositivos que transformam uma determinada grandeza física em um sinal elétrico, ou vice-versa. Na Tabela 9, têm-se os principais sensores, usados em sistemas de aquisição de dados no laboratório didático. Nas atividades deste capítulo, faremos uso de dois semicondutores para medidas de intervalo de tempo. Nosso sistema de sensores é composto por um emissor e um receptor de infravermelho. Na Fig. 21 vê-se um esquema do sistema ótico de medida. Os números apresentados do lado esquerdo da figura correspondem à numeração dos pinos do conector DB15 macho. O diodo emissor (B) é um LED de uso geral e o receptor (A), um fototransistor, Til75 ou equivalente. Um resistor (R) de 330 ohms deve ser ligado em série para limitar a corrente que circula pelo LED. O feixe de infravermelho é refletido pela superfície S e dirigido para o receptor. Na parte inferior da figura, vê-se detalhes do circuito emissor e receptor.

Tabela 9 - Principais sensores usados em sistemas de aquisição de dados

Grandeza Fisica	Transdutor	Aspecto / Símbolo
Posição Espacial	Potenciômetro	
Intensidade Luminosa	Fotodiodo	
Intensidade Luminosa	LDR (Luz Dependent Resistor)	
Temperatura	Termistor NTC (Negative Temperature Coefficient) e PTC (Positive Temperature Coefficient)	
Som	Microfone	
Som	Auto-falante	

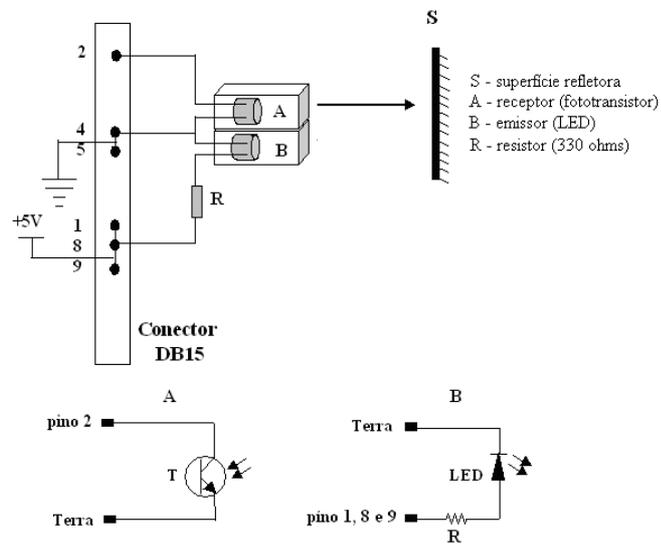


Fig. 21 - Disposição dos sensores na entrada digital da porta de jogos.

## Atividades com a entrada digital da porta de *joystick*

### III.5 - Atividades

Nas atividades experimentais que se seguem, e do capítulo IV, usaremos o dispositivo de entrada de sinal ilustrado na Fig. 22. Este é composto por uma caixa plástica, com cabo de quinze vias para conexão à entrada de *joystick* da placa de som, contendo oito entradas, que se acoplam, com um conector do tipo *Jack*, mono, às quatro digitais e às quatro analógicas. Este dispositivo nada mais é do que a extensão do conector de joystick DB15, que foi tratado na seção III.2.1.



Fig. 22 - Extensão do cabo DB15.

Os sensores usados nas próximas atividades experimentais, tais como termistor, LDR e fototransistor, também estarão soldados a um plug P2 mono, (Fig. 23), permitindo que sejam facilmente conectados à entrada de sinal.



Fig. 23 - Conector P2 macho.

Um LED verde sinaliza o conjunto de entradas digitais e o vermelho as entradas analógicas. Verifique a posição do LED na caixa de entrada (Fig. 22). Lembrando que, de acordo com a seção III.2.2 as oito entradas correspondem a oito bits, formando um *byte* de sinal.

Serão explorados duas atividades com o microcomputador em medidas de intervalo de tempo. As medidas são efetuadas com sensores ligados à entrada da porta de *joystick* da placa

de som de um microcomputador. Para isso, usa-se linguagem VBA (*Visual Basic Application*) que acompanha a *software* Excel na aquisição automática de dados

Os experimentos foram escolhidos de modo a explorar aquelas situações em que: i) são necessárias medidas em intervalos de tempo pequenos para serem coletadas manualmente, por exemplo, medidas de frequência em polias em experimentos de determinação do momento de inércia e medidas para o estudo da cinemática de rotação de um pião girante; ii) há necessidade de um monitoramento em tempos prolongados, como em medidas do período de um pêndulo durante o tempo de amortecimento em grandes amplitudes.

### III.5.1 - Identificando um *bit* no *byte* da porta de jogos

Nesta atividade, será utilizada uma chave tipo *push button*, normalmente aberta (NA) (Fig. 24). A Fig. 25 ilustra a caixa de entrada com duas dessas chaves ligada às entradas digitais (LED verde).



Fig. 24 - Chave liga-desliga tipo push button.

O experimento consiste em identificar os bits do *byte* recebido, quando a chave é pressionada em uma das quatro entradas.



Fig. 25 - Caixas de entrada com chaves push button.

A rotina para esta atividade encontra-se disponível no apêndice A.

Ao executar o arquivo, procure explorar as diferentes entradas, colocando a chave em uma das quatro posições. Analise o valor do *Byte* recebido e a posição da chave.

### III.5.2 - Pêndulo Simples

O objetivo desta prática é analisar as variações no período ( $T$ ) de um pêndulo, em função das grandezas comprimento, massa e amplitude do movimento. E, comparar os valores obtidos no experimento de aquisição de dados com os valores obtidos usando um cronômetro manual visto no primeiro capítulo.

Nosso pêndulo consiste de um corpo de massa  $m$ , suspenso por um barbante de comprimento  $l$ . A massa do fio, para nossos objetivos, é desprezível. Também consideraremos que o fio é inelástico, ou seja, não varia sua extensão. Consideraremos, ainda, que a massa pendular está toda concentrada em um ponto. Com estas aproximações, podemos considerar o modelo do pêndulo simples como aceitável para descrever este sistema.

Quando afastado da posição de equilíbrio e solto, o pêndulo oscila em um plano vertical, sob a ação da força gravitacional ( $m g$ ), assim tem-se um movimento oscilatório e periódico.

As forças que atuam na partícula de massa  $m$  - considerando as dimensões do corpo suspenso desprezíveis - são: o peso e a tensão do fio. A resultante das forças na direção radial ( $= T - m g \cos \theta$ ) fornece a força centrípeta que atua no pêndulo. A componente tangencial  $m g \sin \theta$  se constitui em uma força restauradora.

A Fig. 26 apresenta um pêndulo com as componentes da força gravitacional sobre o corpo de massa  $m$ .

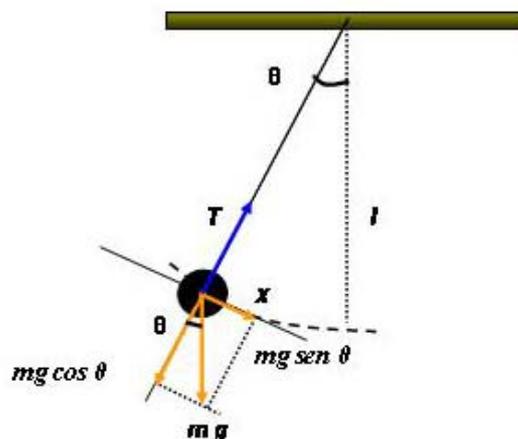


Fig. 26 - Pêndulo simples sujeito a força tangencial  $m g \sin \theta$ .

Partindo da componente da força peso na direção tangencial, tem-se

$$F = -m g \operatorname{sen} \theta, \quad (11)$$

e considerando pequenas amplitudes, aproximadamente  $\theta \leq \frac{\pi}{12}$ , isto é,  $\operatorname{sen} \theta = \theta$ . tem-se

$F = -m g \theta$ . Lembrando que a trajetória é um arco de raio  $R = l$ , sendo  $l$  o comprimento do fio. E, que  $\theta = \frac{x}{l}$  com isso a Eq. (11) assume a seguinte forma

$$F = -m g \frac{x}{l} \quad \text{ou} \quad F = -K x, \quad (12)$$

onde  $K = \frac{m g}{l}$ .

Pode-se identificar na Eq. (12), uma característica do movimento harmônico simples, isto é, a força restauradora sendo proporcional ao deslocamento e de sentido oposto a este.

Assim, lembrando da equação do período do movimento harmônico simples  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  e, da relação (12) consegue-se a relação que determina o período um pêndulo simples para pequenas amplitudes:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (13)$$

### Material para prática

O material desenvolvido para esta atividade experimental consta de um conjunto emissor e receptor de infravermelho, disposto em peças de lego. A Fig. 27 ilustra a posição dos semicondutores com respectivas peças de lego.

Os sensores são conectados à entrada digital (primeira entrada), usando para isso a caixa de extensão do conector DB15. Veja Fig. 28.

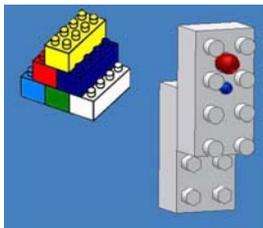


Fig. 27 - Detalhe da montagem do emissor (LED) e receptor de infravermelho (Til75) em peças de lego.



Fig. 28 - Extensão do cabo DB15.

O conjunto de materiais para esta atividade resume-se a:

- esfera de aço com diâmetro de cerca de 2 cm (a esfera que usamos tem:  $d = 0,0189$  m);
- cordão;
- sensores de infravermelho e conjunto de peças de lego;
- extensão do cabo de *joystick*;
- tripé para fixação do pêndulo
- macro Pêndulo.xls (apêndice B)

### Procedimento experimental

Posicione o sensor e ajuste o comprimento do pêndulo (0,70 m) de modo que o centro da esfera de aço passe pelo feixe de infravermelho, Fig. 29.

Execute a macro Pêndulo.xls (apêndice B) e coloque o pêndulo a oscilar em pequenas amplitudes. Observe o valor das medidas, na coluna dos períodos, apresentada na planilha Excel.

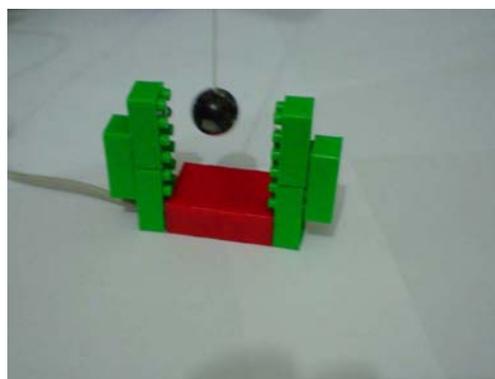


Fig. 29 - Disposição do pêndulo e conjunto de sensores.

### **Medidas do período para pequenas amplitudes**

- a) Procure analisar o comportamento da curva que aparece no gráfico.
- b) Compare o valor do período obtido neste experimento com o valor determinado na atividade realizada com o cronômetro manual do Capítulo I.
- c) Determine a média e o desvio da média nas medidas do período.
- d) Discuta com o grupo os possíveis erros e cuidados que o experimento exige.
- e) Como se relacionam as diferentes energias envolvidas no decorrer das oscilações?
- f) Usando a função análise de dados do Excel, construa um histograma para os dados.

### **Medidas do período para grandes amplitudes**

Nesta prática procure abandonar o pêndulo para “amplitudes grandes” (discuta com o grupo o significado de “amplitudes grandes”). Em seguida execute a macro pêndulo.xls e deixe o sistema oscilar por determinado tempo.

- a) Observe no gráfico o valor do período em função do número de oscilações.
- b) Faça uma análise a partir da relação teórica do período e o critério de aproximação para o seno do ângulo.
- c) Discuta com colegas a validade da equação para o período e para que intervalo de ângulo esta equação torna-se um bom modelo.
- d) Afinal, o que você diria sobre a seguinte afirmativa: O período de um pêndulo é independente da amplitude.

### III.5.3 - Análise do movimento de rotação de um pião

Nesta aplicação vamos trabalhar com “velocidades altas” e, portanto, não é possível uma coleta usando cronômetro manual. O objetivo da prática é determinar a velocidade de um pião e como esta varia em função do tempo de giro. No decorrer da prática, veremos que nosso experimento não serve apenas para medidas de velocidade de um pião. Este é apenas um pretexto inicial. As possíveis aplicações são parte de um item das atividades.

A montagem é apresentada na Fig. 30. O emissor (LED) e receptor (transistor) de infravermelho estão presos nas peças de lego. A superfície do pião é refletora e, estando ela à frente do sistema ótico, o feixe de infravermelho é desviado no sentido do receptor. Uma fita adesiva preta, anti-reflexiva, fixa no pião, é necessária para que o sinal na saída do fototransistor seja alternado entre “0” e “1” (e vice-versa) a cada giro do pião.

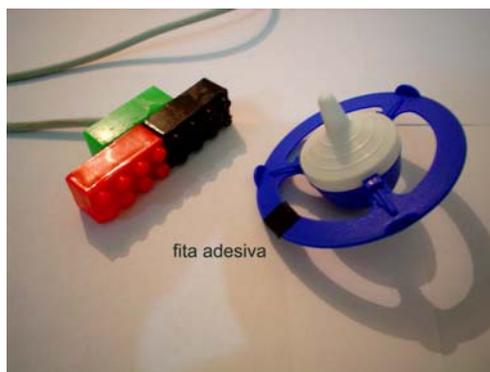


Fig. 30 - Detalhe do conjunto de lego, pião e sensores.

Algumas considerações devem ser feitas sobre o modelo usado na interpretação dos dados:

- não deve ser considerado o movimento de precessão do pião, pois as medidas devem ser tomadas no início do movimento do pião, quando este efeito ainda não é relevante;
- considera-se somente o torque produzido pelas forças de atrito, pelo argumento que segue.

A dinâmica do movimento é descrita pela equação<sup>6</sup>:

$$I \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{\tau}_a + \vec{\tau}_c \quad (14)$$

<sup>6</sup> O caráter vetorial desta equação é dispensável, pois sua validade se restringe ao caso em que o pião gira em torno de um eixo vertical, como no presente caso.

onde  $\vec{\tau}_a$  é o torque devido à força de arraste, que é função de características do fluido, no caso ar, do tamanho e forma do pião e do módulo da velocidade angular do pião em relação ao ar; e,  $\vec{\tau}_c$  é o torque devido à força de contato, que é uma função de várias variáveis, com estrutura complexa. Porém como o braço de alavanca da força de contato é muito pequeno,  $\tau_a \gg \tau_c$  e em uma boa aproximação pode-se desprezar  $\tau_c$  frente à  $\tau_a$ . Assim, no lado direito da Eq. 14 pode-se levar em conta somente o efeito da força de arraste, que deverá ser proporcional a  $\omega$ , ou a  $\omega^2$  ou a uma combinação de ambos.

O torque produzido pela força de arraste produz uma desaceleração no pião, reduzindo o valor da velocidade angular. A Eq. 14 mostra a relação de proporcionalidade entre o torque e o valor da aceleração angular ( $\vec{\alpha} = d\vec{\omega}/dt$ ).

### **Material para prática**

- rotina em VBA Pião.xls (apêndice C).
- conjunto de sensores e peças de lego;
- pião.

### **Questões e sugestões para estudo pelo grupo**

Antes de executar o experimento é importante que se faça uma análise da macro Pião.xls. Procure:

- a) identificar os principais comandos usados, com as equações envolvidas;
- b) relacione os ramos da física que descrevem as leis do movimento de rotação de um pião;
- c) identificar as forças exercidas no pião;
- d) discutir com o grupo as semelhanças (caso existam) entre a dinâmica do movimento de um disco girante e a rotação de um pião;
- e) fazer uma análise das leis que descrevem a dinâmica do movimento de rotação de um corpo rígido;
- f) refletir com os colegas em que possíveis experimentos a macro Pião.xls poderia ser útil.

## Referências

AGUIAR, C. E.; LAUDARES, F. Aquisição de dados usado Logo e a porta de jogos do PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-380, dez. 2001.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Usando o excel para medidas de intervalo de tempo no laboratório de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 203-211, Set. 2004.

Planilhas Excel para aquisição de dados via entrada digital. Disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/excel\\_digital.html](http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/excel_digital.html). Acesso em 15 de out. 2005.

HAAG, Rafael - Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 2, p. 176-183, jun. 2001.

## IV. MOVIMENTOS PERÍODICOS II

**Capítulo IV**– Neste capítulo desenvolvem-se dois experimentos com a entrada analógica da placa de som: medidas da intensidade luminosa e oscilações em um sistema massa-mola.

Seguindo a mesma metodologia das atividades do Capítulo III, neste módulo vamos explorar a entrada analógica da placa de som em dois experimentos de laboratório, um sistema massa-mola e em medidas de intensidade luminosa. Para um melhor entendimento da entrada analógica, veja descrição seção III.2.3

O material necessário para realização das atividades e conexão dos sensores será a extensão do *joystick* (Fig. 31) também utilizado nas atividades do Capítulo III.



Fig. 31- Extensão do cabo DB15 com entradas digitais e analógicas.

### IV.1 - Sensor de luz – LDR (*light dependent resistor*) resistor dependente da luz)

Nos experimentos a seguir, faremos uso do componente eletrônico conhecido como LDR. Este permite realizar uma gama de experiências em conjunto com a porta de jogos. Como característica favorável, apresenta um custo acessível e fácil manuseio. Não apresenta polaridade e com isso não oferece dificuldades na ligação à entrada de sinais.

O LDR apresenta uma variação em sua resistência em função da intensidade luminosa aplicada. Isto é, com o aumento da intensidade luminosa o valor de sua resistência aumenta e vice-versa (esta característica é explorada na atividade IV.1.1). A Tabela 9 do Capítulo III apresenta o aspecto físico com a simbologia deste componente.

Para nossos propósitos, o LDR foi disposto no interior de um tubo de uma caneta (Fig. 32), e com isso pode-se focalizar a intensidade de luz em apenas uma direção.



Fig. 32 - LDR com cabos disposto no interior de uma caneta.

Nossa primeira atividade irá explorar o componente eletrônico LDR e a linguagem VBA. Portanto a atividade será aberta: com o auxílio do professor procure explorar o componente, discutindo com os colegas as rotinas e a entrada analógica.

#### IV.1.1 - Explorando o sensor LDR e a entrada analógica da placa de som

Após o conectar a caixa de sinal (Fig. 31) na entrada de *joystick*, ligue no sensor de luz à entrada B5 – que corresponde ao primeiro bit da entrada analógica. Com o Excel aberto, execute a macro LDR.xls (apêndice D).

Procure explorar o valor do sinal lido em função da intensidade luminosa.

Observe o comportamento do gráfico obtido, examinando-o para diferentes valores de intensidades de luz.

A Fig. 33 ilustra a variação da resistência na entrada analógica em função da intensidade de luz aplicada ao sensor LDR.

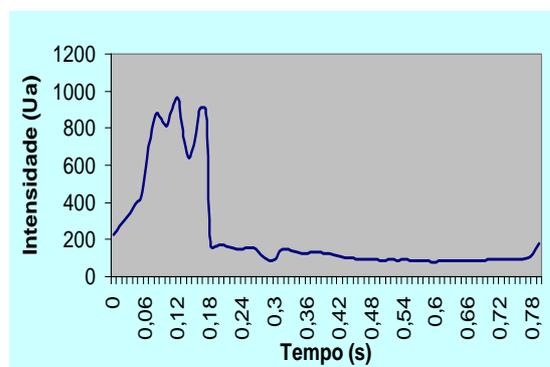


Fig. 33 - Variação da intensidade de luz em função do tempo.

## IV.2 - Atividades

### IV.2.1 - Oscilações – Sistema massa-mola

Nas próximas atividades iremos explorar o sistema massa-mola. A montagem do experimento está ilustrada na Fig. 34, com a disposição do sensor e suporte para prender a mola.

Monte o sistema massa-mola conforme a Fig. 34. Suspenda determinada massa de valor conhecido na mola.



Fig. 34 - Sistema massa- mola com sensor LDR

Com a planilha do Excel aberta, execute o arquivo OscHarmonico.xls (apêndice E) e em seguida, coloque o sistema em movimento, puxando levemente a massa para baixo.

Verifique o comportamento dos dados pela análise gráfica e procure responder às seguintes questões:

- qual é a forma do gráfico?
- qual é o valor do período para o movimento?
- explore o comportamento do período para diferentes massas;

### IV.2.2 - Determinando a constante elástica da mola

Considerando o sistema em equilíbrio, tem-se que a força da gravidade e a elástica se anulam. A força elástica é diretamente proporcional à deformação  $F = -Ky$ , sendo  $K$  a constante elástica da mola e  $y$  a deformação. Assim, na condição de equilíbrio temos

$$K = \frac{m g}{y}, \quad (15)$$

onde  $m$  é a massa suspensa e  $g$  a aceleração da gravidade. O período do sistema oscilatório é dado pela relação

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}, \quad (16)$$

onde  $K$  é a constante elástica e,  $m$  a massa do corpo suspenso. Está sendo desconsiderada a massa da mola.

### Questões para discussão com o grupo

Procure examinar o comportamento do gráfico da amplitude em função do tempo e discuta com o grupo:

-Como você determinaria a constante da mola ( $K$ ) usando os valores obtidos no gráfico do Excel.

-Qual o comportamento do sistema para valores diferentes de  $m$ ? E com diferentes molas?

-O que acontece ao sistema se acrescentarmos mais molas?

A Fig. 35 ilustra as oscilações de um sistema massa-mola, obtidos para uma mola de constante  $K$ , e massa  $m$ .

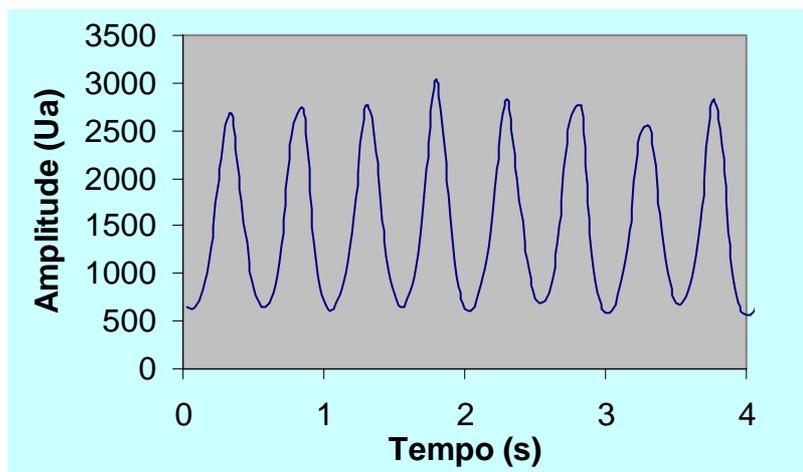


Fig. 35 - Valores obtidos para um sistema massa-mola.

## Referências

AGUIAR, C.E.; LAUDARES, F. Aquisição de dados usando logo e a porta de jogos do pc. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-380, dez. 2001.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Usando o excel para medidas de intervalo de tempo no laboratório de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 203-211, Set. 2004.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. *Macro pêndulo: Planilha Excel para leitura da entrada digital da porta de jogos*. Disponível em:< <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/tempo.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

HAAG, Rafael - Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 2, p. 176-183, jun. 2001.

## V. MEDIDAS DE TEMPERATURA COM UM TERMISTOR – NTC

**Capítulo V** - Neste capítulo serão exploradas medidas de temperatura com um termistor - Tipo NTC (*negative temperature coefficient*). Este sensor apresenta uma variação em sua resistência em função da temperatura, a partir de uma macro em VBA são lidos os valores da resistência.

A temperatura de um corpo é definida pelo estado de agitação das partículas que constitui o corpo. Assim, quanto maior a agitação – energia cinética – maior é a temperatura do corpo.

Nos metais, temos como consequência do aumento da temperatura, um aumento do número e intensidade de choques dos elétrons com os átomos da rede cristalina. Portanto, tem-se o aumento da resistência elétrica do metal. A relação entre resistência ( $R$ ) e temperatura ( $T$ ) é dada pela função  $R(t) = R_0 \alpha (\Delta T)$ , onde  $R_0$  corresponde a resistência a temperatura  $0^\circ\text{C}$  e  $\alpha$  é uma constante positiva que é função das características do metal.

Nos termistores (Fig. 36) – um aumento da temperatura acarreta uma diminuição da resistência. Isto acontece porque estes materiais, produzidos com óxido de metais como manganês, níquel, cobalto, cobre, ferro, titânio são elementos muito sensíveis a variações de temperatura, apresentando um aumento de elétrons livre com o aumento da temperatura. Como exemplos dos termistores, temos os NTC e os PTC: o primeiro com coeficiente negativo de temperatura e o segundo com coeficiente positivo. Isto significa que nos NTC a resistência diminui e nos PTC a resistência aumenta em função da temperatura.



Fig. 36 - NTC ligado a um plug tipo P2.

A relação entre resistência e temperatura nos termistores tipo NTC não é linear. A função que relaciona o valor da resistência ( $R$ ) e temperatura ( $T$ ), segue uma exponencial, com o seguinte aspecto:

$$R = R_0 e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}, \quad (17)$$

onde  $R$  corresponde à resistência em relação à temperatura  $T$  e  $R_0$  à temperatura  $T_0$ . A constante  $\beta$  é característica do material e tem o valor entre 2500 a 4000 K.

A Eq. 17 também pode ser escrita na forma

$$\ln\left(\frac{R}{R_0}\right) = -\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right), \quad (18)$$

Assim, tem-se uma relação linear entre a variação do inverso da temperatura e o logaritmo de  $\frac{R}{R_0}$ , sendo  $\beta$  o coeficiente da reta.

### V.1 - Atividades com o termistor NTC

A macro (apêndice F) desenvolvida para esta atividade tem a função semelhante às anteriores, ou seja, a de ler o valor da resistência na entrada analógica da porta de jogos.

Para isso conecte o sensor de temperatura (Fig. 36) à entrada de sinais. Em seguida, execute a macro, procurando examinar o valor da resistência obtida para diferentes temperaturas.

Nesta primeira atividade com o termistor, procure explorar o mesmo aquecendo-o com os dedos ou resfriando com um leve sopro no componente. Examine o comportamento do gráfico, procurando-o identificar se o coeficiente  $\beta$  possui um valor negativo ou positivo.

A Fig. 37 ilustra um gráfico obtido, com o sensor NTC, para determinadas variações de temperatura.

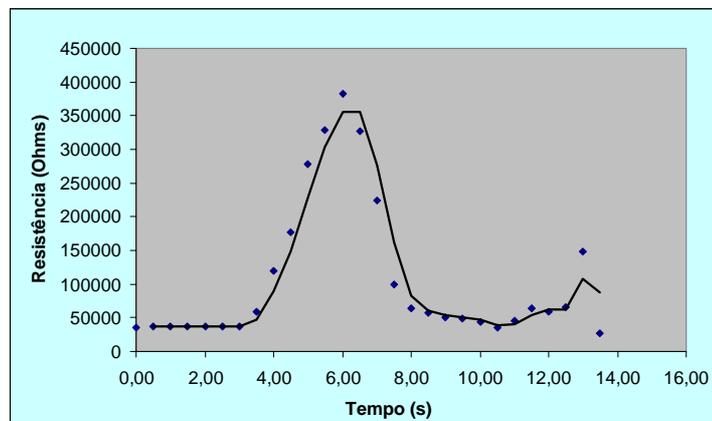


Fig. 37 - Valores de resistência obtidos nos terminais de um NTC.

### V.1.1 - Determinando o coeficiente $\beta$

O objetivo desta prática é determinar os coeficiente  $\beta$ , definida na função (17), e a partir desse valor ajustar a curva exponencial para medidas de temperatura com o NTC.

#### **Procedimento Experimental:**

Para esta atividade há necessidade dos seguintes materiais:

- copo de Becker;
- termômetro;
- água;
- aquecedor;
- macro NTC.xls
- Caixa de entrada de sinais.

Coloque um pouco de água no Becker, posicionando o aquecedor e o termômetro de um dos lados. Após conectar o sensor à entrada de sinais, insira-o na água. Em seguida execute a macro NTC.xls (apêndice F).

Observe se a resistência medida na planilha aumenta com o aquecedor ligado. Procure anotar para diferentes valores de temperaturas os valores correspondentes da resistência (Kohms).

Construa o gráfico de  $R$  ( $K\Omega$ ) x  $T$  (K) na planilha Excel. Observe o comportamento da resistência com o aumento da temperatura em Kelvin (K). Qual a função que melhor descreve o gráfico?

A partir da Eq. 18, procure determinar o coeficiente  $\beta$  da curva e em seguida use este na função dada pela Eq. 17 convertendo o valor da resistência em temperatura (K).

Na Fig. 38 tem-se um gráfico do valor da resistência  $R$ (Kohms) em função da temperatura (k) obtida para dois termistor tipo NTC.

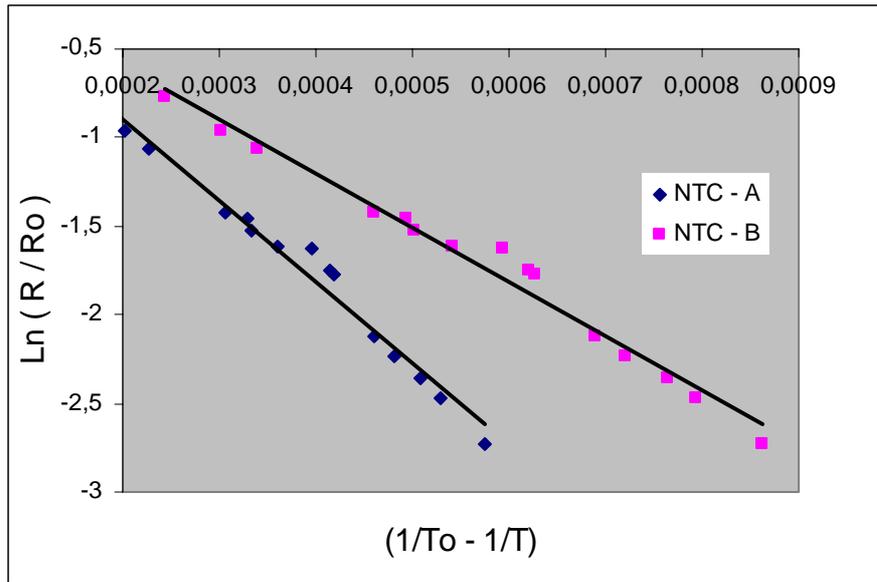


Fig. 38 - Medidas de resistência em função da temperatura de dois NTC.

## Referências

AGUIAR, C.E.; LAUDARES, F. Aquisição de dados usando logo e a porta de jogos do pc. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-380, dez. 2001.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Usando o excel para medidas de intervalo de tempo no laboratório de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 203-211, Set. 2004.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. *Macro pêndulo: Planilha Excel para leitura da entrada digital da porta de jogos*. Disponível em:< <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/tempo.html>>. Acesso em: 23 jan. 2005.

HAAG, Rafael - Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 2, p. 176-183, jun. 2001.

## **APÊNDICES**

**Apêndice A - Macro para identificar um *byte* na entrada de *joystick*.**

## Apêndice A

### Macro para identificar um byte na porta de *joystick*.

```
Public PortAddress As Integer
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Byte
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Byte)
Sub PalavraByte()
'Aquisicao usando MACRO do EXCELL- Identificando um byte
'jalves@pb.cefetpr.br
Dim x As Integer
x = Inp(513)
Worksheets("Byte").Cells(9, 2).Value = x
End Sub
```

**Apêndice B - Macro para determinar o período de um pêndulo.**

## Apêndice - B

Macro para determinar o período de um pêndulo.

Option Explicit

Global Periodo As Single

Global Vangular As Single

Global i As Integer

Global Raio As Single

Global Diametro As Single

Global count As Integer

Global x0 As Integer

Global xi As Integer

Global x1 As Integer

Global t0 As Long

Global t1 As Long

Global t2 As Long

Global t3 As Long

Global t4 As Long

Global Matriz() As Long

Global PortAddress As Integer

Public Declare Function timeGetTime Lib "winmm.dll" () As Long

Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" \_

Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Byte

Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" \_

Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Byte)

' Aquisicao usando MACRO do EXCELL - PENDULO SIMPLES

' jalves@pb.cefetpr.br

Sub Pendulo\_Simples()

Raio = Worksheets("Plan1").Cells(12, 1).Value

Diametro = Worksheets("Plan1").Cells(12, 2).Value

PortAddress = &H201

23 xi = (Inp(PortAddress) And 16) / 16

```

If xi = 1 Then
t0 = timeGetTime
x0 = xi
Else
GoTo 23
End If
Do Until DoEvents
x1 = (Inp(PortAddress) And 16) / 16
If x0 <> x1 Then
t1 = (timeGetTime - t0)
t0 = timeGetTime
ReDim Preserve Matriz(count)
Matriz(count) = t1
count = count + 1
If count > 3 Then
x0 = x1
Calculos
count = 0
End If
x0 = x1
End If

Loop
End Sub
Sub Calculos()
t1 = Matriz(0)
t2 = Matriz(1)
t3 = Matriz(2)
t4 = Matriz(3)
Periodo = Format((t1 + t2 + t3 + t4) / 1000, "0.000")
Vangular = Format((Diametro / Raio) * 1000 / (t3), " 0.000")
i = i + 1
Worksheets("Plan1").Cells(i + 9, 4).Value = Periodo

```

```
Worksheets("Plan1").Cells(i + 9, 5).Value = Vangular  
ReDim Matriz(5)  
End Sub
```

**Apêndice C - Macro para medida do período de rotação de um pião**

## Apêndice – C

Macro para medida do período de rotação de um pião

Option Explicit

Global n As Integer

Global Periodo As Single

Global Vangular As Single

Global i As Integer

Global count As Integer

Global x0 As Integer

Global xi As Integer

Global x1 As Integer

Global t As Long

Global t0 As Long

Global t1 As Long

Global t2 As Long

Global t3 As Long

Global t4 As Long

Global t5 As Single

Global Matriz() As Long

Global PortAddress As Integer

Public Declare Function timeGetTime Lib "winmm.dll" () As Long

Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" \_

Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Byte

Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" \_

Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Byte)

' Aquisicao usando MACRO do EXCELL - Movimento de um Pião

' jalves@pb.cefrtpr.br

Sub Piao\_Clique()

xi = 0

x0 = 0

```

PortAddress = &H201
23 xi = (Inp(PortAddress) And 16) / 16
If xi <> x0 Then
t0 = timeGetTime
x0 = xi
Do
x1 = (Inp(PortAddress) And 16) / 16
  If x1 <> x0 Then
    t1 = timeGetTime
    t = (t1 - t0)
    t0 = t1
    ReDim Preserve Matriz(count)
    Matriz(count) = t
    count = count + 1
    x0 = x1
  End If
Loop Until count >= 250
count = 0
Calculos
Else
GoTo 23
End If
End Sub
Sub Calculos()
Do Until count >= 250
t = Matriz(count)
n = n + 1
t3 = t + t3
count = count + 1
If n = 6 Then
  Periodo = t3 / 1000
  t5 = t5 + Periodo / 2
  Vangular = Format((6 * 3.1415) / Periodo, " 0.000")
  i = i + 1

```

```
Worksheets("Plan1").Cells(i + 9, 4).Value = t5
Worksheets("Plan1").Cells(i + 9, 5).Value = Vangular
t5 = t5 + Periodo / 2
n = 0
t3 = 0
End If
Loop
count = 0
i = 0
t5 = 0
End Sub
```

## **Apêndice D - Macro para medidas com sensor LDR**

## Apêndice - D

### Macro para experimento com sensor LDR

```
' Macro1 Macro
' Macro gravada em 09/04/05 por Jalves Figueira CEFET-Pato Branco-PR
' jalves@pb.cefetpr.br
' Explorando o sensor LDR
fim = False
t0 = timeGetTime
    Do
DoEvents
    t1 = timeGetTime
    x1 = medida(0)
    t2 = timeGetTime
    t1 = (t2 + t1) / 2
    t = t1 - t0
    Cells(13 + j, "B").value = x1
        Cells(13 + j, "A").value = t / 1000
        j = j + 1
        If 160 <= j Then
t0 = timeGetTime
j = 0
End If
    If fim = True Then End
Loop
j = 0
t0 = timeGetTime
End Sub
Function medida(X As Byte) As Single
Dim m As Long
    For k = 0 To 10
        Call PortOut(PortAddress, 4)
10            m = m + 1
```

```
If GetPortBit(PortAddress, X) Then GoTo 10
```

```
Next
```

```
medida = m / 10
```

```
End Function
```

```
Sub encerrar()
```

```
  fim = True
```

```
End Sub
```

## **Apêndice E - Macro para o sistema massa-mola**

## Apêndice- E

Macro para o sistema massa-mola

Variáveis

Option Explicit

Public Declare Sub PortOut Lib "io.dll" (ByVal Port As Integer, ByVal Data As Byte)

Public Declare Function PortIn Lib "io.dll" (ByVal Port As Integer) As Byte

Public Declare Sub SetPortBit Lib "io.dll" (ByVal Port As Integer, ByVal Bit As Byte)

Public Declare Sub ClrPortBit Lib "io.dll" (ByVal Port As Integer, ByVal Bit As Byte)

Public Declare Function GetPortBit Lib "io.dll" (ByVal Port As Integer, ByVal Bit As Byte)

As Boolean

Public Declare Function IsDriverInstalled Lib "io.dll" () As Boolean

Public Const PortAddress As Integer = &H201

Public t1 As Single

Public t2 As Single

Public temp As Single

Public tempo2 As Long

Public fim As Boolean

Public x1 As Single

Public x2 As Single

Public t0 As Single

Public t As Single

Public j As Integer

'Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" \_

'Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Byte

'Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" \_

'Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal value As Byte)

Public Declare Function timeGetTime Lib "winmm.dll" () As Long

Sub Massa\_mola()

' Macro1 Macro

' Macro gravada em 09/04/05 por Jalves Figueira CEFET-Pato Branco-PR

' jalves@pb.cefetpr.br

'Oscilador Harmônico Simples

fim = False

t0 = timeGetTime

Do

DoEvents

t1 = timeGetTime

x1 = medida(0)

t2 = timeGetTime

t1 = (t2 + t1) / 2

t = t1 - t0

Cells(13 + j, "B").value = x1

Cells(13 + j, "A").value = t / 1000

j = j + 1

If 160 <= j Then

t0 = timeGetTime

j = 0

End If

If fim = True Then End

Loop

j = 0

t0 = timeGetTime

End Sub

Function medida(X As Byte) As Single

Dim m As Long

For k = 0 To 10

Call PortOut(PortAddress, 4)

10 m = m + 1

If GetPortBit(PortAddress, X) Then GoTo 10

Next

medida = m / 10

End Function

Sub encerrar()

fim = True

End Sub

**Apêndice F- Macro para medidas da temperatura com NTC**

## Apêndice - F

Macro para medidas da temperatura com NTC

Option Explicit

Public ut As Single

Public tempTotal As Single

Public te As Long

Public Ua As Integer

Public Uhum As Single

Public Udois As Single

Public k As Single

Public resistencia As Single

Public temperatura As Single

Public Const resistDois As Single = 100000

Public i As Integer

Public numeroDados As Long

Public resistzero As Single

Public tempzero As Single

Public alphazero As Single

Public alpha As Single

Public Betta As Single

Public tempHum As Single

Public tempDois As Single

Public tempo1 As Single

Public Const resistHum As Single = 3300

Public temp As Single

Public tempo2 As Long

Public tempo3 As Single

Public fim As Boolean

Public n As Long

Public j As Long

Public x As Byte

Public t As Single

```

Public PortAddress As Integer
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Byte
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal value As Byte)
Public Declare Function timeGetTime Lib "winmm.dll" () As Long

```

Option Explicit

```

Sub Macro_temp()
' Macro1 Macro
' Macro gravada em 05/08/04 por Jalves Figueira CEFET-Pato Branco-PR
'jalves@pb.cefetpr.br
n = 0
t = 0
i = 0
j = 0
fim = False
'ut = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("utempo").value
Beta = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("beta").value
'k = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("kajuste").value
'alpha = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("alpha").value
alphazero = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("constzero").value
tempo1 = Worksheets("Temp").Range("tempo").value
numeroDados = Worksheets("Temp").Range("medidas").value
PortAddress = &H201
tempo2 = timeGetTime
    Do
Uhum = medida(4)
Udois = medida(8)

        If ((timeGetTime - tempo2) / 1000) >= tempo1 Then
tempo2 = timeGetTime
        DoEvents

```

```

        Ua = medida(1)
        resistencia = ((Ua * ut) - alpha) / k
    temperatura = Betta / (Log(resistencia) - alphazero)
    Cells(13 + j, "D").value = (temperatura - 273.15)
    Cells(13 + j, "C").value = resistencia
    Cells(13 + j, "B").value = Ua * ut
    Cells(13 + j, "A").value = t
    t = tempo1 + t
    j = j + 1
    Worksheets("Temp").Range("contar").value = j

    n = 0
    End If
    If fim = True Then Exit Sub
    ut = calibUa
    k = ut * (Uhum - Udois) / (resistHum - resistDois)
    alpha = (ut * Uhum) - (k * resistHum)

    Loop Until numeroDados <= j
j = 0
End Sub
Sub parar()
    fim = True
End Sub

Function medida(x As Byte) As Integer
    n = 0
    For i = 1 To 100
        Call Out(&H201, 4)
10         n = n + 1
        If ((Inp(PortAddress) And x) / x) = 1 Then GoTo 10
    Next
    medida = CInt(n / 100)
End Function

```

```

Sub ajustel()
PortAddress = &H201
tempo2 = timeGetTime
    Do
        If ((timeGetTime - tempo2) / 1000) >= 0.5 Then
            tempo2 = timeGetTime
            Uhum = medida(4)
            j = j + 1
            End If
        Loop Until j >= 1
        Worksheets("Ajuste Sensor").Range("Uhum").value = Uhum
    j = 0
End Sub

Sub ajuste2()
PortAddress = &H201
tempo2 = timeGetTime
    Uhum = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("Uhum").value
    Do
        If ((timeGetTime - tempo2) / 1000) >= 0.5 Then
            tempo2 = timeGetTime
            Udois = medida(8)
            j = j + 1
            End If
        Loop Until j >= 1
        Worksheets("Ajuste Sensor").Range("Udois").value = Udois
    j = 0
ut = calibUa
k = ut * (Uhum - Udois) / (resistHum - resistDois)
alpha = (ut * Uhum) - (k * resistHum)
Worksheets("Ajuste Sensor").Range("kajuste").value = k
Worksheets("Ajuste Sensor").Range("utempo").value = ut
Worksheets("Ajuste Sensor").Range("alpha").value = alpha
End Sub

```

```

Sub ajustentc()
ut = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("utempo").value
k = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("kajuste").value
alpha = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("alpha").value
Beta = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("beta").value
tempzero = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("tempzero").value
resistzero = Worksheets("Ajuste Sensor").Range("resistzero").value
PortAddress = &H201
tempo2 = timeGetTime
alphazero = (Log(resistzero)) - (Beta / (273.15 + tempzero))
Worksheets("Ajuste Sensor").Range("constzero").value = alphazero

End Sub

Function calibUa() As Single
n = 0
te = timeGetTime
For i = 1 To 100
    Call Out(&H201, 4)
10     n = n + 1
    If ((Inp(PortAddress) And 2) / 2) = 1 Then GoTo 10
Next
tempTotal = (timeGetTime - te) / 1000
calibUa = (tempTotal) / n
End Function

```

## **Anexo A – Sistemas numéricos**

## Anexo - A

Este Anexo é parte do trabalho da dissertação de **Forgiarini, L. S.** (2005)

### Precisão nas medidas

As informações captadas pela entrada analógica da porta de jogos são sinais elétricos entre 0 e 5 V. Cabe à interface A/D converter o valor analógico de entrada em um número binário proporcional ao analógico.

A Figura 1 representa um esquema de conversão de um sinal elétrico em sinal digital por um conversor de 8 bits, que permite 256 ( $2^8 = 256$ ) distintos valores. A frase 00000000 corresponde ao menor valor de tensão (0V) e a frase 11111111 ao máximo valor de tensão (5 ou 10 V). Outros 254 valores intermediários são possíveis.

Como fica a precisão da medida ao ser feita a conversão do sinal de entrada analógico em sinal digital? Vejamos alguns exemplos.

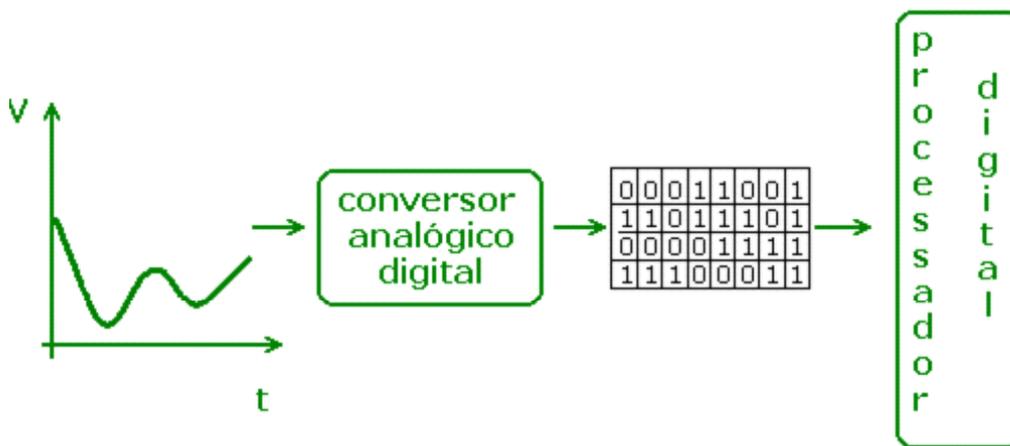


Fig. 1 – Representação de conversão de um sinal analógico em digital.

**Exemplo 1** - Suponha que tenhamos um valor de tensão de 5 V na entrada de um conversor de 3 bits. Para três bits temos 8 combinações possíveis ( $2^3$ ) para as frases binárias: **(0 0 0)**, **(0 0 1)**, **(0 1 0)**, **(0 1 1)**, **(1 0 0)**, **(1 0 1)**, **(1 1 0)**, **(1 1 1)**. Cada uma destas frases representa um intervalo de  $5/8V$  (0,625 V). A Tabela 1 mostra estas oito combinações e o intervalo de tensão entre as frases de 3 bits, enquanto na Figura 2, o correspondente gráfico é apresentado.

**Desafio:** Se o sinal elétrico de entrada gerado pelo sensor for de 1,5 V, qual a frase binária que será transmitida ao processador?

Resposta: Será a de referência 3, **(0 1 0)**. Observe que qualquer valor entre 1,25 e 1,875V será transmitido ao processador por esta mesma frase.

Tabela 1 – Combinação de possíveis frases para um conversor de três bits.

Tensão (V)	Frases	Referência
0 – 0,625	0 0 0	1
0,625 – 1,25	0 0 1	2
1,25 – 1,875	0 1 0	3
1,875 – 2,5	0 1 1	4
2,5 – 3,125	1 0 0	5
3,125 – 3,75	1 0 1	6
3,75 – 4,375	1 1 0	7
4,375 – 5,0	1 1 1	8

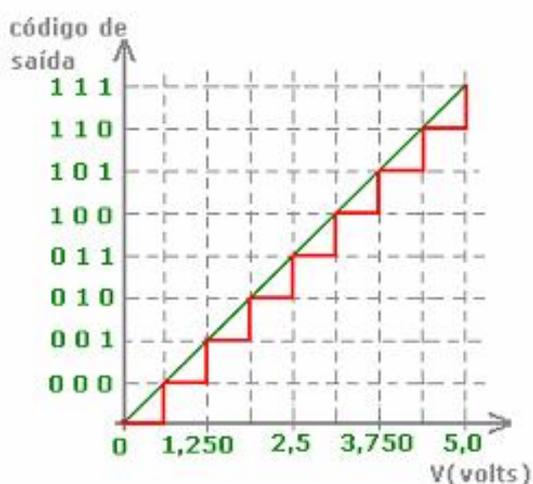


Fig. 2 – Código de saída x sinal de entrada.

**Exemplo 2** - Suponha que tenhamos um valor de tensão de 5 V na entrada de um conversor de 4 bits. Para quatro bits teremos 16 combinações (frases) possíveis ( $2^4$ ). Cada uma destas frases representa um intervalo de  $5/16V$  (0,3125 V). A Tabela 2 mostra estas dezesseis combinações e o intervalo de tensão entre as frases de 4 bits e a Figura 3, o correspondente gráfico.

Nas representações gráficas de 3 bits e de 4 bits (Figuras 2 e 3), podemos observar claramente que ao aumentarmos o número de bits obtemos maior precisão na conversão do sinal de entrada. Podemos dizer que:

“maior número de bits  $\Rightarrow$  maior precisão na conversão  $\Rightarrow$  sistema com maior resolução.”

Tabela 2 –Algumas das combinações de possíveis frases para um conversor de quatro bits.

Tensão (V)	Frases	Referência
0 – 0,3125	0 0 0 0	1
0,3125 – 0,625	0 0 0 1	2
0,625 – 0,9375	0 0 1 0	3
0,9375 – 1,25	0 0 1 1	4
1,25 – 1,5625	0 1 0 0	5
...	...	...
4,275 – 4,6175	1 1 0 1	15
4,6175 – 5,0	1 1 1 1	16

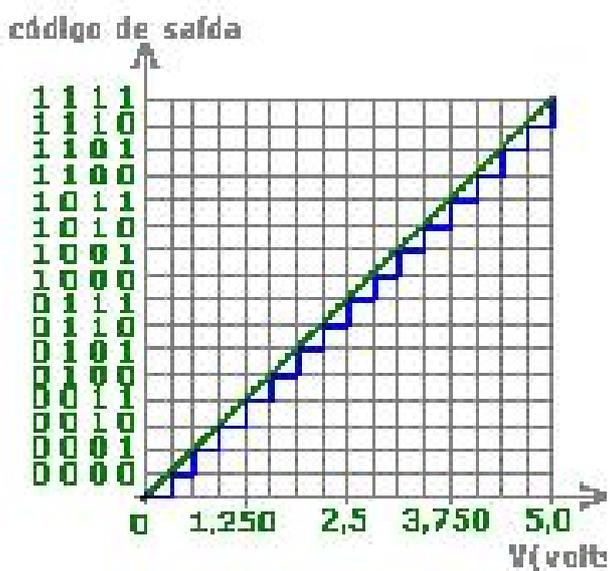


Fig. 3 – Código de saída x sinal de entrada.

Tabela 3 - Valores para diferentes conversores.

Nº de bits na saída	Canais	Intervalo de discriminação (V)
3	8	0,625
4	16	0.3125
8	256	0,00390625
12	4096	0,000244141
14	16384	6,10352E-05
16	65536	1,52588E-05

### Sistemas numéricos: decimal e binário

Propomos fazer uma breve revisão do sistema usual na nossa linguagem matemática: o sistema numérico decimal. A partir desta revisão exploramos o sistema binário, que é o sistema utilizado pelos microcomputadores.

A base de qualquer sistema de numeração é dada pelo número de símbolos diferentes no qual está baseado. O sistema decimal tem dez símbolos, portanto, a potência utilizada é 10, o sistema binário tem somente dois símbolos, a potência utilizada é 2, o sistema octal tem 8 dígitos por base e o hexadecimal, 16. O sistema binário foi criado no século dezessete pelo matemático alemão, Golttfried Wilhelm Von Leibniz.

Lembremos que na soma de decimais, ao se somar a unidade (1) ao maior dígito (9) se reproduz o menor dígito (0) e leva-se uma unidade para a casa decimal superior. Assim  $1 + 9 = 10$ . Analogamente ocorre na soma de binários. Ao se somar a unidade (1) ao maior dígito binário (1), obtém-se o menor dígito (0) e leva-se uma unidade à casa mais à esquerda. Assim:  $01 + 01 = 10$ .

Como exercício, considerar a soma de alguns dos números binários e o valor correspondente no sistema decimal, conforme consta na Tabela 6.

Da mesma forma que acontece no sistema decimal, também temos números que são expressos em potências de expoente negativo. Por exemplo o número binário 0,001 corresponde ao número 0,125 no sistema decimal, pois

$$0 \times 2^{-1} = 0$$

$$0 \times 2^{-2} = 0$$

$$1 \times 2^{-3} = 1 \times 1/8 = 0,125$$

$$\text{Soma} = 0 + 0 + 1/8 = 0,125$$

Tabela 5: Exemplos de números escritos na base decimal e binária.

Decimal	Binário	Decimal	Bin
$1 = 2^0$	0001	$8 = 2^3$	1000
$2 = 2^1$	0010	$9 = 2^1 + 2^3$	1001
$3 = 2^1 + 2^0$	0011	$10 = 2^1 + 2^3$	1010
$4 = 2^2$	0100	$11 = 2^0 + 2^1 + 2^3$	1011
$5 = 2^0 + 2^2$	0101	$12 = 2^2 + 2^3$	1100
$6 = 2^1 + 2^2$	0110	$13 = 2^0 + 2^2 + 2^3$	1101
$7 = 2^0 + 2^1 + 2^2$	0111	$14 = 2^1 + 2^2 + 2^3$	1110

Tabela 6: Soma de números na base decimal e binária.

Binário	Decimal
$0001 + 0001 = 0010$	$1 + 1 = 2$
$0001 + 0010 = 0011$	$1 + 2 = 3$
$1000 + 1010 = 10010$	$8 + 10 = 18$
$0010 + 0001 + 0001 = 0100$	$2 + 1 + 1 = 4$
$0101 + 0110 + 1000 = 10011$	$5 + 6 + 8 = 19$

Agora veremos a conversão da base decimal para a base binária. Na Figura 26 exemplificamos esta conversão.

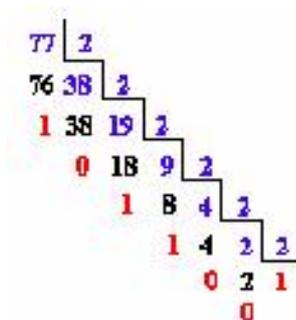


Fig.26 – Exemplo de conversão de base decimal para binária.

Assim,  $77_{(10)} = 1001101_{(2)}$

**Dica:** Interessante ilustração animada para a visualização de dimensões microscópicas a astronômicas pode ser encontrada no endereço:

<http://www.micro.magnet.fsu.edu/primer/java/scienceopticsu/powersof10/index.html>.

**Apêndice-B - Artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física**

# Usando o Excel para medidas de intervalo de tempo no laboratório de Física

(Using Excel to measure time intervals in the Physics Lab)

Jalves S. Figueira<sup>1,2</sup> e Eliane A. Veit<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, PR, Brasil

<sup>2</sup>Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Recebido em 18/04/04; Aceito em 01/06/04

Apresentamos neste trabalho uma proposta de uso da planilha Excel como instrumento na aquisição e análise de dados em experimentos didáticos de Física, em particular, em medidas de intervalo de tempo. A aquisição de dados é feita através da entrada digital da porta de jogos da placa de som do microcomputador, utilizando sensores de infravermelho e uma macro do Excel para leitura desta entrada (com um arquivo DLL específico). Duas experiências didáticas são ilustradas: um pêndulo amortecido e um pião rotante. As planilhas que construímos para a coleta e análise de dados estão disponíveis livremente na rede.

**Palavras-chave:** aquisição de dados, medidas de tempo, pêndulo amortecido, pião rotante, Excel, VBA.

We report on this work on the use of the Excel datasheet for data acquisition and analysis in a classroom physics laboratory, particularly for measurements of time intervals. The data acquisition system is connected to the digital game port of a PC sound card. The optical system uses infrared sensors while an Excel macro reads the digital entrance (with a specific DLL archive). Two didactical experiments are illustrated: a damped pendulum and a rotating top. Freeware datasheets constructed by us are available on the Web.

**Keywords:** data acquisition, time measurements, damped pendulum, rotating top, Excel, VBA.

## 1. Introdução

Nos últimos anos houve um crescimento do número de publicações nesta revista na área de aquisição de dados como suporte para a realização de experimentos de Física de cunho didático [1-8]. Em ritmo mais lento que o desejado, o microcomputador começa a se tornar uma real possibilidade para as atividades didáticas de Física, inclusive nas escolas de nível médio brasileiras. Em recentes publicações, Haag [1] e Aguiar *et al.* [2], entre outros, mostraram que é possível a realização de medidas físicas, de tempo e temperatura, com baixo custo, usando a porta de jogos da placa de som. Nosso trabalho também envolve medidas de tempo via entrada digital da porta de jogos, porém se distingue dos acima mencionados em dois aspectos:

- utilizamos a planilha Excel tanto para a aquisição quanto para a análise de dados. Aguiar *et al.* [2] uti-

lizaram a linguagem LOGO e Haag [1], um programa especial para a leitura dos dados e a planilha Excel para analisá-los;

- a montagem do sensor ótico é distinta, pois em nosso caso o emissor e o receptor do feixe de infravermelho podem ser colocados um ao lado do outro, sendo utilizada uma superfície refletora para desviar o feixe de infravermelho no sentido do receptor. Sistemas reflexivos são utilizados na leitura de códigos de barra, por exemplo. Nas montagens usuais de experiências didáticas, o feixe é emitido diretamente no sentido do receptor.

Nosso trabalho se assemelha aos destes e de outros autores [5-8] sob o ponto de vista educacional, pois entendemos que a aquisição automática pode e deve ter participação ativa de estudantes e professores não somente na coleta e análise de dados, mas também na construção dos sensores, na montagem dos experi-

<sup>1</sup>Enviar correspondência para Jalves S. Figueira. E-mail: jalvesampaio@pop.com.br.

mentos e no desenvolvimento de *softwares*, permitindo a vivência de todo o processo de medida. Entendemos, também, que a aquisição automática deva ser introduzida na escola especialmente porque cabe ao sistema escolar acompanhar os avanços científicos e tecnológicos em que está inserido.

Nossa motivação para o uso de planilhas eletrônicas se deve aos seguintes fatos:

- são altamente ajustáveis às necessidades em vários campos de atividade, assim como na vida doméstica;
- permitem cálculos numéricos sem conhecimento de qualquer linguagem de programação ou metáfora simbólica;
- cálculos com planilhas costumam ser inteligíveis e apreciados por professores de ensino médio, enquanto programas escritos em linguagem de programação não têm a mesma receptividade;
- planilhas eletrônicas propiciam a construção de gráficos.

Em particular, usamos a planilha Excel. Ainda que, em princípio, sejamos partidários do uso de *softwares* gratuitos, o Excel, por fazer parte do Office, costuma estar disponível na maior parte das escolas. Adicionalmente, planilhas eletrônicas livres que apresentem grande potencialidade já existem [9] e a adaptação de nosso trabalho para um sistema livre depende tão somente da possibilidade de leitura da entrada de jogos.

A planilha Excel é acompanhada por um interpretador e editor da linguagem Visual Basic, que permite a construção de macros (seqüência de comandos e funções armazenadas em um módulo do Visual Basic) para execução de uma tarefa. Temos, então, a possibilidade de executar em uma única planilha a coleta e interpretação dos dados ganhando com isso em tempo e flexibilidade de uso<sup>2</sup>. Programas comerciais para aquisição de dados, como os ofertados pela PASCO [10] e PICO [11], não permitem o acesso às rotinas, de modo que não há flexibilidade no uso destes pacotes.

Na próxima seção descrevemos sucintamente como ocorre a aquisição de dados via a entrada digital da porta de jogos, a montagem do sistema ótico utilizado e alguns detalhes da planilha construída para aquisição de intervalos de tempo. A seção III é dedicada a aplicações: pêndulo amortecido e movimento de rotação de um pião. São apresentadas medidas para a variação do período do pêndulo amortecido em função da amplitude, bem como para a velocidade angular

máxima atingida em cada oscilação. A aceleração angular de um pião é tratada em função do torque aplicado e do momento de inércia. Finalmente, as conclusões finais do trabalho são apresentadas na seção IV. Alguns detalhes sobre a construção de macros no Excel, bem como os códigos fontes das macros que construímos, constituem o Apêndice. As planilhas utilizadas neste trabalho estão disponíveis livremente na rede [12].

## 2. Aquisição automática via entrada digital da placa de som

Neste artigo apresentamos resultados de medidas obtidas via a entrada da porta de jogos da placa de som. Dentre as diversas vantagens apresentadas pelo uso da placa de som na aquisição de dados, destacamos o baixo custo em relação às interfaces comerciais, a segurança contra riscos à placa mãe do microcomputador e a dispensa de circuitos eletrônicos externos que desempenham o papel de interface analógico-digital.

Recomendamos as publicações de Haag [1] e Aguiar *et al.* [2] para detalhes sobre o funcionamento da placa de som, assim como Cavalcante *et al.* [13] para a discussão de precisão de medidas obtidas em sistemas digitais. Aqui nos restringimos aos aspectos diretamente relacionados às medidas realizadas.

A entrada de jogos utiliza um conector do tipo DB15, com interface para dois *joysticks*. A Fig. 1 detalha a numeração dos pinos deste conector, assim como indica a função de cada um dos pinos e a tensão (terra ou 5 V) fornecida pela porta de jogos.

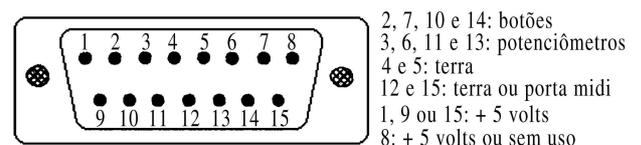


Figura 1 - Numeração dos diversos pinos do soquete onde é conectado o *joystick* - conector DB15 - e respectivas funções.

Os *joysticks* usuais possuem dois botões correspondentes às entradas digitais, e dois potenciômetros, às analógicas. É possível enviar informação para o microcomputador pressionando (liberando) os botões e/ou variando as resistências dos potenciômetros. Para as medidas de intervalo de tempo realizadas, foi utilizado um botão da entrada digital (número 2).

<sup>2</sup> A linguagem LOGO, utilizado por Aguiar *et al.* [2], também apresenta estas vantagens.

## 2.1. Detecção nas entradas digitais da porta de jogos

O computador usa o sistema binário, constituído pelos dígitos 1 (um) e 0 (zero). O conjunto de entradas digitais e analógicas forma uma “palavra” ou um byte. Ao ler a entrada da porta de jogos, o computador recebe um byte de informação, que corresponde a oito bits: um bit para cada um dos quatro botões e para cada uma das quatro entradas analógicas, conforme esquematizado na Fig. 2. Os bits de 0 a 3, da direita para esquerda, informam os estados dos potenciômetros; os de número 4 a 7 informam os estados dos botões.

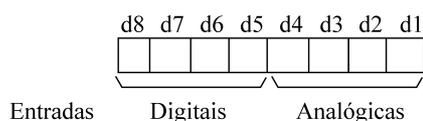


Figura 2 - Posição dos bits no byte.

Ao ser pressionado um botão, o potencial na linha de saída torna-se 0 V, colocando o bit correspondente no valor “0”. Quando o botão é solto, o potencial na linha retorna para seu valor original (5 V) e o valor do bit passa a ser “1”. Para se coletar informação via entrada digital, é necessário um sistema que altere o valor do bit de “0” para “1”, ou vice-versa, quando determinado evento ocorrer. Para medidas de intervalos de tempo, um sistema apropriado pode ser construído com um emissor e um receptor de infravermelho. Quando não há obstáculo que impeça a passagem do feixe entre o emissor e o receptor, o sistema permanece em “0”; se houver bloqueio do sinal luminoso, o receptor passa para o “1”. Com um *software* apropriado, por exemplo, a planilha Excel, utilizada neste trabalho, pode-se registrar se o sistema está no estado alto ou baixo em função do tempo e, então, determinar o tempo de bloqueio.

## 2.2. Montagem do sistema ótico

Para a detecção do tempo de duração de um evento, utilizamos um diodo emissor de infravermelho (LED), alimentado pelo microcomputador (pinos 1, 8 ou 9) e, como receptor, um fototransistor. Fototransistores e fotodiodos são componentes eletrônicos que convertem sinal luminoso em elétrico. Optamos pelo uso de um fototransistor porque o ganho de corrente elétrica gerada pelo sinal luminoso é maior. Estes dispositivos são construídos com material semicondutor e atuam em comprimentos de onda de 400 a 1000 nm. Conforme pode ser visto na Fig. 3, o conjunto emissor e recep-

tor foi montado em peças de lego – brinquedo infantil - pela facilidade de manuseio e baixo custo.

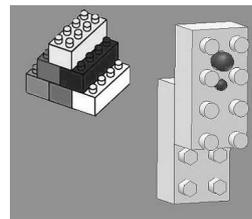


Figura 3 - Detalhe da montagem do emissor (LED) e receptor de infravermelho (fototransistor TIL75) em peças de lego.

Na Fig. 4 vê-se um esquema do sistema ótico de medida. Os números apresentados do lado esquerdo da figura correspondem à numeração dos pinos do conector DB15 macho. O diodo emissor (B) é um LED de uso geral e o receptor (A), um fototransistor, TIL75 ou equivalente. Um resistor (R) de 330 ohms deve ser ligado em série para limitar a corrente que circula pelo LED. O feixe de infravermelho é refletido pela superfície S e dirigido para o receptor. Na parte inferior da figura, vê-se detalhes do circuito emissor e receptor. Um cuidado requerido na montagem diz respeito à polaridade do LED e do fototransistor.

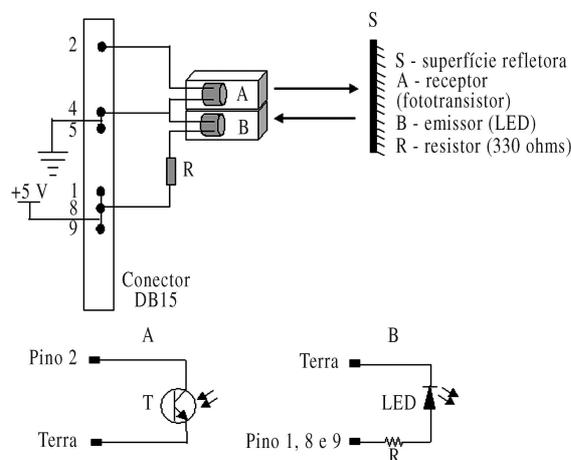


Figura 4 - Esquema de conexão dos sensores óticos ao conector DB15. O emissor e receptor são dispostos em paralelo e perpendiculares a uma superfície refletora.

O princípio de funcionamento desta montagem é simples: o feixe de infravermelho é desviado pela superfície refletora e incide no fototransistor. Portanto, uma corrente é drenada do pino 2, colocando o bit 4 no estado zero. Ao passar um objeto entre o emissor-receptor e a superfície refletora, o feixe deixa de incidir no fototransistor, que se comporta como uma chave aberta, e o bit 4 salta de “0” para “1”.

### 2.3. Leitura e registro das entradas digitais usando o Excel (VBA)

Tipicamente planilhas eletrônicas permitem a programação de fórmulas matemáticas e comandos lógicos em células. Adicionalmente, o Excel possui um editor e interpretador da linguagem Visual Basic (VBA), que possibilita que tarefas que exigem uma seqüência de funções e comandos possam ser programadas nesta linguagem, armazenadas em uma macro e executadas através de um único comando a partir da planilha, por exemplo, clicando em um botão. Este recurso do Excel é explorado neste trabalho para a leitura das entradas digitais e cálculo de grandezas físicas, como período, velocidade e aceleração.

Ao contrário de outras linguagens de programação, como o Basic e LOGO, o Visual Basic não dispõe de um comando específico para acessar as portas de entrada do microcomputador. Há duas alternativas: i) acessar a biblioteca do Windows chamada API (*Application Programming Interface*), que contém arquivos específicos com funções de acesso aos endereços da porta de jogos, ou ii) utilizar arquivos de uma biblioteca de links dinâmicos, do tipo DLL<sup>3</sup>, que contém funções específicas para a leitura e registro dos valores das entradas. Optamos por esta alternativa, usando o arquivo inpout32.dll [14], que apresenta a possibilidade de leitura, através da função inp32, e de escrita, com out32. Detalhes sobre a elaboração de uma macro no Excel para leitura e registro da porta de jogos são apresentados no Apêndice. Também disponibilizamos livremente na rede as planilhas que elaboramos [12].

### 2.4. Medidas de intervalo de tempo e cálculo da velocidade linear e angular

Medidas de intervalos de tempo são feitas monitorando a porta de entrada. No instante em que há uma interrupção do feixe de infravermelho, o sinal em um dos bits digitais vai de “0” para “1”. Neste instante lê-se o relógio do Windows. Para isto usamos a função timeGetTime, que retorna o tempo (em milissegundos) decorrido desde o instante em que o sistema operacional foi inicializado. Outros autores, entre eles Aguiar *et al.* [2], utilizam funções semelhantes em outras linguagens. Quando o feixe é desobstruído, o sinal retorna ao valor “0”. Novamente lendo-se o relógio do Windows, pode-se determinar o intervalo de tempo em

que o feixe ficou obstruído.

Vamos nos concentrar na determinação do período e velocidades (linear e angular) de sistemas oscilatórios, e de um movimento circular, pois na seção III são estudados o movimento de um pêndulo amortecido e o movimento de rotação de um pião. Reproduzimos os pontos essenciais do raciocínio. Consideremos um pêndulo, constituído por uma massa pendular esférica, de diâmetro  $D$ . No ponto de altura mínima, a esfera passa entre o conjunto emissor-receptor e a superfície reflexiva  $S$ , da Fig. 4, interrompendo o feixe de infravermelho. Ao final de um ciclo completo, a esfera interrompe o feixe duas vezes, o sinal digital completa quatro “saltos” (alternando entre “0” e “1”), conforme ilustrado na Fig. 5. Nos intervalos de tempo entre  $t_1$  e  $t_2$ ,  $t_3$  e  $t_4$  e entre  $t_5$  e  $t_6$  a esfera permanece em frente ao sensor e nos intervalos entre  $t_2$  e  $t_3$  e entre  $t_4$  e  $t_5$ , não.

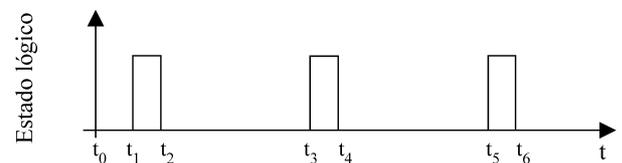


Figura 5 - Sinal na saída do fototransistor.

O período de uma oscilação completa pode ser obtido a partir de<sup>4</sup>

$$T = \frac{t_6 + t_5 - t_2 - t_1}{2} \quad (1)$$

O módulo da velocidade linear de um móvel de comprimento  $D$ , que obstrua o feixe por um intervalo de tempo  $\Delta t$ , é dado por:

$$V = \frac{D - d}{\Delta t} \quad (2)$$

onde  $d$  é a largura do feixe. A correspondente velocidade angular pode ser obtida pela razão  $v/R$ , sendo  $R$  é o raio do movimento oscilatório, que coincide com o comprimento do pêndulo simples equivalente.

Com um raciocínio semelhante, pode-se concluir que para um movimento circular, em que há obstrução do feixe entre  $t_1$  e  $t_2$  e entre  $t_3$  e  $t_4$ , o período pode ser calculado por:

$$T = \frac{t_4 + t_3 - t_1 - t_2}{2} \quad (3)$$

sendo a velocidade angular  $\omega = 2\pi/T$ .

<sup>3</sup> Arquivos do tipo DLL (*dynamic link library*) contém uma coleção de comandos e dados que podem ser compartilhados por diferentes programas de uma mesma plataforma. Programas executáveis carregam os arquivos DLL enquanto rodam.

<sup>4</sup> Na planilha construída [12], reproduzida no Apêndice, há um fator de 1/1000 porque o tempo de máquina é medido em milissegundos e o período calculado em segundos.

### 3. Aplicações

Além das aplicações no estudo da cinemática de uma partícula, o sistema de aquisição de dados que propomos pode ser utilizado em medidas de frequências de polias, de velocidade angular no estudo da cinemática e dinâmica da rotação, e na máquina de Atwood, permitindo determinar a aceleração e momento de inércia do sistema.

Em medidas de intervalo de tempo com o computador, devem-se considerar as limitações da máquina e do próprio *software* utilizado. Diodos e transistores, assim como as interfaces, possuem tempo de resposta muito pequeno ( $\sim 10^{-9}$ s) comparado com os requeridos em experiências didáticas usuais, como as apresentadas nesta seção.

#### 3.1. Pêndulo amortecido

Como ilustração, apresentamos os resultados obtidos na investigação do movimento de um pêndulo com amortecimento. Esta experiência foi realizada por Aguiar *et al.* [2], com sistema ótico semelhante, mas usando a linguagem LOGO para aquisição de dados, ao invés de uma planilha Excel. A Fig. 6 mostra a montagem do equipamento com base em um conjunto de lego. O sistema ótico é disposto de modo que quando o pêndulo se encontra na posição de equilíbrio, o feixe incide no meio da massa pendular. A macro, elaborada para a leitura dos dados e determinação do período de oscilação e da velocidade angular máxima, está listada no Apêndice, assim como detalhes de sua implementação em uma planilha. O período é obtido pela Eq. 1 e o módulo da velocidade linear da massa pendular no ponto de altura mínima é calculado pela Eq. 2, sendo  $D$  diâmetro da massa pendular e  $d$  largura do feixe. O módulo da velocidade angular é obtido, então, dividindo este valor por  $L + D/2$ , onde  $L$  é o comprimento do fio. Os valores de  $L$ ,  $D$  e  $d$  são parâmetros de entrada para os cálculos, sendo introduzidos em células específicas da planilha. Os resultados para o período e velocidade angular no ponto de altura mínima são transferidos, em tempo real, para duas colunas da planilha eletrônica [12], que imediatamente constrói os gráficos apresentados nas Figs. 7 e 8. Na Fig. 7 vê-se a velocidade angular máxima em função do tempo, tendo o pêndulo sido solto de  $48^\circ$ . Gradativamente a velocidade angular máxima diminui em função do amortecimento produzido pela forças re-

sistivas, atingindo o valor zero para um tempo suficientemente grande, em que o pêndulo pára de oscilar. Na Fig. 8 vê-se que período de oscilação tende a um valor constante, correspondente ao período do pêndulo para pequenas amplitudes<sup>5</sup>.

Via de regra o aluno decora que o *período do pêndulo simples é constante para pequenas amplitudes*, sem compreender o que significa pequena amplitude ou como se comporta o período do pêndulo quando a amplitude não é pequena. O fato de que no sistema automatizado rapidamente se podem obter dados permite que o professor os reproduza em diferentes situações e disponha de maior tempo para explorar os conceitos envolvidos de modo a criar melhores condições para que a aprendizagem seja significativa [15], ao invés de meramente mecânica. Por exemplo, dada a altura da massa pendular na posição inicial, e medindo-se com este sistema a velocidade máxima no primeiro ciclo do pêndulo, pode-se investigar a conservação de energia mecânica. Não introduzimos estes cálculos na planilha que disponibilizamos, porque entendemos apropriado deixá-los como um desafio aos alunos.

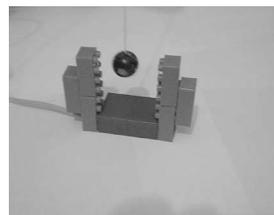


Figura 6 - Detalhe da montagem do conjunto pêndulo e lego.

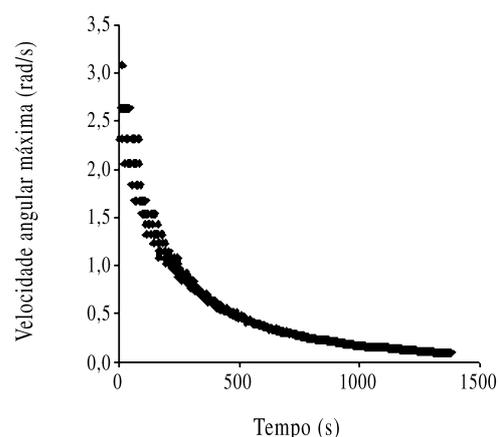


Figura 7 - Velocidade angular máxima em função do tempo. O amortecimento é produzido pelas forças resistivas atuantes no pêndulo.

<sup>5</sup> Estes dados apresentam qualidade semelhante aos produzidos por Aguiar *et al.* [2].

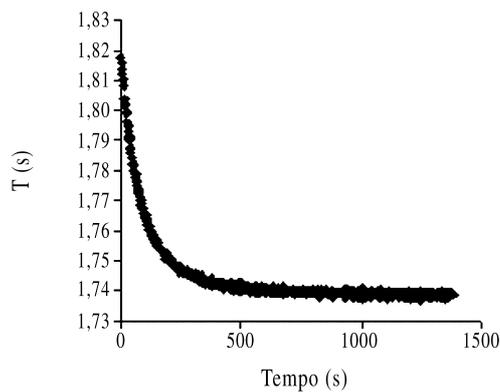


Figura 8 - Período do pêndulo em função do tempo de oscilação.

### 3.2. Movimento de rotação de um pião

O movimento de um pião, usualmente descrito como giroscópio [16], envolve diversas grandezas e leis de conservação, com grau de dificuldade elevado para o aluno de ensino médio, não fazendo parte do currículo deste nível de ensino. Porém, acreditamos que seja uma atividade enriquecedora e de caráter motivador para os alunos, se for dada especial ênfase aos aspectos conceituais. É possível ao professor, usando esse experimento, trabalhar com os conceitos velocidade e aceleração angulares e de momento de inércia, e, ao usar os dados do Excel, as habilidades mínimas na construção de gráficos.

Nosso objetivo neste experimento é o estudo do movimento de rotação de um pião. Nesta aplicação, devido ao elevado valor da velocidade angular ( $\sim 100$  rad/s), a aquisição automática e o sistema reflexivo são indispensáveis, pois não haveria a possibilidade de se prender um dos sensores óticos no pião, sem afetar seu movimento de rotação.

A montagem é apresentada na Fig. 9. O emissor (LED) e receptor (transistor) de infravermelho estão presos nas peças de lego. A superfície do pião é refletora e, estando ela à frente do sistema ótico, o feixe de infravermelho é desviado no sentido do receptor. Uma fita adesiva preta, anti-reflexiva, fixa no pião, é necessária para que o sinal na saída do fototransistor seja alternado entre “0” e “1” (e vice versa) a cada giro do pião. A realização do experimento é simples: coloca-se o pião a girar e aproxima-se o sensor para

captura dos dados.

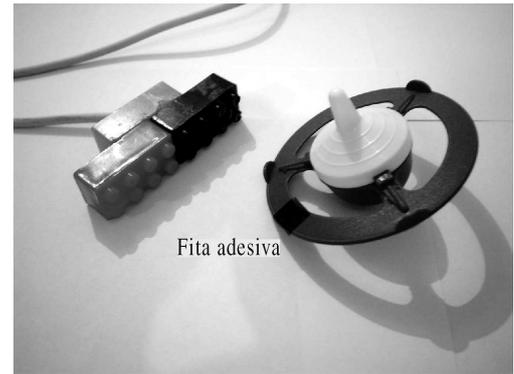


Figura 9 - Detalhe do conjunto de lego, pião e sensores.

Algumas considerações devem ser feitas sobre o modelo usado na interpretação dos dados:

- não foi considerado o movimento de precessão do pião, pois as medidas foram tomadas no início do movimento do pião, quando este efeito ainda não é relevante;

- considera-se somente o torque produzido pelas forças de atrito, pelo argumento que segue.

A dinâmica do movimento é descrita pela equação<sup>6</sup>:

$$I \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{\tau}_a + \vec{\tau}_c \quad (4)$$

onde  $\vec{\tau}_a$  é o torque devido à força de arraste, que é função de características do fluido, no caso ar, do tamanho e forma do pião e do módulo da velocidade angular do pião em relação ao ar; e,  $\vec{\tau}_c$  é o torque devido à força de contato, que é uma função de várias variáveis, com estrutura complexa. Porém como o braço de alavanca da força de contato é muito pequeno,  $\tau_a \gg \tau_c$  e em uma boa aproximação pode-se desprezar  $\tau_c$  frente à  $\tau_a$ . Assim, no lado direito da Eq. 4 pode-se levar em conta somente o efeito da força de arraste. A dependência da força de arraste com a velocidade de rotação de um disco foi investigada nas Ref. 17 e 18, tendo sido verificado que nem sempre a dependência linear e/ou quadrática na velocidade angular é suficiente para descrever os dados experimentais [17]. Desconhecemos dados experimentais para a rotação de um pião, além dos apresentados neste trabalho.

O torque produzido pela força de arraste produz uma desaceleração no pião, reduzindo o valor da velocidade angular. A Eq. 4 mostra a relação de pro-

<sup>6</sup> O caráter vetorial desta equação é dispensável, pois sua validade se restringe ao caso em que o pião gira em torno de um eixo vertical, como no presente caso.

porcionalidade entre o torque e o valor da aceleração angular ( $\vec{\alpha} = d\vec{\omega}/dt$ ).

Na Fig. 10 apresentamos os dados obtidos durante 10 s a 15 s, em quatro distintos lançamentos, com diferentes valores iniciais de  $\omega$ . No gráfico são apresentados os valores médios da velocidade angular obtidos a cada três rotações completas do pião. Procedemos deste modo, para reduzir o número de dados, sem perder informações físicas relevantes. Nos lançamentos A e D, o momento de inércia é o mesmo, apenas variando a velocidade inicial. Nos lançamentos B e C, foram fixados no pião três pequenos parafusos simetricamente afastados do eixo, de tal modo que o momento de inércia do pião nestes lançamentos é maior do que nos lançamentos A e D. O perfil curvo de todas as curvas decorre da existência de forças resistivas que provocam uma redução gradativa na velocidade angular. Para um mesmo momento de inércia, a taxa de variação da velocidade angular com o tempo é qualitativamente a mesma, conforme pode ser visto comparando a curva A à D e a curva B à C. A comparação do par de curvas A-D ao par B-C torna visível que, para momento de inércia maior, a taxa de variação da velocidade angular é reduzida, conforme implícito na Eq. 4. É possível ajustar estas curvas com uma função exponencial do tipo  $\omega = \omega_0 \exp(-\mu t)$  obtendo-se coeficientes de correlação cujo quadrado são superiores 0,99. Assim, a suposição de que a resistência é proporcional à velocidade parece ser uma boa aproximação para o tratamento do problema, especialmente nos lançamentos B e C. Os coeficientes de atenuação  $\mu$  para os lançamentos A, B, C e D são, respectivamente,  $0,090 \text{ s}^{-1}$ ,  $0,053 \text{ s}^{-1}$ ,  $0,056 \text{ s}^{-1}$  e  $0,077 \text{ s}^{-1}$ .

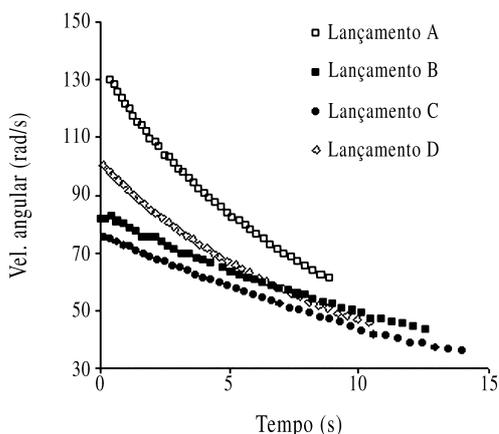


Figura 10 - Valores para a velocidade angular média obtidos para quatro lançamentos. As curvas A e D correspondem ao pião com seu momento de inércia original e as B e C com um momento de inércia maior.

Uma análise mais pormenorizada pode ser feita investigando a dependência da aceleração com a velocidade. Na Fig. 11 apresentamos o módulo da aceleração angular média obtido a partir dos valores da velocidade angular média correspondente a cada cinco rotações. Observa-se que a dependência não é linear em todo o intervalo; para valores superiores a 100 rad/s a ação das forças resistivas apresenta uma dependência na velocidade com potência superior a um. Cisneros *et al.* [19] estudam a dependência da aceleração angular com a velocidade angular, para um disco em rotação usando um contador eletrônico acoplado a um detector de luz para medida de tempo. Nesta referência as velocidades angulares máximas são inferiores a 50 rad/s e a resistência apresenta comportamento linear em v.

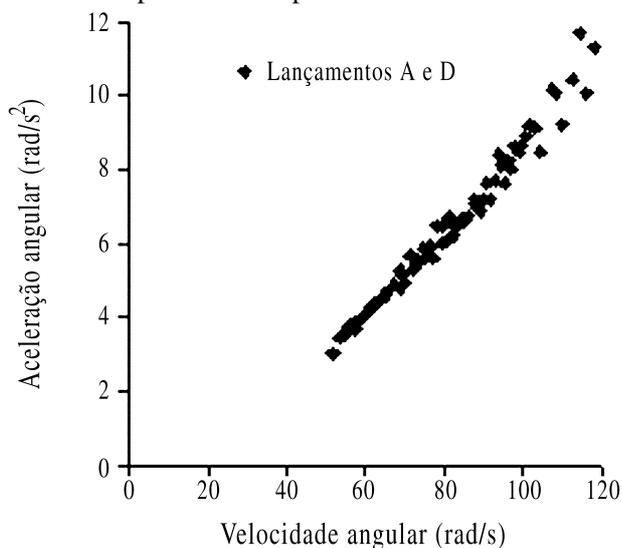


Figura 11 - Módulo da aceleração angular média em função da velocidade angular média. O perfil da curva é linear indicando uma dependência entre as forças de atrito e a velocidade.

No trabalho de Cisneros *et al.* [19] a coleta de dados requer o trabalho de dois alunos. Como explicado pelos autores: “Um deles com um cronômetro funcionando permanentemente liga e desliga o contador nos instantes apropriados, o segundo aluno durante os intervalos de preparação, registra o número de pulsos de intervalo anterior e zera o contador.” Claro está que a automatização da aquisição de dados, conforme já apontado pelos autores supracitados, é amplamente bem-vinda para a exploração das várias interessantes propostas da Ref. [19].

## 4. Conclusão

Neste trabalho foi apresentada uma contribuição para o uso do computador no laboratório didático de Física. A aquisição de dados usando a planilha Excel mostrou-

se prática e flexível em diferentes experimentos. Propostas anteriores, não-comerciais, de aquisição de dados geralmente usavam mais de um programa para coleta e análise dos dados. Com uma macro do Excel é possível executar tarefas com poucas linhas de programação, ganhando com isso em tempo e facilidade de uso. Em muitos experimentos, é possível verificar os dados em tempo real. Os recursos gráficos de uma planilha, aliados à coleta de dados, fornecem aos professores e alunos um instrumento de análise de fácil uso com aplicações em inúmeras áreas da Física, sempre com vistas à melhoria do ensino. A aquisição automática de dados aqui proposta permite, ainda, uma economia de tempo que pode permitir melhores condições para que o foco das atividades práticas esteja concentrado no fenômeno físico, na análise e interpretação de resultados, e não na obtenção de dados experimentais, como apontado por Borges [20].

## Agradecimentos

Ao Prof. Fernando Lang da Silveira, pela leitura crítica deste manuscrito; à Profa. Cleonis Viater, esposa de JSF, pelo auxílio, compreensão e correção do manuscrito e ao Centro de Referência para o Ensino de Física-IF/UFRGS, onde este trabalho foi realizado.

## Referências

- [1] R. Haag, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 176 (2001).
- [2] C.E. Aguiar e F.A. Laudares, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 371 (2001).
- [3] Veit, E.A. *et al.* Novas Tecnologias no Ensino de Física. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/>. Acesso em 08 março 2004.
- [4] C.E. Aguiar, Aquisição de dados com o microfone do PC. Disponível em: <http://omnis.if.ufrj.br/carlos/microfone/restituicao.html>. Acesso em 08 março 2004.
- [5] M.A. Cavalcante e C.R.C. Tavoraro, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **22**, 421 (2000).
- [6] M.A. Cavalcante *et al.*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 150 (2002).
- [7] E. Montarroyos e W.C. Magno, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 57 (2001).
- [8] E. Montarroyos e W.C. Magno, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **24**, p. 497 (2002).

- [9] StarOffice 7 Office Suíte. Disponível em: <http://www.sun.com/software/star/staroffice/>. Acesso em 08 março 2004.
- [10] PASCO. Disponível em: <http://www.pasco.com/>. Acesso em 08 março 2004.
- [11] PC oscilloscope and data acquisition products. Disponível em: <http://www.picotech.com/>. Acesso em 08 março 2004.
- [12] J.S. Figueira e E.A. Veit, Planilha Excel para coleta de dados: Pêndulo e velocidade de pião. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel>. Acesso em 08 março 2004.
- [13] M.A. Cavalcante e C.R.C. Tavoraro, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **22**, 247 (2000).
- [14] Paralel Port Central. Disponível em: <http://www.lvr.com/parport.htm>. Acesso em 15 de março de 2004.
- [15] D.P. Ausubel, *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva* (Ed. Plátano, Lisboa, 2002), p. 226.
- [16] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, v. 1, Mecânica (Editora Edgard Blucher Ltda., 2000), 3<sup>a</sup> Edição.
- [17] L. Basano and P. Ottonello, *it American Journal of Physics* **57**, 999 (1989).
- [18] B.G. Thompson and P.A. Smith, *American Journal of Physics* **72**, 839 (2004).
- [19] J.I. Cisneiros e E. Lujan, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **18**, 1 (1996).
- [20] J.T. Borges, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 291 (2002).

## Apêndice

Neste apêndice indicamos como construir uma macro para o Excel, usando a biblioteca inpout32.dll, que lê e registra dados coletados via entrada da porta de jogos, no Windows98. Para ter acesso ao editor do Visual Basic, proceda da seguinte forma: com a planilha do Excel aberta, clique em Exibir e, após barras de ferramentas e Visual Basic. Assim estará disponível uma caixa de ferramentas para trabalhar com macros. A macro construída para a coleta de dados terá as seguintes funções: executar cálculos e testes repetitivos e ler o byte de informação presente na porta de jogos.

Para que o Visual Basic reconheça a função inp32 e leia o valor do byte presente na porta de jogos, há necessidade de configuração da dll. Com a planilha do Excel aberta proceda da seguinte forma: i) abra o

Editor do Visual Basic; ii) na barra de ferramentas insira um novo módulo; iii) copie a seguinte linha de comando:

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll"
Alias "Inp32"(ByVal PortAddress As Integer) As
Byte
```

iv) após copie o arquivo inpout32.dll para a pasta do diretório Windows.

Estamos agora em condições de utilizar a função inp32 presente no arquivo inpout32.dll.

A macro que construímos para a aquisição de dados de um pêndulo utilizando o Excel, segue abaixo. Deixamos de incluir as linhas de declaração de variáveis, para não tornar este artigo demasiadamente longo. Pelo mesmo motivo, não reproduzimos a macro para aquisição de dados do movimento do pião. De qualquer modo, ambas as planilhas estão disponíveis livremente na Ref. [12], contendo algumas instruções para seu uso.

```
' Aquisicao usando MACRO do EXCELL - PEN-
DULO
' jalvesampaio@pop.com.br
Sub Botão1_Clique()
parar = False
L = Worksheets("Coleta dados").Cells(12,
1).Value
Diametro = Worksheets("Coleta dados").Cells(12,
2).Value
LarguraFeixe = Worksheets("Coleta da-
dos").Cells(15, 2).Value
PortAddress = &H201
x1 = (Inp(PortAddress) And 16) / 16
t0 = timeGetTime
x0 = x1
Do Until parar = True
```

```
DoEvents
x1 = (Inp(PortAddress) And 16) / 16
If x0 < x1 Then
x0 = x1
t1 = timeGetTime
Matriz(count) = t1
count = count + 1
If count = 6 Then
Calculos
End If
End If
Loop
End Sub
Sub Calculos()
t1 = Matriz(0)
t2 = Matriz(1)
t3 = Matriz(2)
t4 = Matriz(3)
t5 = Matriz(4)
t6 = Matriz(5)
Periodo = ((t5 + t6) - (t1 + t2)) / 2000
Vangular = 1000 * (Diametro - LarguraFeixe) / ((t4
- t3) * (L + Diametro / 2))
Tempo = (((t4 + t3) / 2) - t0) / 1000
i = i + 1
Worksheets("Coleta dados").Cells(i + 9, 4).Value
= Tempo
Worksheets("Coleta dados").Cells(i + 9, 5).Value
= Periodo
Worksheets("Coleta dados").Cells(i + 9, 6).Value
= Vangular
Matriz(1) = t6
Matriz(0) = t5
count = 2
End Sub
```

**Apêndice-C – Trabalho apresentado no XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física.**

## ATIVIDADES DE AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS NO LABORATÓRIO DE FÍSICA DA ESCOLA DE ENSINO MÉDIO

Lucia Forgiarini da Silva<sup>a</sup> [lucia@cefetrs.edu.br]  
Jalves Sampaio Figueira<sup>b</sup> [jalvesampaio@pop.com.br]  
Eliane Angela Veit<sup>c</sup> [eav@if.ufrgs.br]

<sup>a</sup> CEFET/RS e Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física, UFRGS

<sup>b</sup> CEFET/PR e Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física, UFRGS

<sup>c</sup> Instituto de Física, UFRGS

### RESUMO

Apresentam-se cinco propostas de atividades para a escola de ensino médio com aquisição automática de dados usando a placa de som do microcomputador. A ênfase é no processo de medida, em suas diversas etapas, desde o uso de sensores nos sistemas de detecção, à conversão analógica/digital, passando pelos *softwares*; somente depois de medidas manuais, o aluno passa à aquisição automática. Os tópicos tratados são: sensores, medidas de tempo, exemplificada com a cinemática unidimensional, e ondas mecânicas transversais (em cordas) e longitudinais (sonoras). As atividades estão em fase de implementação em uma escola de ensino médio no RS.

### INTRODUÇÃO

A possibilidade de aquisição automática de dados usando a placa de som de microcomputadores em experiências didáticas de Física é bem conhecida, havendo exemplos em diversas áreas da Física como Mecânica, Termologia, Eletromagnetismo e Ondulatória (Cavalcante e Tavolaro (2000), Haag (2001), Aguiar e Laudares (2001), Montarroyos e Magno (2001), Figueira e Veit (2004) e Veit et al. (2004)). A implementação de tais sistemas em escolas de ensino médio, entretanto, não tem ocorrido. Em parte isto se deve à carência de material instrucional que dê condições para que professores e alunos possam construir e/ou trabalhar com esses sistemas automatizados. Nossa proposta pretende preencher parte desta lacuna, produzindo cinco atividades do tipo aberto, de modo que os estudantes tenham a oportunidade de explorar, testar e discutir possíveis aplicações. Para cada uma, é apresentada a montagem experimental, um texto para o professor, um guia para o aluno e os *softwares* utilizados. Estas atividades estão todas centradas no uso do microcomputador porque entendemos que a inserção deste instrumento no laboratório didático de Física é imprescindível e um dos meios de mostrar ao aluno a importância da Física no avanço científico e tecnológico, como também auxiliá-los no uso das tecnologias no dia-a-dia.

Uma de nossas preocupações é tornar o laboratório um local onde alunos e professores sintam-se comprometidos e envolvidos no processo de ensino-aprendizagem, onde as ações não se constituam simplesmente na manipulação de equipamentos e repetição de medidas, seguindo roteiros pré-determinados, mas um local de investigação de leis e fenômenos físicos, em que os alunos compreendam o significado das atividades realizadas (Borges, 2002). Levamos em conta, também, resultados de pesquisas realizadas com Laboratórios Baseados

em Microcomputadores (MBL<sup>1</sup>), que mostram que os alunos apresentam ganhos mais efetivos na aprendizagem quando interagem com os equipamentos (Beichener (1994) e outros). Partindo deste princípio, procuramos fazer com que a aquisição automática de dados seja precedida de atividades em que o estudante explore o comportamento de sensores frente a variações de grandezas físicas, inicialmente tomando medidas manuais, construindo curvas de calibragem, para somente então montar um sistema automático de medidas e, posteriormente, investigar fenômenos físicos.

## METODOLOGIA

A montagem experimental teve por base, especialmente, trabalhos de Haag (2001), Cavalcante (2003) e Figueira e Veit (2004). Em duas dessas montagens aquisição é feita via a entrada de jogos (*joystick*): *Explorando sensores e Medidas automáticas de tempo em experiências de Mecânica*; enquanto nas demais, via a entrada de áudio: *Ondas Transversais, Ondas Longitudinais I e II*. Estas montagens e um hipertexto sobre ondas Transversais e Longitudinais (Silva e Veit, 2004), contendo uma coletânea de *Physlet* (2004), foram testados com um grupo de professores de ensino médio participantes do programa PROCIÊNCIAS, edição de 2004 IF/UFRGS. Então, para cada atividade elaborou-se um *Guia para o Aluno* - material impresso, com cerca de quatro páginas - contendo procedimentos, questões abertas e desafios. Para cada atividade providenciou-se material suficiente para aplicação na escola de ensino médio do CEFET/RS – Sapucaia, onde um dos autores (LFS) é professor. A avaliação do material de momento só leva em conta o interesse despertado no aluno e a propriedade de aplicação deste material neste nível de ensino.

## RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados consistem em uma descrição das atividades desenvolvidas. A avaliação dos resultados da aplicação deste material deverá ocorrer de modo mais sistemático somente no próximo ano, quando se pretende coletar dados mais detalhados.

Na atividade *Explorando Sensores*, os estudantes investigam o comportamento de sensores, (potenciômetros, LDR, termistores, fototransistores, ...) tomando medidas com um multíteste do sinal elétrico produzido pelo sensor quando alguma grandeza física é variada (posição, intensidade luminosa, temperatura, ...). Então, constroem circuitos simples (ou usam sistemas que construímos previamente) para conectá-los à entrada digital ou analógica da porta de jogos. A leitura da porta de jogos é feita com o *software* Aqdados (Araujo, 2004), que gera um arquivo de dados do tipo texto, cujo tratamento é feito com uma planilha eletrônica. Com esta atividade espera-se dar condições para que o aluno adquira noções básicas sobre aquisição automática de dados.

Em *Medidas automáticas de tempo em experiências de Mecânica*, enfatizamos o sistema ótico de detecção, construído com diodos emissores de infravermelho e fototransistores receptores, conectados à entrada digital da porta de jogos. Nesta atividade o *software* usado para registro dos dados é uma planilha *Excel* (Silva e Figueira, 2004), na qual a leitura da entrada digital da porta de jogos é feita com a linguagem VBA (*Visual Basic Application*). Para um melhor entendimento de como a entrada digital opera, propomos inicialmente uma

---

<sup>1</sup> Do inglês: Microcomputer Based Laboratory

breve revisão dos sistemas numéricos decimal e binário. Em seguida, usando o multiteste, são feitas medidas da corrente elétrica, observando que esta depende da intensidade luminosa incidente sobre o fototransistor. A aquisição automática de dados é iniciada com exercícios simples, por ex. obstruindo e desobstruindo manualmente a passagem do feixe de infravermelho e observando o valor do estado lógico da entrada digital da porta de jogos (0 ou 1), para, somente então, observar o intervalo de tempo durante o qual é bloqueado o feixe, finalmente o sistema é empregado na investigação das grandezas da cinemática (posição, velocidade e aceleração).

As atividades relativas a ondas mecânicas são iniciadas com a exploração de um hipertexto (Silva e Veit, 2004), com uma série de *Physlet* (2004), com os quais o aluno interage para aprender conceitos fundamentais sobre ondas. Na atividade *Ondas transversais* o microcomputador é utilizado com um gerador de sinais (Sinewave (2004) e Cavalcante, 2003). O aluno produz e visualiza a formação de ondas estacionárias em cordas, investiga a condição necessária para que ocorram os diferentes modos de vibração, a relação entre as grandezas físicas (frequência, comprimento de onda, velocidade de propagação, densidade e tensão da corda). Em *Ondas Longitudinais I e II* o microcomputador cumpre a função de analisador de espectro, com o uso do *software* Spectrogram (Horne, 2004). Na parte I, é feita a determinação da velocidade de propagação do som no ar. Tubos de canos de PVC de diferentes tamanhos funcionam como tubos de ar, nos quais, com a própria mão, se geram ondas estacionárias. É feita a observação e a análise das frequências de ressonância, discutindo a relação entre as grandezas físicas com o comprimento e diâmetro dos tubos e, finalmente, calculada a velocidade de propagação do som no ar. As três qualidades do som são exploradas em *Ondas Longitudinais II*. Através de atividades lúdicas como cantar e tocar, o aluno faz a observação e análise de diferentes espectros sonoros, de modo a compreender, por exemplo, porque uma mesma nota tocada em um violão ou em um piano soa diferente.

A primeira aplicação deste material deve ser concluída no final do presente ano. Até meados deste ano, parte deste material foi implementado em aulas do Ensino Médio, Ensino Médio Adultos e de Tecnologia de Polímeros da Unidade de Ensino do CEFET-RS, Sapucaia, por um dos autores deste trabalho (LFS). A atividade de *Medidas de Tempo* teve a participação de alunos dos três cursos mencionados, sendo que a motivação dos alunos foi marcante. Os alunos consideraram uma experiência fascinante e pode-se observar que o trabalho em pequenos grupos ocorreu com muito entusiasmo e cooperação, usualmente não observados nas aulas tradicionais de laboratório. O manuseio dos sensores despertou curiosidade e ensejou discussões sobre como funcionam equipamentos como portas automáticas, leitor de código de barras e células fotovoltaicas. As dificuldades apresentadas no uso do *Excel* superaram as nossas expectativas, mesmo no curso Tecnologia de Polímeros. Todas as atividades deverão ser reaplicadas no ano de 2005, quando se pretende coletar dados mais detalhados.

## CONCLUSÃO

A introdução do microcomputador no laboratório de Física propiciou aos alunos noções básicas de como os sistemas automáticos de coleta de dados funcionam, motivando-os a encarar a Física de uma forma mais agradável. A grande interação observada entre os diversos membros dos grupos e entre os grupos nas atividades propostas, em relação a atividades similares no laboratório tradicional, é um forte indício de que é preciso agregar ao ensino formas mais dinâmicas.

Em relação ao usual argumento de que a introdução do microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático de Física, minimizando o tempo necessário para a aquisição dos dados, possibilita um tempo maior para a discussão e análise dos fenômenos físicos, vivenciamos duas situações distintas. Este argumento mostrou-se verdadeiro nas experiências de som, para as quais não foi requerida montagem de sistema de detecção e o sensor utilizado foi o microfone, mas não se mostrou verdadeiro nas atividades de *Medidas de Tempo*, em que a montagem experimental requeria um sistema de detecção ótico construído com componentes eletrônicos e a análise envolvia o uso do *Excel*. Os alunos despenderam considerável tempo para começar as tomadas de dados, pois não estavam familiarizados com os instrumentos. Ainda assim, consideramos recomendáveis estas atividades, quer porque a familiarização com os instrumentos necessários ao ensino de Física é um dos objetivos das aulas de laboratório, quer porque os questionamentos surgidos foram muito frutíferos, o que dificilmente aconteceria na obtenção de medidas manuais repetitivas para se dispor de mais dados.

**Agradecimentos** a Rafael Haag pelas proveitosas discussões e a Profa. Rejane M. RibeiroTeixeira, pela leitura crítica do manuscrito.

**Apoios:** CAPES, CEFET/RS, CEFET/PR, PROPESQ-UFRGS, CREF/IF-UFRGS.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C.E.; LAUDARES, F. Aquisição de dados usando Logo e a porta de jogos do PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-380, dez. 2001.
- ARAUJO, I. S. AQDADOS: *software* para leitura das entradas da porta de jogos. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/ives.html>. Acesso em 22 agosto 2004.
- BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs, *American Journal of Physics*, v. 62 (8) p. 750-765, agosto. 1994.
- BORGES, A. Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.
- CAVALCANTE, M. A; TAVOLARO, C. R. C. Cuidados na utilização de sistemas de aquisição de dados no ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 22, n. 2, p. 247-258, jun. 2000.
- CAVALCANTE, M. A. Material fornecido na Oficina: Novas tecnologias no ensino de acústica. *Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física*, p. 449, 2003.
- FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Usando Excel Para Medidas de Intervalo de Tempo no Laboratório de Física, aceito para publicação na *Revista Brasileira de Ensino de Física*.
- HAAG, Rafael - Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 2, p. 176-183, jun. 2001.
- HORNE, R. Audio Spectrum Analysis – SPECTROGRAM. Disponível em: <http://www.visualizationsoftware.com/gram.html>. Acesso em 23 agosto 2004.
- MONTARROYOS, E. ; MAGNO, W. C. Aquisição de Dados com a placa de som do computador. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 1, p. 57-62, março 2001.

PHYSLET, Davidson College Physlet Archive. Disponível em:  
<http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>. Acesso em: 22 agosto 2004.

SILVA, L. F. , FIGUEIRA. J. S. Planilha Excel para medidas de tempo via entrada digital da porta de jogos. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/tempo.html>. Acesso em 22 agosto 2004.

SILVA. L. F. da; VEIT, E. A. Ondas Mecânicas. Disponível em:  
<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/index.html>. Acesso em 23 agosto 2004.

SINE WAVE GENERATOR Disponível em:  
<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/sinewave.zip>. Acesso em 23 agosto de 2004.

VEIT, E. A. et al. Novas Tecnologias no Ensino de Física Disponível em:  
<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/index.html>. Acesso em 23 agosto de 2004.

**Apêndice-D – Trabalho apresentado no XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física.**

## USANDO O EXCEL PARA MEDIDAS VIA PORTA DE JOGOS DE UM MICROCOMPUTADOR

Jalves Sampaio Figueira<sup>a</sup> [jalvesampaio@pop.com.br]  
Eliane Angela Veit<sup>b</sup> [eav@if.ufrgs.br]

<sup>a</sup> CEFET/PR e Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física, UFRGS

<sup>b</sup> Instituto de Física, UFRGS

### RESUMO

Indica-se um caminho para aquisição de dados usando planilhas Excel, desenvolvidas com a linguagem VBA (*Visual Basic Application*), para a leitura das entradas digital e analógica da porta de jogos. Apresentam-se resultados para grandezas da cinemática de um pião rotante e discorre-se sobre a determinação do calor específico sem calorímetro, em fase de implementação.

### I. INTRODUÇÃO

O microcomputador é empregado no ensino de Física especialmente em atividades que envolvem simulação<sup>1</sup> e aquisição automática de dados [1-3]. As simulações são especialmente apropriadas para o estudo de modelos de sistemas físicos dinâmicos, sobre os quais se deseja investigar evolução temporal e testar hipóteses. A aquisição automática de dados se faz necessária, principalmente, nas situações em que: i) são necessárias medidas em intervalos de tempo pequeno para serem coletadas manualmente, por exemplo, medidas de frequência em polias em experimentos de determinação do momento de inércia, na determinação da força em função do tempo em uma colisão mecânica ou na obtenção da cinemática de rotação de um pião girante; ii) há necessidade de um monitoramento em tempos prolongados, como em medidas de resfriamento de um corpo ou estudo da pressão atmosférica ao longo de uma semana; ii) as grandezas não são acessíveis devido às condições de realização do experimento, por exemplo, locais em que a pressão e a temperatura são adversas ou há periculosidade, como experimentos envolvendo radiações de altas energias.

Neste trabalho apresentamos alguns experimentos usando a linguagem VBA (*Visual Basic Application*) que acompanha a *software* Excel na aquisição automática de dados. Aguiar e Laudares [2] utilizaram a linguagem LOGO e Haag [1], um programa especial para a leitura dos dados e a planilha Excel para analisá-los. Nossa motivação para o uso de planilhas eletrônicas se deve aos seguintes fatos: i) são altamente ajustáveis às necessidades em vários campos de atividade, assim como na vida doméstica; ii) permitem cálculos numéricos sem conhecimento de qualquer linguagem de programação ou metáfora simbólica; iii) cálculos com planilhas costumam ser inteligíveis e apreciados por professores de ensino médio, enquanto programas escritos em linguagem de programação não têm a mesma receptividade;

---

<sup>1</sup> Simulação compreende aqui também a modelagem computacional com atividades do tipo exploratórias ou de criação. Nas primeiras, o aluno interage com modelos prontos especialmente através da variação de parâmetros. Nas segundas, o aluno cria o modelo, explicitando as equações matemáticas subjacentes até alguma representação na forma de gráfico, tabela ou animação.

iv) planilhas eletrônicas propiciam a construção de gráficos. O VBA permite que com poucas linhas de programação seja possível coletar dados com uma planilha Excel.

Ainda que, em princípio, sejamos partidários do uso de *softwares* livres ou, pelo menos, gratuitos, o Excel, por fazer parte do pacote Office, costuma estar disponível na maior parte das escolas. Adicionalmente, planilhas eletrônicas livres que apresentam grande potencialidade já existem e a adaptação de nosso trabalho para um sistema livre depende tão somente da possibilidade de leitura da entrada de jogos.

## II. LEITURA E REGISTRO DOS DADOS

A leitura de um byte na porta de jogos somente é possível com o uso de arquivos de uma biblioteca de *links* dinâmicos, do tipo *dll*<sup>2</sup>, que contêm funções específicas para a leitura e registro dos valores das entradas. Pode-se encontrar na rede diversas opções para acesso da porta de jogos. Foge ao escopo deste trabalho os detalhes técnicos sobre a construção de macros e configurações de *dll*. Em trabalhos anteriores, apresentamos um texto detalhado sobre como construir macros com o VBA no Excel e como configurar a *dll* para leitura da porta digital [4], disponibilizamos planilhas Excel para registro de intervalos de tempo via entrada digital [4] e discutimos resultados para o movimento de um pêndulo amortecido e de um pião girante [3].

Sinais analógicos podem ser lidos usando a porta de jogos, presente na placa de som, e a entrada da impressora (porta paralela). A primeira possui quatro entradas analógicas, pinos 3, 6, 11 ou 13 existentes no conector DB15 e, equivale a um conversor analógico-digital de oito bits. Vantagens sobre o uso e descrições da placa de som encontram-se nas ref. [1-2]. A leitura de um sinal analógico é feita conectando um sensor, que apresente uma variação da resistência em função da grandeza a ser medida.

## III. EXEMPLOS: PIÃO ROTANTE E DETERMINAÇÃO DO CALOR ESPECÍFICO

Para o estudo do movimento de um pêndulo simples e de um pião rotante, um sistema ótico de detecção foi construído com um fotodiodo emissor e um transistor receptor de infravermelho, conectados à entrada digital, para medidas de tempo<sup>3</sup> [3]. Aqui nos restringimos à apresentação dos resultados para a rotação de um pião, pois desconhecemos medidas semelhantes. O leitor interessado em dados para o período de um pêndulo, sem restrição de pequenas amplitudes, e para a velocidade máxima em cada oscilação, pode consultar as referências [2,3].

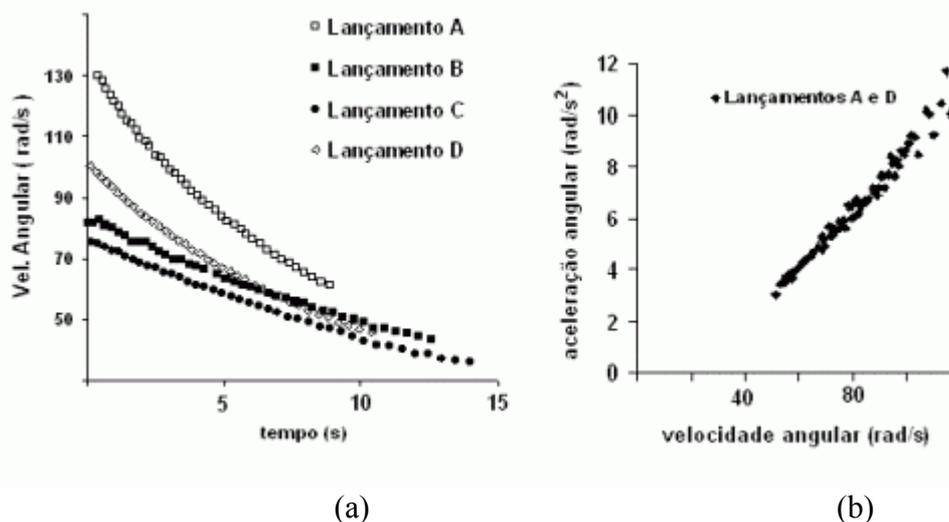
No estudo do movimento de rotação de um pião, devido ao elevado valor da velocidade angular ( $\sim 100\text{rad/s}$ ), a aquisição automática de dados é indispensável. Além disto, precisou-se construir um sistema ótico de detecção do tipo reflexivo, em que o emissor e o receptor são colocados de um mesmo lado do pião e uma fita adesiva opaca, presa ao pião,

---

<sup>2</sup> Arquivos do tipo *dll* (*dynamic link library*) contêm uma coleção de comandos e dados que podem ser compartilhados por diferentes programas de uma mesma plataforma. Programas executáveis carregam os arquivos *dll* enquanto rodam.

<sup>3</sup> Empregamos a função *inp32* presente na biblioteca *inpout32.dll*.

serve como superfície refletora para desviar o feixe de infravermelho no sentido do receptor. A cada passagem do feixe pela fita adesiva, o sinal na saída do fototransistor é alterado de “0” e “1” (e vice versa) e o período de rotação do pião determinado. Na Fig. 1.a vê-se os dados obtidos durante 10s a 15s, em quatro distintos lançamentos, com diferentes valores iniciais de velocidade angular. No gráfico são apresentados os valores médios da velocidade angular obtidos a cada três rotações completas do pião. Nos lançamentos A e D, o momento de inércia é o mesmo, apenas a velocidade angular inicial varia. Nos lançamentos B e C, foram fixados no pião três pequenos parafusos simetricamente afastados do eixo, de tal modo que o momento de inércia do pião nestes lançamentos é maior do que nos lançamentos A e D. O perfil das curvas decorre da existência de forças resistivas que provocam uma redução gradativa na velocidade angular. Para um mesmo momento de inércia, a taxa de variação da velocidade angular com o tempo é qualitativamente a mesma, conforme pode ser visto comparando a curva A à D e a curva B à C. A comparação do par de curvas A-D ao par B-C torna visível que, para momento de inércia maior, a taxa de variação da velocidade angular é reduzida. É possível ajustar estas curvas com uma função exponencial do tipo  $\omega = \omega_0 \exp(-\mu t)$  obtendo-se coeficientes de correlação cujo quadrado são superiores a 0,99. Assim, a suposição de que a resistência é proporcional à velocidade parece ser uma boa aproximação para o tratamento do problema, especialmente nos lançamentos B e C. Uma análise mais pormenorizada pode ser feita investigando a dependência da aceleração com a velocidade. Na Fig. 1.b vê-se o módulo da aceleração angular média obtido a partir dos valores da velocidade angular média correspondente a cada cinco rotações de um dos lançamentos. Observa-se que a dependência não é linear em todo o intervalo; para valores superiores a 100 rad/s a ação das forças resistivas apresenta uma dependência na velocidade com potência superior a um.



**Figura. 1** (a) Valores para a velocidade angular média obtidos para quatro lançamentos. As curvas A e D correspondem ao pião com seu momento de inércia original e as B e C com um momento de inércia maior. (b) Módulo da aceleração angular média em função da velocidade angular média para os lançamentos A e D.

Para medidas de temperatura usamos um termistor cuja resistência diminui com o aumento da temperatura (NTC<sup>4</sup>) de 30k $\Omega$ , que opera na faixa de -50°C a 150°C. A curva característica de um NTC é altamente não-linear, da forma  $R = R_0 \exp\beta(1/T_0 - 1/T)$ , sendo  $R_0$  a resistência à temperatura  $T_0$ . Desenvolvemos uma macro com VBA no Excel na qual usamos a função *inp32* para a leitura de um sinal em uma das entradas analógicas. Em essência, um

<sup>4</sup> Do inglês *negative temperature coefficient*

sinal é enviado a uma das portas analógicas (pela função *out32*) e mede-se o tempo que o bit correspondente permanece no estado alto (1), usando simplesmente um contador no *loop* da macro que monitora a porta de entrada. Temos, assim, uma medida do tempo em unidades arbitrárias, mas como o tempo é linear com a resistência [3], calibramos o sistema usando resistências conhecidas. Este procedimento para medidas de tempo possui limitações pois depende demasiadamente das características do processador e da configuração do sistema. Nossos resultados apresentam imprecisão da ordem de 1°C e por isto estamos elaborando nova planilha Excel que nos permita precisão maior. Pretendemos, então, refazer as medidas para determinação do calor específico de corpos, sem o uso de calorímetros [5]. Mede-se a curva de resfriamento de uma certa quantidade de água com temperatura inicial de aproximadamente 60°C. Quando a água se encontra a cerca de 45°C, o objeto, cujo calor específico se deseja determinar, é imerso na água. A temperatura da água cai bruscamente, pela perda de calor para o objeto, mas em minutos retorna à taxa de decaimento original. O cálculo da troca de calor entre os dois corpos permite a determinação do calor específico.

#### IV COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

O uso da linguagem VBA com o aplicativo Excel mostrou-se prático e flexível nas medidas de intervalo de tempo de sinais digitais com a placa de som. Em poucas linhas de programação é possível realizar experimentos de coleta de dados em tempo real. A maior parte das publicações na área usam mais de uma ferramenta na coleta e análise das medidas, dependendo tempo. Nossa planilha para a leitura da entrada analógica com o VBA necessita de aprimoramento, pois sua precisão é de 1°C, e desejamos décimos de grau. Uma possibilidade, em estudo, requer o uso de uma biblioteca do *Windows*, em que a unidade arbitrária de medida de tempo seja tomada pela posição do *joystick* na tela do microcomputador.

O estudo do movimento de rotação de um pião, viável apenas com aquisição automática de dados, amplia a possibilidade de discussão de efeitos de forças resistivas sobre movimentos de rotação, raramente abordados nos cursos tradicionais de Física. A determinação do calor específico sem calorímetro, pode ser realizada manualmente, porém a automatização permite evitar a tarefa enfadonha de tomada de dados em intervalos regulares de tempo, além de permitir a coleta de dados em intervalos menores de tempo.

**Agradecimentos** a Profª. Rejane M. RibeiroTeixeira, pela leitura crítica do manuscrito.

**Apoios:** CAPES, CEFET/PR, PROPESQ-UFRGS, CREF/IF-UFRGS.

#### BIBLIOGRAFIA

1. HAAG, Rafael - Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 2, p. 176-183, jun. 2001.
2. AGUIAR, C.E.; LAUDARES, F. Aquisição de dados usado Logo e a porta de jogos do PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-380, dez. 2001.

3. FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Usando o Excel para medidas de intervalo de tempo no laboratório de Física, aceito para publicação na *Revista Brasileira de Ensino de Física*.
4. FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Planilhas Excel para aquisição de dados via entrada digital. Disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/excel\\_digital.html](http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/excel/excel_digital.html). Acesso em 23 agosto 2004.
5. MATTOS, C.; GASPAR, A. Uma medida de calor específico sem calorímetro. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.25., n.1, p. 45-48.

**Apêndice-E – Questionário de Avaliação das Atividades.**



**CENTRO FEDERAL de EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA do PARANÁ**  
**UNIDADE SUDOESTE**

**Professor:**

**Curso:**

**Questionário para avaliação de proposta**

Marca com um X a alternativa que melhor representa a tua opinião com relação às afirmativas propostas.

<b>Afirmativas</b>	<b>Opinião</b>	 <b>Concordo</b>	 <b>Concordo em parte</b>	 <b>Discordo</b>
1. Gosto de realizar experimentos nas aulas de Física.				
2. O tempo de desenvolvimento das atividades foi suficiente.				
3. Gostaria de continuar com aulas experimentais em outros assuntos da Física.				
4. Aulas experimentais facilitam o entendimento dos conceitos físicos.				
5. Gostei de utilizar o sistema de aquisição automática de dados.				
6. As aulas de Física com utilização da aquisição automática de dados se tornam mais interessantes.				
7. A aquisição automática de dados com a linguagem VBA foi fácil.				
8. Acho que a aquisição automática de dados deve ser utilizada no estudo de outros assuntos de Física.				
9. Gostei de utilizar a planilha Excel.				
10. Foi fácil a utilização da planilha Excel.				
11. O trabalho em grupo melhora o relacionamento com os colegas.				
12. O trabalho em grupo ajuda no entendimento dos conteúdos.				

13-Teve alguma atividade experimental que te chamou mais a atenção? Por quê?

---

---

---

14-Você tem conhecimento de alguma linguagem de programação? Cite quais:

---

---

---