

# ARDUINO: UMA TECNOLOGIA NO ENSINO DE FÍSICA

Arduino: a technology in teaching physics

Claodomir Antonio Martinazzo<sup>1</sup>; Débora Suelen Trentin<sup>2</sup>; Douglas Ferrari<sup>3</sup>;

Matheus Matiasso Piaia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas e da Terra. URI-Erechim. E-mail: mclao@uricer.edu.br

<sup>2</sup> Aluno(a) da Escola Estadual Normal José Bonifácio.

<sup>3</sup> Acadêmico do Curso de Ciências da Computação.

Data do recebimento: 21/07/2014 - Data do aceite: 29/08/2014

**RESUMO:** O ensino de Física é motivo constante de preocupação de inúmeros educadores e objeto de pesquisas que abordam vários enfoques. Entre esses enfoques estão a utilização didática do computador, que aos poucos vem sendo introduzido nas salas de aula e laboratórios como uma ferramenta adicional às aulas tradicionais. Existem várias formas de se utilizar o computador no ensino de Física: a aquisição automática e o processamento de dados na forma algébrica e/ou gráfica, modelagem computacional, aplicativos simuladores de fenômenos físicos, além da produção de audiovisuais destinados a facilitar o processo ensino-aprendizagem. Apresenta-se, nesse trabalho, o Arduino como uma plataforma alternativa na aquisição automática de dados em experimentos didáticos de Física via porta USB do computador. Serão relatados os resultados de alguns experimentos realizados durante o período de execução de projetos de iniciação científica, editais PIIC-URI e PIIC-EM-CAPES/URI. A principal conclusão desse trabalho é a de que a plataforma Arduino é muito versátil, servindo muito bem ao propósito do desenvolvimento de experimentos didáticos que permitam um ensino e uma aprendizagem de Física mais significativo.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Arduino. Microcontroladores.

**ABSTRACT:** The teaching of Physics is a continuous concern for many educators and it is the object of research that takes into consideration various approaches. Among these approaches, the didactic use of computers, which have been gradually introduced in classrooms and laboratories as an additional tool to traditional classes, are highlighted. There are several ways to use computers in teaching physics: the automatic acquisition and processing of

data in algebraic and/or graphics form, computational modeling, simulation applications of physics phenomena beyond the production of audiovisuals to facilitate the teaching-learning process. In this work, we present Arduino as an alternative platform for automatic data acquisition in teaching physics experiments via computer USB port. The results of some experiments carried out during the implementation of projects of scientific research, public notices and PIIC-EM-CAPES/URI e PIIC-URI will be reported. The main conclusion of this work is that the Arduino platform is very versatile, being suitable for the purpose of developing educational experiments that permit teaching and learning of Physics more significant.

**Keywords:** Physics Teaching. Arduino. Microcontroller.

## Introdução

A importância e a presença, quase onipresente, da tecnologia e da informação no cotidiano da maioria das pessoas são inquestionáveis. A questão é: o quanto estão os professores preparados para enfrentar uma realidade mutante do ponto de vista tecnológico e comportamental? Os alunos já não se satisfazem apenas com aulas expositivas de Física, e anseiam por mais e os professores estão angustiados diante da evolução tecnológica e da mudança comportamental de seus alunos que estão irrequietos com as aulas tradicionais.

Muitas pesquisas em ensino de Ciências, genericamente expressando, e em particular no ensino de Física, têm sido feitas com o intuito de incorporar cada vez mais a tecnologia e a informação em metodologias para tornar o ambiente escolar mais contextualizado e atrativo para o aluno. A internet é uma fonte quase inesgotável de informações, tanto para o professor quanto para o aluno. É possível organizar pesquisas muito significativas para os alunos, obviamente, como fonte de informação para resolver problemas propostos e não pesquisas bibliográficas simplórias em que os alunos copiam e colam. A internet é

fonte primorosa de vídeos em que professores conceituados em seus ambientes educativos dão aulas de quase todos os conteúdos, tanto em nível de Ensino Médio quanto Ensino Superior. Na internet é possível acessar aplicativos rodando em JAVA/Flash, chamados *applets* em que é possível simular fenômenos físicos interativamente, ou seja, é possível elaborar hipóteses e testá-las mudando parâmetros e observando os resultados obtidos. É um aplicativo muito interessante e pouco conhecido dos professores. Pode ser utilizado presencialmente ou a distância (nesse caso uma fonte de trabalhos de pesquisa para resolver problemas bem elaborados que exijam a manipulação de variáveis baseando-se em teorias Físicas – pode-se imaginar o aplicativo como um laboratório virtual). Em desabono, se não bem conduzido o processo, está o fato de o aluno não perceber o modelo por trás da simulação. Aí é que entra a habilidade do professor em fornecer subsídios para o aluno buscar a teoria e os modelos matemáticos que simulam realidades, muitas vezes, inatingíveis pela maioria absoluta dos alunos (e professores).

Outra importante maneira de trabalhar conceitos de Física é a modelagem computacional em que equações abstratas de matemática ganham vida. É possível modelar qualquer fenômeno físico em que haja movi-

mento (seja de objetos, seja de ondas, etc.), desde um carrinho em movimento uniforme (retilíneo ou curvilíneo) até estrelas binárias. É uma forma maravilhosa de desenvolver trabalhos de pesquisa que envolveriam Matemática, Física, disciplinas das engenharias, Química e outras áreas, de forma interdisciplinar. Um programa muito versátil para esse fim é o software Modellus, no entanto, existem outros.

Finalmente, uma forma de utilizar o computador, e que está sendo objeto de várias pesquisas e publicações: o computador como instrumento de laboratório. Nesse caso, o computador é componente essencial de um sistema de aquisição de dados em que sensores são utilizados para “ler” o ambiente e a partir das grandezas lidas obter comprovações de hipóteses amparadas nas teorias vigentes ou mesmo atuar sobre o ambiente/sistema em estudo (no caso de robótica educacional ou automação de processos). Observem que essa afirmação é válida para laboratórios de escolas de Ensino Médio e de muitas Universidades, uma vez que esse papel do computador é comum há muitas décadas em laboratórios de pesquisas avançadas.

Para Cavalcante, Tavolaro e Molissani (2011, p. 1), a introdução da metodologia experimental de aquisição de dados por computador representa a possibilidade real de uso das técnicas de análise estatística de dados experimentais estudados no curso de Física e engenharias, do primeiro período da graduação. Complementando Cavalcante, Tavolaro e Molissani (2011), essa metodologia pode ser desenvolvida com alunos do Ensino Médio, como mostrou a experiência com os bolsistas PIBIC-EM. Esse processo permite ao professor/aluno/pesquisador acesso rápido e em quantidade de dados que podem ser processados, tabulados e convertidos em gráficos com facilidade a partir de planilhas eletrônicas. É uma forma de desenvolver muitas habilidades e competências. A partir

da observação de um fenômeno físico, um sistema pode ser projetado isolando o fenômeno para que o mesmo seja reproduzido em condições de laboratório em que as variáveis possam ser controladas e suas respostas lidas por sensores apropriados, como sensores de temperatura, de luminosidade, de distância, de vibração, de pressão, entre outros. Ainda para Cavalcante, Tavolaro e Molissani (2011, p. 1), é possível formular hipóteses, rapidamente comparar resultados obtidos com os previstos pelo modelo teórico, explicar possíveis diferenças entre o previsto e o observado e ainda, reformular suas hipóteses, fazer ajustes experimentais, a fim de testá-las novamente.

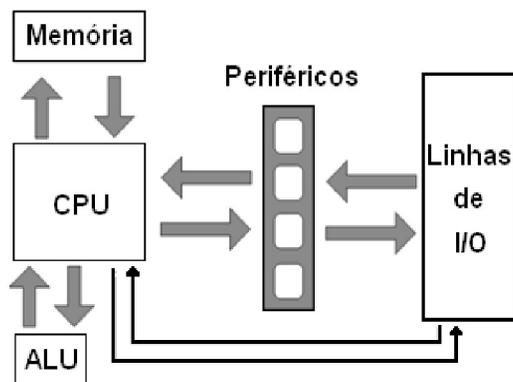
Se bem conduzido, esse processo torna a aula mais dinâmica e, potencialmente, um local de aprendizagem significativa. Apesar disso, o computador é ainda pouco utilizado em laboratórios de Física, pois a maioria dos professores não teve formação nessa área e não se sente preparada ou com muito pouca informação para dominar essa tecnologia.

O princípio do funcionamento dos equipamentos didáticos e de baixo custo para aquisição automática de dados baseia-se na lógica digital e analógica da porta de jogos, porta serial, porta paralela e, atualmente, nas portas USB (Porta Serial Universal, em português) dos computadores pessoais e notebooks. O sistema de aquisição é baseado numa placa microcontrolada. Os microcontroladores são chips eletrônicos que possuem uma Unidade Central de Processamento (CPU em inglês), uma Unidade Aritmético-Lógica (ALU em inglês), as linhas de dados, as linhas de endereço e as linhas de controle e, de forma integrada, possuem também os periféricos para comunicação serial, timers, osciladores e dispositivos de I/Os (Entradas/Saídas). A Figura 1 mostra o esquema da estrutura básica de um microcontrolador.

O primeiro microcontrolador ( $\mu C$ ) foi lançado na década de 80, pela Intel e era

chamado de 8051. Ele iniciou uma revolução sem precedentes na história da eletrônica. Em seguida, vários fabricantes (Hitachi, National, Motorola, etc.) lançaram suas versões. Os microcontroladores estão presentes nos aparelhos que utilizamos no nosso dia a dia, como nas TVs, celulares, carros, brinquedos, entre outros. Os microcontroladores permitem a otimização dos recursos eletrônicos, melhorando a qualidade e o custo final dos produtos.

Figura 1 – Estrutura básica de um microcontrolador.



Fonte: Adaptado de Soares (2002).

Hoje, existem no mercado várias versões de placas microcontroladas aquisidoras de dados com preços populares, mas, sem dúvida, a placa mais conhecida é a Arduino. O sistema Arduino é baseado em um microcontrolador AVR da Atmel. No computador é feita a programação que é então carregada (*upload*) no Arduino através de um cabo USB.

A Placa Arduino consiste em uma plataforma de microcontrolador de código aberto e linguagem padrão baseada em C/C++ e em softwares e hardwares livres, permitindo seu uso como gerenciador automatizado de dispositivos de aquisição de dados de sensores de entrada e de saída.

A IDE (Ambiente Integrado de Desenvolvimento, em português) do Arduino é

uma aplicação *cross-plataform* escrita em Java, o que significa que ela é portátil para diversos sistemas operacionais, e é derivada da IDE para a linguagem de programação *Processing*, que possibilita a visualização gráfica em tempo real, e do projeto *Wiring*. Inclui um editor de código fonte livre, com identificação automática que é capaz de compilar e fazer o *upload* para a placa com apenas um clique.

A Figura 2 mostra uma placa Arduino UNO R3, uma placa básica, com 6 portas analógicas e 14 portas digitais, sendo 6 PWN. Esta placa foi utilizada em todos os experimentos descritos na sequência.

O sistema Arduino permite a leitura simultânea de dezenas de sensores, tanto digitais quanto analógicos e, dependendo do conhecimento em eletrônica e programação, é possível agregar dezenas de sensores através do que se chama de multiplexação. Utiliza uma linguagem de programação baseada em *Wiring* e pode ser associado ao software *Processing* para apresentação de resultados na forma gráfica e em tempo real. O sistema Arduino, sozinho, não permite o processamento de dados para apresentação gráfica. Os dados lidos pelos sensores e, conforme programações do software podem ser tratadas em planilhas eletrônicas, nas quais pode ser realizada a análise das informações. A sua aplicação vai desde a segurança até a automação de processos eletromecânicos. No que diz respeito ao Ensino de Física, tem grande aplicabilidade, pois é possível ler dados de qualquer fenômeno físico detectável por sensores, ou seja, basicamente é um sistema que lê sinais elétricos em sensores expostos ao ambiente a partir de suas portas digitais e analógicas.

Entre os fenômenos estudados até o momento estão: aceleração, movimento uniformemente variado, oscilação, resfriamento, evaporação e queda dos corpos. Entretanto, pesquisas desenvolvidas em projetos de

iniciação científica anteriores mostram que, mesmo para fins didáticos, deve haver condicionamento de sinal, para que o sistema de leitura não produza dados espúrios o suficiente para invalidar os registros. Os resultados até o momento são muito promissores, uma vez que resultados obtidos comprovam os fenômenos físicos estudados com significativa precisão. É possível estudar muitos fenômenos físicos reais, ou seja, “sentir” a natureza como ela é.

**Figura 2** - Imagem da Placa Arduino UNO R3, um dos tipos selecionados para ser utilizado entre diversos outros existentes.



**Fonte:** Adaptado de Soares (2013).

Neste trabalho foram pesquisados diversos sensores que podem ser utilizados nos experimentos com Arduino. Serão relatados apenas aqueles utilizados diretamente nos experimentos descritos neste trabalho.

A temperatura é uma grandeza fundamental para a Física. Diversos tipos de sensores podem ser utilizados, tais como, termistores, circuitos integrados como o LM35, LM60, PT100, termopar entre outros. O termistor (modelo na Figura 3) é um dispositivo elétrico, semicondutor, sensível à variação de temperatura, sendo usado como sensor de temperatura.

O sensor ultrassônico é outro sensor importante para experimentos didáticos de

Física, pois permite a medição de distâncias. Opera por transmissão de energia não sujeita à interferência eletromagnética e totalmente limpa. Atua de modo eficiente detectando objetos em distâncias que variam entre milímetros até vários metros e pode ser empregado para detectar os mais variados tipos de objetos e substâncias. A Figura 4 mostra a imagem de um sensor ultrassônico modelo HC-SR04.

**Figura 3**- Imagem e símbolo de um termistor.



**Fonte:** Soldafria (2014).

**Figura 4** - Imagem de um Sensor Ultrassônico (modelo HC-SR04).



**Fonte:** Filipeflop (2014).

Além dos sensores anteriormente citados, é extremamente indispensáveis o conhecimento de alguns componentes eletrônicos para trabalhar com aquisição de dados. Entre eles o LED, o capacitor, o resistor, o amplificador operacional e muitos outros componentes também importantes como liga de estanho e chumbo para soldagem, plástico termossensível, etc.

Neste contexto, o trabalho justifica-se pela necessidade premente do sistema educacional desenvolver alternativas que atendam as peculiaridades do ensino e aprendizagem de Física.

O presente trabalho tem por objetivo geral contribuir para divulgação do uso do

computador acoplado a sistemas de aquisição automática de dados nos laboratórios de Física. Tem como objetivos específicos mostrar como o sistema Arduino pode ser utilizado na aquisição automática de dados em experimentos didáticos de Física e dar subsídios técnicos e teóricos para professores/pesquisadores de Física.

## Material e métodos

Este trabalho é o resultado de projetos de pesquisa de Iniciação Científica de fomento interno da URI e externo, como é o caso do programa PIBIC-EM/URI/CAPES, no desenvolvimento de experimentos didáticos de Física baseados na Tecnologia microcontrolada *open source* Arduino.

Muitos experimentos foram desenvolvidos visando testar a funcionalidade da placa Arduino, como por exemplo, LEDs, buzzer, amplificadores operacionais, sensores de pressão, sensor de vibração, diodos, sensor de temperatura, sensor infravermelho, chaves mecânicas e sensores de passagem.

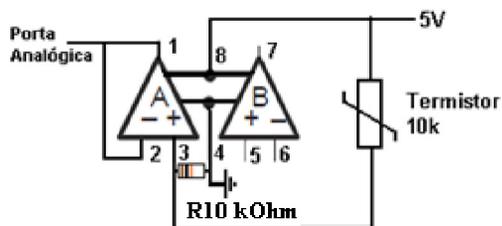
Na sequência, serão relatados os principais experimentos assistidos por computador com a utilização da tecnologia Arduino aliada ao estudo da Física. Os códigos de programação não serão apresentados no texto, uma vez que são de código aberto e podem ser visualizados na rede mundial de computadores, onde os exemplos são infindáveis. Certamente são necessários ajustes, de acordo com o experimento em particular, mas a base de programação é sempre a mesma. Mais um motivo para a importância que vem sendo dada ao estudo do sistema Arduino no ensino de Física.

### A) Variação da Temperatura durante a Evaporação

Foi proposto, para o primeiro experimento com a placa Arduino, a verificação

da variação da temperatura no processo de evaporação de álcool etílico. Foi utilizado um termistor acoplado à placa Arduino através de um circuito com condicionamento de sinal. O termistor foi envolvido por um papel absorvente e então embebido em álcool e deixado exposto ao ar ambiente. A Figura 5 mostra o esquema de ligações dos componentes eletrônicos. O circuito é simples e tem apenas três componentes: um termistor  $10k\Omega$ , um resistor de  $10k\Omega$  e um amplificador operacional LM358.

Figura 5 – Esquema das ligações do sistema de leitura da temperatura a partir de um termistor condicionado por.



Fonte: autores.

### B) Lei de Resfriamento de Newton

Em Física, transferência, transmissão ou propagação de calor, algumas vezes citada como propagação ou transferência térmica, é a transmissão de energia térmica de um corpo mais quente para um corpo mais frio. A lei de Newton do resfriamento estabelece que a taxa de perda de calor de um corpo é proporcional à diferença de temperatura entre o corpo e seus arredores.

Para comprovar a Lei de Newton, foi realizado um experimento fazendo uso de dois sensores de temperatura (termistores), em que um foi colocado num calorímetro com água a uma temperatura de aproximadamente  $50^{\circ}\text{C}$  (aberto ao ambiente) e o outro foi exposto diretamente ao ar em temperatura ambiente. O termistor fez parte de um sistema de sinal

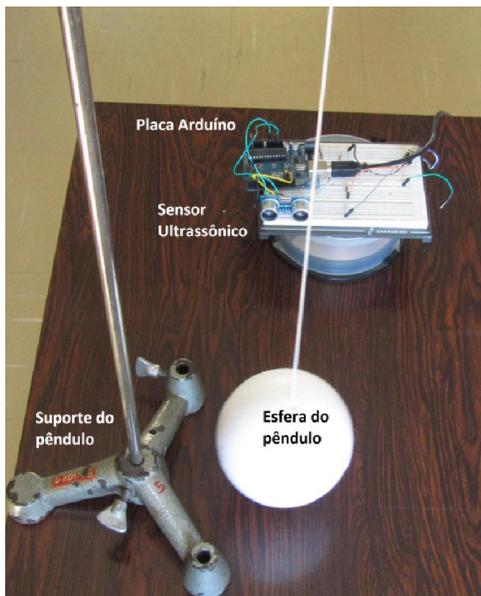
condicionado por amplificador operacional conectado a um sistema Arduino UNO R3 (mesmo esquema da Figura 5, mas com dois sensores acoplados).

### C) Estudo de movimentos

Para verificar se o Arduino é utilizado satisfatoriamente para estudar movimentos, foram desenvolvidos dois experimentos utilizando o conceito do Movimento Harmônico Simples Amortecido e o Movimento Uniformemente Variado.

#### C.1) Movimento Harmônico Simples Amortecido

Figura 6 - Esquema do arranjo experimental do pêndulo.



Fonte: autores.

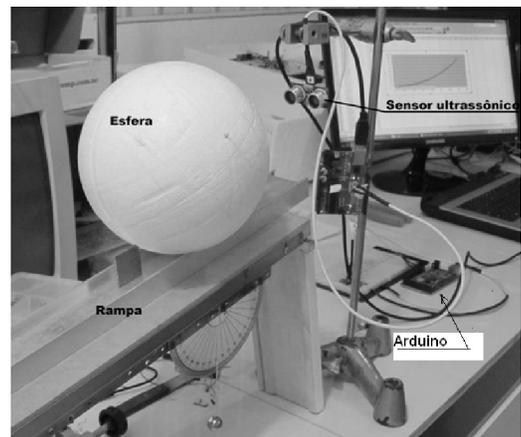
Foi projetado um experimento simples, de um pêndulo formado de uma esfera de isopor preenchida de areia (para aumentar a massa e consequentemente, diminuir o arrasto) e um fio de nylon de 47 cm de comprimento, fixado num suporte universal. A Figura 6 mostra o arranjo experimental. Nesse experimento foi utilizado um sensor ultrassônico modelo HC-

SR04 (que já tem o sinal condicionado internamente). Como procedimento, foi afastada a esfera 10 cm além da posição de equilíbrio e liberada para oscilar livremente. O sensor ultrassônico acoplado à placa Arduino foi ativado para capturar o movimento da esfera e registrar os dados em um arquivo texto para ser interpretado no Microsoft Excel. O gráfico dos dados pode ser vistos na Figura 10.

#### C.2) Movimento Uniformemente Variado - Rampa

- O quarto e último experimento, aquirelatado, trata do Movimento Uniformemente Variado (MRUV), em que foi utilizada uma rampa com ângulo de  $10^\circ$ , uma esfera de isopor oca de 20 cm de diâmetro e um sensor ultrassônico acoplado à placa Arduino UNO R3. A rampa foi construída a partir de um trilho de alumínio em “U” com as aletas separadas por 5 cm apoiado sobre uma base de madeira. A Figura 7 mostra o arranjo experimental do MRUV na rampa.

Figura 7 - Imagem dos componentes do experimento.



Fonte: autores.

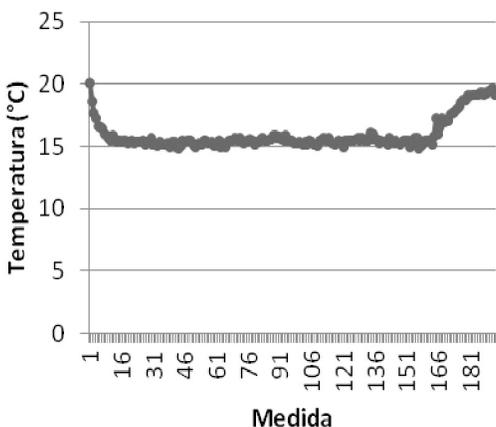
Inicialmente rodou-se o programa Arduino e em seguida a esfera foi liberada na rampa. Os dados recolhidos foram tratados na planilha eletrônica Microsoft Excel e podem ser vistos na Figura 11.

## Resultados

Todos os experimentos mostraram-se viáveis com resultados muito satisfatórios, como poderá ser visualizado na sequência.

Para o experimento do comportamento da temperatura durante a evaporação, verifica-se na Figura 08 o gráfico de dispersão das medidas de temperatura na superfície do sensor térmico (termistor) durante a evaporação de álcool. Verificou-se que, durante o fenômeno da evaporação, a temperatura do sistema diminuiu aproximadamente 5°C. O álcool, por ser uma substância bastante volátil, absorveu intensamente energia do termistor para seu processo de evaporação.

**Figura 8** - Gráfico das medidas de temperatura para evaporação do álcool.

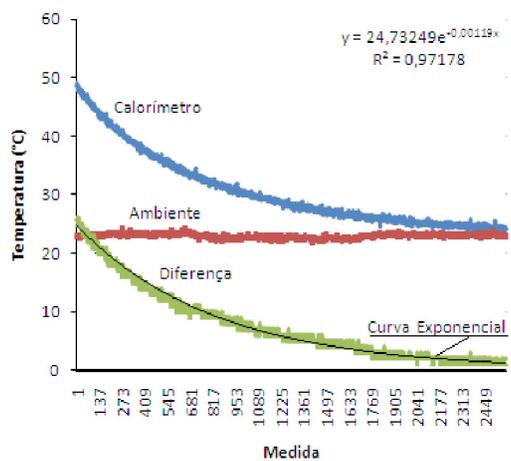


Fonte: autores.

Para o experimento da Lei de Resfriamento de Newton, a Figura 9 apresenta as curvas que representam os dados de temperatura do calorímetro, do ambiente, da diferença de temperatura entre o calorímetro e o ambiente e da curva ajustada, pelo método dos mínimos quadrados. Apresenta também a equação de ajuste exponencial.

O sistema Arduino de aquisição de dados cumpriu satisfatoriamente a tarefa de adquirir dados de temperatura com sensores do tipo termistor e os dados experimentais comprovaram satisfatoriamente a equação de resfriamento de Newton, conforme visto na equação ajustada, pelo método dos mínimos quadrados (Figura 9).

**Figura 9** – Curvas de temperatura do calorímetro, do ambiente, da diferença entre a temperatura do calorímetro e do ambiente e da curva de ajuste exponencial.



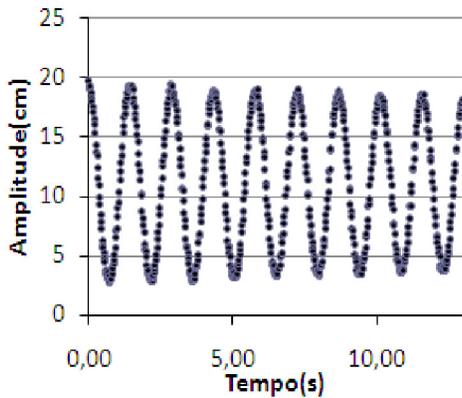
Fonte: autores.

Para o experimento do Movimento Harmônico Simples Amortecido, o gráfico de dispersão, Figura 10, mostra a posição do pêndulo no transcorrer do tempo. A taxa de amostragem foi de 50Hz.

O experimento mostrou, satisfatoriamente, o movimento proposto, demonstrando a lei geral do movimento harmônico simples amortecido e comprovando, por meio de um gráfico, a interdependência existente entre a posição do pêndulo em relação ao tempo decorrido da experiência e da obtenção de dados.

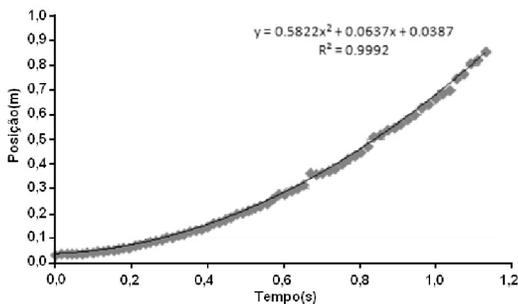
A Figura 11 mostra o gráfico da posição em função do tempo do movimento da esfera na rampa inclinada 10°.

**Figura 10** - Gráfico de dispersão da posição do pêndulo em função do tempo.



Fonte: autores.

**Figura 11** – Posição do móvel (esfera) em função do tempo durante o deslocamento.



Fonte: autores.

Observa-se que a função quadrática ajustada pelo método dos mínimos quadrados, calculada pelo Microsoft Excel, está de acordo com a função horária dos espaços para o MUV. Certamente esperava-se que a velocidade inicial e a posição inicial fosse zero, entretanto, por limitação do sensor ultrassônico, a leitura foi feita a partir de uma distância mínima de 4 cm e a precisão não foi a melhor, pois tratou-se de um componente de baixo custo. Apesar dessas limitações, pode-se verificar, pelo gráfico, que os alunos teriam muito a aprender analisando o gráfico dos dados.

## Discussões

Como se pode observar nos relatos dos experimentos, a utilização do Arduino, juntamente com os sensores acoplados, possibilita a coleta de dados de boa qualidade a partir da utilização de objetos e de conceitos físicos, restando propor que, didaticamente, o sistema Arduino pode ser utilizado por escolas e universidades para favorecer o aprendizado do aluno.

Existem limitações, quanto ao uso, no que se refere à precisão de leitura feita pelo sistema Arduino, no entanto, para fins didáticos, com se pode observar nos gráficos, são irrelevantes diante das possibilidades de aprendizagem tanto do professor quanto do aluno. Com certa razoabilidade é possível pensar em alguns conhecimentos que poderiam ser alcançados, além dos fenômenos físicos diretamente pensados em cada experimento: corrente elétrica, resistência elétrica, capacitância, tensão elétrica, processadores, microcontroladores e assim por diante. Todos esses conhecimentos são importantes para a tecnologia presente nos dias atuais.

Certamente cada um desses experimentos poderia ter sido estudado de forma mais profunda, desenvolvendo mais a parte teórica e relacionando as equações teóricas com as equações obtidas no ajuste de equações, o que certamente será feito em breve, no entanto, do ponto de vista didático este trabalho de pesquisa foi extremamente satisfatório, pois, em nível de Ensino Médio, por exemplo, seria suficiente para dar aos alunos subsídios práticos para a compreensão de teorias.

## Considerações finais

A partir do que foi visto e discutido neste trabalho, é possível pensar na aquisição

automática de dados como uma metodologia capaz de auxiliar o processo de ensino e aprendizagem de Física, levando a uma aprendizagem realmente significativa, isto é, será capaz de gerar uma aprendizagem duradoura que sirva de base para o aprendizado futuro do aluno de Ensino Médio ou de Ensino Superior e também do professor que, através da pesquisa, vai adquirir conhecimentos práticos que somente o ensino “livresco” não seria capaz de promover.

Os resultados obtidos foram muito significativos, uma vez que foi possível vislumbrar outras faces da Física. Uma Física do cotidiano, uma Física por trás dos equipamentos eletrônicos que povoam nossas vidas e uma Física experimental associada com tecnologias modernas e não acessíveis aos professores e alunos das escolas de Ensino Médio, pelo menos por enquanto.

Considera-se que, ao término desse trabalho, que é o resultado de projetos de Iniciação Científica, conhecimentos relevantes foram adquiridos. Os alunos bolsistas de Ensino Médio relataram que, com exceção da eletricidade básica (que já conheciam, em parte), foram aprendidas noções de programação, microcontroladores, sensores e os conhecimentos avançados de Física aplicada nos sensores.

Em termos mais técnicos, considerando a perspectiva do professor orientador, foi possível avançar em termos de aplicação da tecnologia Arduino na física experimental didática, visando o ensino de Física no Ensino Médio, Superior e, porque não, Fundamental. Foi possível vislumbrar inúmeras aplicações didáticas a serem desenvolvidas na continuidade do trabalho de pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial à URI e ao CNPq que por meio dos programas de incentivo à pesquisa possibilitaram o trabalho dos bolsistas de Iniciação Científica que contribuíram na obtenção dos resultados desta pesquisa. Os alunos, ex-bolsistas, agora autores, participaram dos programas PIIC-URI (Douglas Ferrari) e PIBIC-EM/URI/CNPq (Débora Suélen Trentin e Matheus Matiasso Piaia).

## REFERÊNCIAS

- CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R. C. e MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, 4503 (2011). Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/indice1.php?vol=33&num=4>>. Acesso em: 5 jul. 2014.
- FILIFELOP. **Lista de componentes**. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-6b8a2-sensor-de-distancia-ultrassonico.html?ct=&p=1&s=1>>. Acesso em: 10 jul. 2014.
- SOARES, K. O que é um Arduino e o que pode ser feito com ele?. **Techtudo**. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/10/o-que-e-um-arduino-e-o-que-pode-ser-feito-com-ele.html>>. Acesso em: 10 out. 2013.
- SOARES, M. J. Microcontroladores PIC. **Arnerobotics**. Disponível em: <[http://www.arnerobotics.com.br/eletronica/Microcontrolador\\_PIC\\_teorias\\_1.htm](http://www.arnerobotics.com.br/eletronica/Microcontrolador_PIC_teorias_1.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2013.
- SOLDAFRIA. Lista de Componentes. Disponível em: <http://www.soldafria.com.br/termistorntc-c-75.html>. Acesso em: 6 jul. 2014.