

Uso da plataforma Arduino e do software PLX-DAQ para construção de gráficos de movimento em tempo real

Real time motion graphics by means Arduino platform and PLX-DAQ software

Luiz Antonio Dworakowski*¹, Ângela Maria Hartmann², Edson Massayuki Kakuno²,
Pedro Fernando Teixeira Dorneles²

¹Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS Brasil

²Escola Estadual Jeronimo Mercio da Silveira, Candiota, RS, Brasil

Recebido em 13 de janeiro de 2016. Revisado em 21 de abril de 2016. Aceito em 23 de abril de 2016

Descrevemos neste artigo a construção de um aparato experimental indicado para o ensino de gráficos da Cinemática. O aparato utiliza o *software* PLX-DAQ e um sensor sonar de ultrassom acoplado a uma plataforma microcontrolada Arduino para realizar leituras de posição e distância de objetos. O instrumento foi desenvolvido durante a realização de um mestrado profissional, com o objetivo de contribuir para a superação de dificuldades de aprendizagem enfrentadas por estudantes da Educação Básica na construção e interpretação de gráficos de posição *versus* tempo no sistema cartesiano de coordenadas. Na primeira parte do artigo, apresentamos uma descrição detalhada da construção do aparato experimental e, na sequência, um breve relato sobre alguns resultados do seu uso em duas turmas de 1º ano do Ensino Médio, de uma escola estadual do município de Candiota/RS. Durante sua aplicação, pudemos identificar uma evolução no desempenho dos alunos, os quais demonstraram, no início da atividade, alguma dificuldade na análise e interpretação de gráficos de movimento. No entanto, no decorrer das tarefas, eles foram capazes de interpretar e reproduzir gráficos de movimento, em tempo real, a partir do aparato experimental utilizado.

Palavras-chave: Cinemática; PLX-DAQ; Arduino; Ensino Médio..

This paper presents an educational tool developed using the Arduino platform with a position sensor and the PLX-DAQ software, which was used in developing a learning experiment suitable for teaching graphics kinematics that was applied to the master's work. The aim was to overcome learning difficulties faced by students of basic education in the construction and interpretation of graphs, like position versus time in the Cartesian coordinate system. We present a detailed description of instrumentation and some results of an implementation carried out with two groups of 1st year of high school, a State school in the city of Candiota / RS. In the implementation, we identified an increase in student performance, which demonstrated certain difficulties in the analysis and interpretation of motion graphics at the beginning of the activity; however, they developed skills in the course of tasks, achieving both qualitative and quantitative results (statistically significant). The students were able to interpret and reproduce motion graphics in real time from the instrumentation proposed in this work.

Keywords: Kinematics; PLX-DAQ; Arduino; High School.

1. Introdução

A plataforma microcontrolada Arduino tem sido bastante explorada no Ensino de Física. Baseados em trabalhos [1-3] e nas dificuldades de aprendizagem de gráficos da Cinemática por alunos [4], Dwora-

kowski [5] concebeu uma proposta didática indicada para o ensino de gráficos da Cinemática, utilizando-se de uma *diversidade metodológica* [6], o qual lança mão de recursos lúdicos (jogo batalha naval, mapa geográfico do município e construção de um plano cartesiano no pátio da escola), recursos esses associados ao uso de tecnologias na educação (construção

*Endereço de correspondência: luiz.dworak@gmail.com.

de um carrinho automatizado com a plataforma Arduino). No contexto desse trabalho e com o objetivo de avaliar a proposta didática desenvolvida, procurou-se apresentar aos alunos uma situação para análise dos movimentos, em um contexto diferente daquele na qual foi utilizado o material instrucional, conforme aceção de Ausubel [7].

Nesse sentido, descrevemos neste artigo a construção de um aparato experimental, desenvolvido a partir da integração entre a plataforma microcontrolada Arduino [8], um sensor de posição e o *software* PLX-DAQ¹, que propicia a construção de gráficos em tempo real. Salientamos que essa integração gera um diferencial, em relação ao uso atual da plataforma Arduino no ensino de Cinemática, pois se torna possível a análise de gráficos de posição versus tempo à medida que objetos são movimentados.

2. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O aparato experimental composto basicamente, por um microcontrolador [8], que recebe as leituras do sensor sonar de ultrassom e as converte em medidas de distância, permite realizar medidas de 0,04 m a 4,0 m com uma resolução de 0,004 m a uma taxa de 1/60 ms medidas por segundo, conforme dados do fabricante do sensor ultrassônico *Ultrasonic Ranging Module HC-SR04* [9]. Cada medida de distância é transferida a um computador que gradativamente constrói um gráfico da posição *versus* tempo, permitindo assim observar o registro, quase que instantâneo, por exemplo, da aproximação (ou afastamento) de um objeto do sonar, em um gráfico construído na tela do computador. Na figura 1 mos-

¹Este *software*, desenvolvido pela empresa Parallax, está disponível em: <http://www.parallax.com/downloads/plx-daq>. Acesso em 05 de junho de 2015.

tramos o diagrama em blocos do aparato experimental.

A plataforma Arduino é carregado com um código (Apêndice A) que realiza continuamente medidas de distâncias e as envia através de uma saída USB a um computador conectado à placa, que pode capturar essas medidas e mostrar os dados numéricos na interface de *software* Arduino (“Serial Monitor”). Ao invés desse, neste trabalho, utilizamos o *software* PLX-DAQ, que permite enviar os dados para uma planilha eletrônica. Com os dados na planilha, é possível utilizar as facilidades deste *software* e construir, por exemplo, um gráfico com o par de coordenadas tempo e posição recebidos do sensor sonar, através do Arduino e do *software* da Parallax². Cabe destacar que Rocha e Guadagnini [3] propuseram o uso do PLX-DAQ para explorar a pressão no interior de um balão.

O módulo de ultrassom possui 4 pinos, dos quais 2 são para alimentação (+5V e GND), um para iniciar a medida (pino “trigger”) e outro para o resultado da medida (pino “echo”). O módulo é composto por uma lógica (*hardware e software*) que, sempre que recebe um pulso de largura de 10 μ s ou mais, no pino trigger, emite um pulso composto de 8 ciclos de 40 kHz no transdutor Tx (transmissão) e espera o retorno do pulso no transdutor Rx (recepção). O intervalo de tempo entre a emissão do pulso de 40 kHz e o seu retorno constitui a largura do pulso gerado no pino echo (Figura 2). Conhecendo a velocidade de propagação do som, pode-se converter o tempo

²Nestes links estão disponíveis orientações de como usar o PLX-DAQ: http://homepages.ihug.com.au/~npynier/Arduino/GUIDE_2PLX.pdf e http://robbottini.altervista.org/arduino-and-real-time-charts-in-excel?doing_wp_cron=1382484593.4194939136505126953125. Acesso em 05 de junho de 2015.

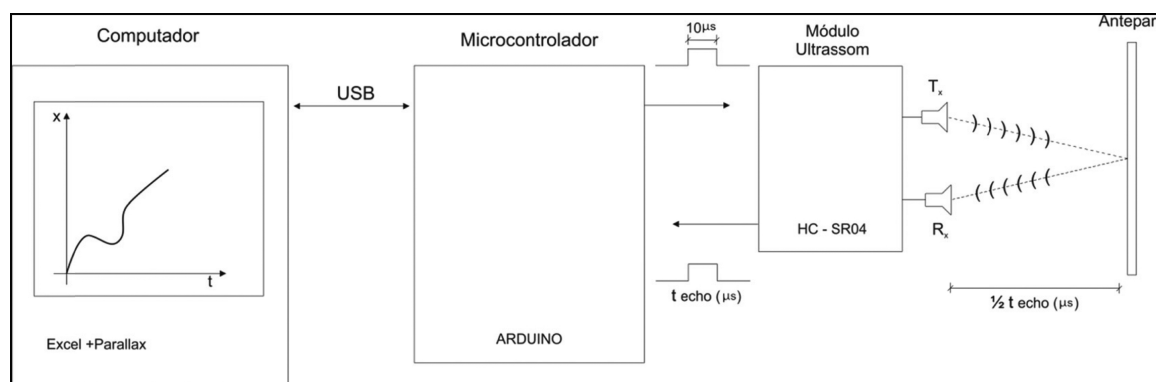


Figura 1: Diagrama em blocos do sistema de medidas de posição através de ondas ultrassônicas

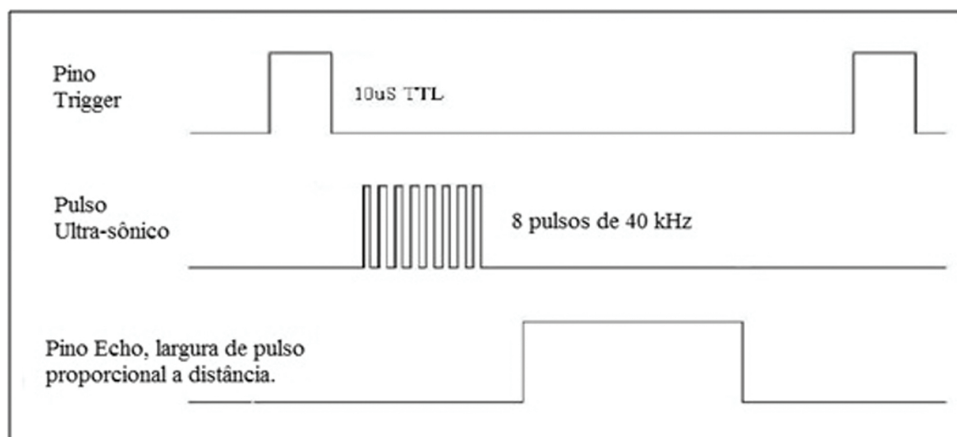


Figura 2: Diagrama de temporização do módulo de ultrassom, HC-SR04.

em distância, conversão esta realizada dentro do *hardware* do Arduino, através do código carregado.

2.1. Diagrama elétrico

A figura 3 mostra as conexões elétricas entre o módulo de ultrassom (US) com a placa Arduino. O fio identificado pelo número (1) é a conexão de alimentação de +5 V (15 mA) e o de número (4) é a conexão para o negativo (GND). O fio identificado pelo número (2) conecta o pino digital 12 (configurado para saída) do Arduino ao pino “trigger” do módulo US e o de número (3) conecta o pino digital 10 (configurado para entrada) do Arduino ao pino “echo” do módulo US”.

2.2. Caracterização do sistema de medidas

Inicialmente comparamos dados coletados a partir do código que concebemos (Apêndice A) com dados

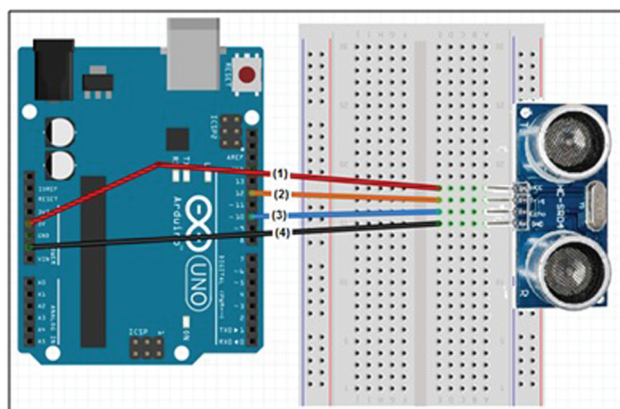


Figura 3: Diagrama de conexão elétrica do módulo de ultrassom com o Arduino.

obtidos do código disponibilizado pelo fabricante. Para cada caso, fixamos um objeto a 1,0 m do sensor, coletamos 1000 medidas e calculamos a média e o desvio padrão para cada conjunto de dado. Em ambos os casos, notamos que o desvio padrão da medida é muito pequeno, cerca de 0,3% do valor esperado, de 1,0 m (distância para ida e volta do som). Isto mostra que temos pouca flutuação nas medidas realizadas e que os dois códigos são adequados para o propósito da experiência didática realizada. Optamos, porém, pelo código do Apêndice A por utilizar apenas comandos de amplo uso.

Salientamos que é necessária a realização de uma calibração das medidas, pois variações do módulo da velocidade do som podem interferir nas medidas realizadas. Para isso, sugerimos duas possibilidades: (1) a utilização do código apresentado no Apêndice B (posicionando um objeto a 0,50 m do sensor para obtenção da velocidade do som) ou (2) fazendo uma medida inicial de um objeto posicionado a 1,0 m, para obter a corresponde a medida esperada (todas as subsequentes deverão ser divididas pelo fator obtido a partir da medida encontrada pela esperada).

Definido o código a ser utilizado, passamos a comparar os dados do sensor fornecidos pelo fabricante e os dados obtidos experimentalmente. Em relação ao tempo de realização de cada medida encontramos um resultado bastante significativo e não explorado em muitos trabalhos. Trata-se do fato de o tempo entre duas medidas não ser constante para diferentes distâncias, conforme pré-estabelecido na programação e recomendado pelo fabricante (60 ms). Com o auxílio de um osciloscópio, observamos que o tempo de cada medida aumenta quando o objeto se afasta do sensor. Ao analisar o tempo de ida e volta

Tabela 1: Comparação de dados experimentais entre os gerados pelo código disponibilizado pelo fabricante (Apêndice B) e pelo código concebido pelos autores (Apêndice A).

Código Fonte	Média (cm)	Desvio Padrão da medida (cm)
Apêndice A	100,3	0,3
Apêndice B	104,2	0,3

do pulso, tivemos indícios para estimar que o tempo previsto para cada medida deve ser a soma de 60 ms (tempo programado), mais 2 ms (tempo de processamento) e mais o tempo de ida e volta do pulso (Tabela 2). Destacamos que essa análise é importantíssima para casos em que se deseja encontrar a velocidade do objeto, pois, ao realizar experimentos com objetos em movimento em relação ao sensor, os intervalos de tempo entre uma medida e outra não serão constantes para diferentes distâncias.

Sobre a largura do pulso que o pino trigger recebe para, na sequência, emitir um pulso composto de 8 ciclos de 40 kHz no transdutor, observamos que, no sensor utilizado, esse pulso não é de 10 μ s e sim de 15 μ s, sendo constante para qualquer posição entre 4 a 400 cm.

Com o objetivo de investigar se o tamanho do objeto, ou melhor, a área transversal pode interferir no alcance máximo de medida do sensor. Analisamos duzentas medidas realizadas ao longo de 4 m, usando dois anteparos com as seguintes medidas: Anteparo A = 0,424 m (largura) e 0,442 m (altura) e Anteparo B = 0,21 m (largura) por 0,156 m (altura). Concluímos que até 2,0 m os resultados apresentam baixo desvio padrão (Tabela 3), mas, ao afastar o Anteparo B por mais de 2,0 m, percebemos que o sensor não detecta mais o Anteparo B (anteparo menor). Assim, recomendamos que para anteparos com aproximadamente 0,21 m por 0,15 m, as medidas sejam realizadas dentro do limite de 2,0 m. Destacamos que a análise proposta refere-se ao valor medido e ao desvio padrão da média (erro padrão)

**Figura 4:** Foto ilustrativa do arranjo experimental montado para a coleta de dados.

de cada caso e não em relação à comparação entre as medidas com os dois anteparos, pois os mesmos não foram posicionados exatamente nas mesmas posições.

Por fim, investigamos a distância mínima, em relação ao eixo central, que objetos podem ser posicionados de modo que não ocorram interferências. O fabricante do sensor informa que o ângulo de abertura pode ser de até 15° para direita e para esquerda. A fim de confirmar essas informações, posicionamos o Anteparo 1 na posição 400 cm e aproximamos lateralmente outro objeto em direção ao eixo central, nas posições 100 cm e 250 cm. Conforme a ilustração da Figura 5, observamos que, para a distância de 100 cm um objeto pode ser deslocado até 9 cm de proximidade do eixo central em ambos os lados, e na posição de 250 cm até 30 cm, sem interferir na me-

Tabela 2: Análise do tempo de uma medida experimental em função da distância entre o sensor e o objeto.

Distância [cm]	10	25	50	75	100	200	300	400
Tempo coletado entre duas medidas [ms]	63,0	64,0	65,0	67,0	68,0	73,0	80,0	86,0
Tempo de ida e volta do pulso [ms]	0,6	1,5	2,9	4,3	5,9	12	18	23
Tempo previsto (60 + 2 + ida e volta)[ms]	62,6	63,6	64,9	66,3	67,9	73,8	79,5	85,3

Tabela 3: Medidas experimentais com anteparos diferentes.

Distância (cm)	100		200		300		400	
Anteparo	1	2	1	2	1	2	1	2
Média (cm)	100,3	101,8	201,7	204,8	304,2	-	404,4	-
Desvio Padrão (cm)	0,3	0,4	0,6	1,5	1,0	-	1,1	-

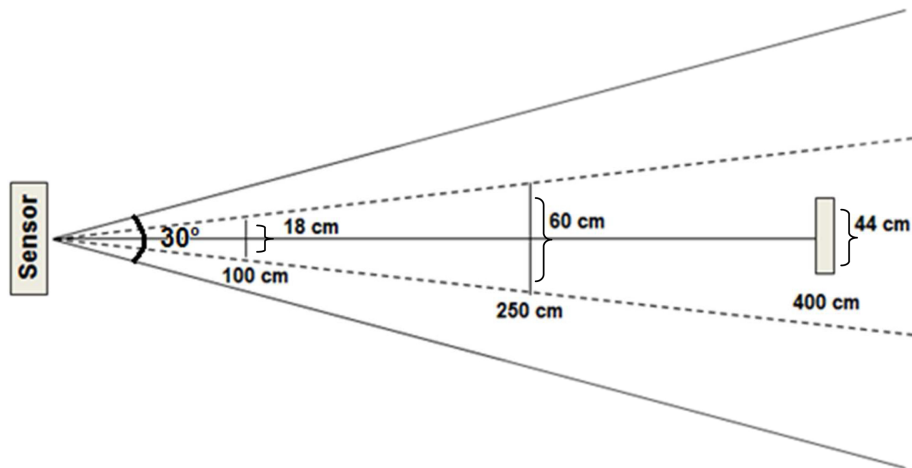


Figura 5: Representação esquemática de regiões que podem causar interferências nas medidas experimentais.

didada de distância de 400 cm (posição do Anteparo 1). Portanto, objetos que estiverem ou entrarem na região compreendida entre as linhas pontilhadas poderão interferir nas medidas realizadas, mas aconselhamos seguir as orientações do fabricante, isto é, manter entre as linhas contínuas (abertura de 30 graus) somente o anteparo em questão.

3. EXPERIÊNCIA DIDÁTICA

Os objetivos de ensino desta aplicação consistiram em capacitar alunos de Ensino Médio para obtenção de dados reais e construção de gráficos de determinados movimentos. A experiência foi aplicada em duas turmas de 1º ano do Ensino Médio em uma escola pública estadual do município de Candiota/RS, totalizando 25 alunos [5].

Na atividade prática desenvolvida, os alunos inicialmente assistiram uma demonstração sobre o funcionamento do instrumento que utilizariam para construir os gráficos e tiveram dois minutos para testá-lo. Em seguida, cinco grupos (com cerca de

cinco alunos), receberam um conjunto de quatro gráficos da posição versus tempo, representando movimentos de um móvel em trajetória retilínea com módulos de velocidade e de sentidos que poderiam variar de acordo com cada gráfico.

A figura 6 mostra um grupo de alunos utilizando a ferramenta computacional projetada para realizar leituras de posição de objetos. Durante a realização da atividade, os estudantes tinham, inicialmente, dez minutos para interpretar o movimento representado em gráficos de posição contra tempo que lhes foram apresentados para, em seguida, reproduzir qualitativamente esse movimento deslocando um objeto à frente do sensor de posição. Ao deslocar o objeto, gerava-se, em tempo real, novo gráfico na tela do computador. Desse modo, eles podiam comparar o gráfico produzido na tela do computador com o recebido para análise, sabendo, imediatamente, se haviam interpretado de forma adequada o movimento.

Na figura 7 mostramos os gráficos distribuídos para interpretação, análise e reprodução manual,



Figura 6: Recorte da montagem do circuito e grupo de alunos realizando a atividade.

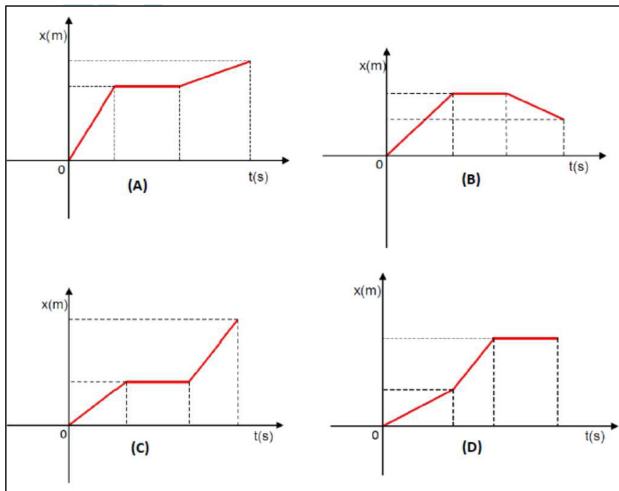


Figura 7: Conjunto de gráficos disponibilizados aos alunos para interpretação e reconstrução através do aparato experimental.

usando o aparato experimental, e na sequência, a figura 8 ilustra o resultado típico de um conjunto de gráficos construídos por quatro grupos que desenvolveram adequadamente a tarefa. Na figura 9 apresentamos os gráficos produzidos pelo quinto grupo, o qual desenvolveu parcialmente a tarefa.

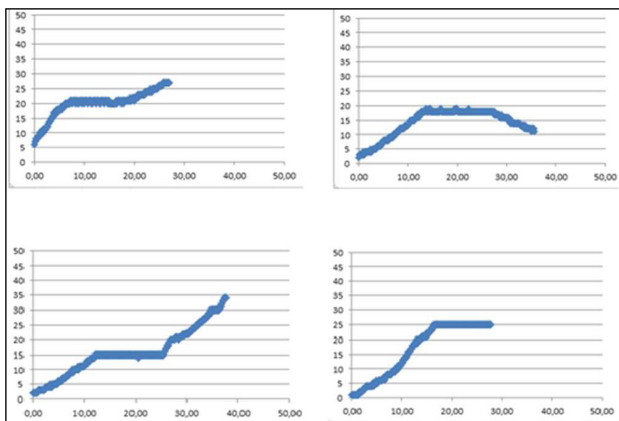


Figura 8: Conjunto típico de gráficos construídos por quatro grupos que desenvolveram a tarefa.

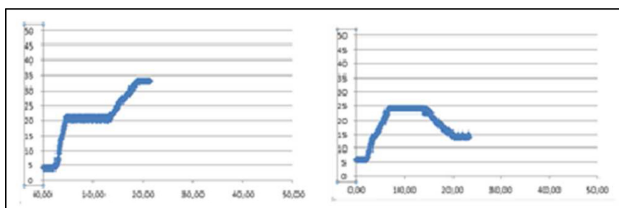


Figura 9: Gráficos reproduzidos através da plataforma Arduino e o sensor de movimento pelo grupo 5.

Analisando os gráficos reproduzidos pelos alunos percebemos que os grupos conseguiram interpretar e reproduzir os movimentos constantes dos gráficos oferecidos, em tempo real, através do aparato experimental disponibilizado. As mudanças de velocidades foram observadas nos gráficos produzidos pelos alunos de maneira satisfatória. Quando houve variação brusca da velocidade, parada e/ou mudança no sentido do movimento, esses puderam ser observados nas imagens reproduzidas pelos alunos. O tempo destinado para a realização da atividade foi 60 minutos e o grupo nº5 acabou não concluindo a tarefa, mas optamos por registrar os dois primeiros gráficos reproduzidos pelo grupo, nos quais podemos perceber que ficaram de certa forma diferentes do padrão dos demais grupos, o que podemos relacionar a pressa do grupo em concluir a atividade.

Ao longo do estudo de Dworakowski [5], que envolveu além do aparato experimental apresentado no presente trabalho o uso do jogo Batalha Naval e de carrinhos automatizados, foi possível identificar uma evolução no desempenho dos alunos, os quais demonstraram certas dificuldades na análise e interpretação de gráficos de movimento no início das atividades. No decorrer das tarefas, contudo, eles foram conseguindo resultados qualitativos e quantitativos, estatisticamente significativos, que mostram que os alunos foram capazes de interpretar e reproduzir gráficos de movimento, em tempo real, a partir da plataforma Arduino e do *software* Parallax Inc.

4. Conclusões

Em atividades prévias Dworakowski [5] detectamos dificuldades dos alunos em coletar e tabular dados de tempo e distância em atividades de gráficos da Cinemática. Tendo por objetivo a superação dessas dificuldades, as atividades descritas no presente trabalho contribuíram para que os alunos se familiarizassem com a obtenção e a utilização de dados em tempo real, algo até então, nunca experimentado por eles. O uso do sensor de posição serviu para complementar o processo de interpretação e construção de gráficos, pois os gráficos de posição versus tempo foram construídos em tempo real, à medida que a posição de um objeto era alterada pelos alunos. Assim procedendo, os alunos conseguiam verificar, de modo imediato, seu acerto (ou não) da interpretação do movimento. Constatamos, ao longo do conjunto de atividades, um desenvolvimento progressivo dos

alunos, avaliando como plenamente satisfatório o aproveitamento das turmas em relação aos objetivos de aprendizagem previstos. Os alunos foram conseguindo resultados qualitativos que sugerem sua capacidade de interpretar e reproduzir gráficos de movimento, em tempo real, a partir da plataforma Arduino e do *software* Parallax Inc. Por fim, salientamos que o intervalo de tempo entre duas medidas de distância é maior do que 60,0 ms previsto pelo fabricante do sensor sonar. Verificamos ser necessário acrescentar 2,0 ms à soma dos tempos de envio e reflexão do pulso ultrassônico, principalmente quando se tiver objetivo a obtenção da velocidade de objetos. Atribuímos esse acréscimo ao tempo de processamento dos sinais pela Placa Arduino e ao próprio tempo de propagação do som. Também, constatamos experimentalmente que o pulso programado para dar início de cada medida de distância é de 15 μ s e não de 10 μ s, conforme indicado pelo fabricante e programado no código fornecido por ele e que o ângulo de abertura do sensor ultrassônico é menor que o fornecido pelo fabricante.

Apêndice A – Código fonte concebido pelos autores

```
//Pino 12 ligado no pino Trigger do
//sensor sonar.
// Quando o pino trigger é alimentado
//com 5.0 V durante ou ao menos 10
//microsegundos o módulo sensor emite
//oito pulsos ultrassônicos com uma
//frequência de 40 KHz, dando início
//a cada medida de distância.
    int sonar_trig = 12;

//Pino 10 ligado no pino Echo do sensor
//sonar.
//O pino Echo fica em estado alto no
//intervalo de tempo entre a emissão
//dos pulsos de 40 KHz e o retorno dos
//pulsos - reflexão a partir de um
//objeto a frente do sensor.
    int sonar_echo = 10;

//Contagem do tempo
    float tempo=0;

// Variável que representa a posição do
```

```
//objeto em relação ao sensor. A origem
//do sistema de coordenada é definida
//na posição do sensor.
    float X;

//Tempo em que o pino Echo permanece no
//estado alto (tempo para os pulsos
//ultrassônicos percorrerem a trajetória
//do sensor até o objeto e retornarem
//ao sensor).
    float tempo_echo;

// O led instalado internamente na
//placa arduino no Pino 13, é usado
//para acender quando uma medida de
//posição for maior que 2.0 metros.
// Um Led externo também pode ser
//conectado ao pino 13, para
//facilitar a visualização.
    int Led = 13;

// Setup do Arduino
void setup() {

// Pino de Trigger do sensor sonar
pinMode(sonar_trig, OUTPUT);

// Pino Echo do sensor sonar
pinMode(sonar_echo, INPUT);

// Pino 13 da placa arduino
pinMode(Led, OUTPUT);

// Inicializa a porta serial
Serial.begin(19200);

// Interface com Excel (PLX-DAQ)
Serial.println("CLEARDATA");
Serial.println("LABEL,Time,tempo,
X(cm)");
}

// Loop infinito
void loop() {

//Dispara o pulso de Trigger de 10us
//de largura
digitalWrite(sonar_trig, HIGH);
delayMicroseconds(10);
```

```

digitalWrite(sonar_trig, LOW);

//Zera a variável tempo_echo
tempo_echo = 0;

// Tempo para os pulos ultrassônicos
//percorrerem a trajetória do sensor
//até o objeto e retornarem ao sensor.
// A função pulseIn cronometra o tempo
//em que o pino sonar_echo permanece
//alto (em microssegundos).
tempo_echo = pulseIn(sonar_echo, HIGH);

//O Cálculo da posição X entre o sensor
//e o objeto é obtido a partir de:
//x = 0.5*(tempo_echo x 10-6 s *
//340 m/s)
//Como o tempo é de ida e volta
//multiplicasse por 0.5, para
//transformar o tempo de microssegundos
//para segundos multiplicasse por
//10-6 e adotasse 340 m/s para
//a velocidade do som.
X = 0.5*(tempo_echo * 1.0e-6 * 340);

// Conversão de X em metros para
//centímetros.
X = X * 100.0;

// Conta o tempo em milissegundos
//desde o início do programa.
tempo = millis();

// transforma o tempo de milissegundos
//em segundos.
tempo = tempo/1000;

if(X >= 200) {
  // O sensor não encontrou um objeto
  //em uma posição inferior a 200 cm
  //e o resultado deve ser descartado
  // Sinalizar com o led do Pino 13
  //da placa arduino
  digitalWrite(Led, HIGH);
} else {
  digitalWrite(Led, LOW);

  // Envia os dados das variáveis, Time,

```

```

//tempo e X para a porta serial, que
//podem ser visualizados na planilha
//do PLX-DAQ.
Serial.print("DATA,TIME,");
Serial.print(tempo);
Serial.print(","); Serial.println(X);
Serial.print(",");
Serial.println("ROW,SET,2");
}
// Aguarda o tempo mínimo recomendado,
//pelo fabricante do sensor, antes de
//fazer uma nova leitura (60 ms)
delay(60);

```

Apêndice B – Código fonte usado para medida da velocidade do som

```

int sonar_trig = 12;
int sonar_echo = 10;
float tempo=0;
float Vsom;
float tempo_echo;
int Led = 13;

void setup() {
  pinMode(sonar_trig, OUTPUT);
  pinMode(sonar_echo, INPUT);
  pinMode(Led, OUTPUT);
  Serial.begin(19200);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Time,tempo_echo,
Vsom(m/s)");
}

void loop() {
  digitalWrite(sonar_trig, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(sonar_trig, LOW);
  tempo_echo = 0;
  tempo_echo = pulseIn(sonar_echo, HIGH);
  Vsom =2/(tempo_echo * 1.0e-6);
  tempo = millis();
  tempo = tempo/1000;

  Serial.print("DATA,TIME,");
  Serial.print(tempo_echo);
  Serial.print(",");
  Serial.println(Vsom);
  Serial.print(",");

```



```
Serial.println("ROW,SET,2");  
  
delay(60);  
}
```

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Paulo Henrique Guadagnini que colaborou na concepção do código fonte e ao apoio do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência – PIBID, da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil.

Referências

- [1] M.A. Cavalcante, C.R.C. Tavoraro e E. Molisani, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 4503 (2011).
- [2] B.D. Neto, *Aprendizagem de Conceitos Físicos Relacionados com Circuitos Elétricos em Regime de Corrente Alternada com Uso da Placa Arduino*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande Sul, 2013.
- [3] F.S. da Rocha e P.H. Guadagnini, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **31**, 124 (2014).
- [4] I.S. Araujo, E.A. Veit e M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 179 (2004).
- [5] L.A de Q. Dworakowski, *Construção e Interpretação de Gráficos da Cinemática: Uma Proposta para o Ensino Médio Politécnico*. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Ciência, Campus Bagé, Universidade Federal do Pampa, 2015.
- [6] Eliane A. Veit e Ives S. Araújo, *Tecnologias de Formação e Comunicação: Facilitando a Aprendizagem Significativa de Ciências e Matemática*. (IF-UFRGS, Porto Alegre, 2006).
- [7] Marco A. Moreira e Elcie F.S. Masini, *Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel* (Centaurus, São Paulo, 2001).
- [8] Arduino, disponível em <http://www.arduino.cc/>, acesso em 1/7/2015.
- [9] Ultrasonic Ranging Module HC - SR04, disponível em <http://www.Electronics.com>, acesso em 1/7/2015.