

# Aula experimental remota: determinação do coeficiente de restituição utilizando *Arduino*

Remote experimental class: determination of  
restitution coefficient using *Arduino*

Tiago Destéffani Admiral <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Mestrado Profissional Nacional de Ensino de Física, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, R. Dr. Siqueira, 273 - Parque Dom Bosco, Campos dos Goytacazes - RJ, 28030-130. Rio de Janeiro. Brasil.

E-mail: [tdesteffani@gmail.com](mailto:tdesteffani@gmail.com)

Recibido el 8 de marzo de 2022 | Aceptado 20 de abril de 2022

## Resumo

Entre os desafios impostos pelas restrições causadas pelo covid-19, podemos destacar, em particular, a adaptação de atividades experimentais na modalidade remota. Este artigo descreve a construção e aplicação de um protótipo experimental de baixo custo, baseado na plataforma Arduino. O protótipo foi utilizado em uma aula prática para determinação do coeficiente de restituição em uma colisão inelástica, entre uma bolinha de borracha e uma superfície de madeira. O protótipo forneceu aquisição de dados em tempo real, em uma aula com graduandos em física, possibilitando a visualização do fenômeno e o compartilhamento dos dados com os alunos. Seu funcionamento é baseado na piezoelectricidade, o que permitiu observar graficamente a proporcionalidade entre a energia cinética em cada colisão e a intensidade do sinal elétrico obtido. Os resultados experimentais mostraram baixo desvio padrão e boa consistência em diversas repetições. Também foram comparados com outros resultados, obtidos por uma técnica com utilização de vídeo, mostrando uma concordância da ordem de 2 %.

**Palavras chave:** Coeficiente de restituição; Arduino; Ensino de física; Ensino remoto.

## Abstract

Among the challenges imposed by the restrictions caused by the covid-19, we can highlight, in particular, the adaptation of experimental activities in the remote mode. This article describes the construction and application of a low-cost experimental prototype, based on the Arduino platform. The prototype was used in a practical class to determine the restitution coefficient in an inelastic collision, between a rubber ball and a wooden surface. The prototype provided real-time data acquisition, in a class with undergraduate physics, enabling the visualization of the phenomenon and data sharing with students. Its operation is based on piezoelectricity, which allowed to graphically observe the proportionality between the kinetic energy in each collision and the intensity of the electrical signal obtained. The experimental results showed low standard deviation and good consistency in several repetitions. They were also compared with other results, obtained by a technique using video, showing an agreement in the order of 2 %.

**Keywords:** Restitution coefficient; Arduino; Teaching physics; Remote learning.

## I. INTRODUÇÃO

O tema de colisões é abordado tanto na física do ensino médio quanto na física básica em nível superior, o que difere basicamente entre as duas é que as abordagens em nível superior consideram casos mais próximos dos reais, relacionando-os com impulsos gerados por forças não uniformes, por exemplo. É comum, na física do ensino médio, que o professor aborde o assunto de colisões sob a perspectiva de dois extremos, primeiro exemplificando a colisão perfeitamente elástica, para a qual a energia mecânica se conserva antes e após a colisão (Montoli, 2020). O outro exemplo, visto geralmente em sequência, é o da colisão perfeitamente inelástica, para a qual a energia não se conserva e os

corpos permanecem acoplados no fim da colisão. Entretanto no mundo real, de maneira geral, as colisões mais frequentes são parcialmente inelásticas, alvo de nossa prática.

Também é comum encontrarmos esse tema também em laboratórios de física básica em nível superior, como acontece neste trabalho. Dada a necessidade de executar uma aula prática para determinação do coeficiente de restituição, de forma remota, a uma turma de alunos de física de quarto período, foi construído um protótipo para aquisição de dados em tempo real, que também mostrasse aos alunos esses dados, como se eles estivessem fisicamente no local do experimento. O protótipo foi construído com elementos de baixo custo, utilizando um transdutor piezoelétrico e uma placa Arduino UNO. O Arduino é uma plataforma que envolve *software* e *hardware* livres, muito utilizada em atividades experimentais em física (Wurm, Ortigoza, da Silva, Tworowski, e Chamorro, 2021).

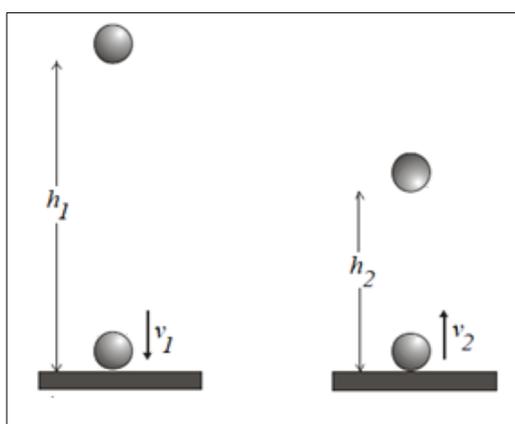
Na literatura encontramos alguns trabalhos (Cavalcante, 2002; Haron e Ismail, 2012; Arnold, 2018; Montoli e Neto, 2020) que utilizam técnicas de coleta de dados baseadas em recursos tecnológicos alternativos. O trabalho de Arnold, Godeny, Costa, Viana e Ximenes (2018) utiliza um circuito elétrico que, durante o contato da colisão, envia um sinal a um osciloscópio, que o exibe graficamente. Entretanto essa técnica requer a utilização de um dispositivo que dificilmente está disponível em uma escola comum, o osciloscópio. No artigo de Montoli e Neto (2020) a metodologia de coleta de dados se baseia em uma análise de vídeo, similar ao trabalho de Haron e Ismail (2012). Nesse trabalho os autores (Montoli e Neto, 2020) utilizam um aplicativo para registrar as posições da bola durante seu movimento, posteriormente determinam as alturas relativas aos picos e o coeficiente de restituição. Entretanto, nessa técnica, a taxa de aquisição de dados é de 0,033 s, uma taxa que, conforme veremos adiante, é cerca de 3,3 vezes maior do que a apresentada em nosso protótipo.

Já o trabalho de Cavalcante, Silva e Prado (2002) descreve uma metodologia baseada em um sensor de som, o qual funciona com um microfone acoplado a um computador. No instante da queda o microfone registra o som da colisão, esse sinal é enviado ao computador e os dados são tratados posteriormente. Esse é o trabalho que mais se assemelha ao nosso, porém com a diferença entre o tipo de grandeza física medida durante o impacto e a forma com que os dados são apresentados.

Os alunos puderam observar o experimento e acompanhar em tempo real a aquisição de dados, mesmo que de forma remota, e interagiram com os dados determinando o coeficiente de restituição de forma investigativa. Essa abordagem investigativa pode ser uma grande propulsora da aprendizagem, de acordo com Azevedo (2009).

## II. O COEFICIENTE DE RESTITUIÇÃO

O coeficiente de restituição ( $\varepsilon$ ) é uma grandeza adimensional que nos fornece um parâmetro sobre o quanto da energia mecânica foi dissipada em uma colisão. Imaginemos uma bola, de massa  $m$ , abandonada a partir do repouso de uma altura  $h_1$  em relação à uma superfície plana. Sabemos, a partir da nossa experiência cotidiana, que após a colisão a bola irá alcançar uma altura  $h_2$ , a situação é ilustrada na Figura 1:



**Figura 1.** À esquerda a bola é abandonada da altura  $h_1$ , ao colidir, volta até uma outra altura,  $h_2$ .

Durante a colisão houve então uma perda de energia cinética ( $\Delta E$ ). Considerando-se  $v_1$  como a velocidade imediatamente antes do impacto e  $v_2$  como a velocidade imediatamente após o impacto, podemos escrever essa perda de energia, em termos da energia inicial, de acordo com a equação 1:

$$\Delta E = \frac{1}{2}mv_1^2(1 - \varepsilon^2) \text{ em que; } \varepsilon = \frac{v_2}{v_1} \quad (1)$$

Em que  $\varepsilon$ , representando a razão entre os módulos das velocidades imediatamente após e antes do impacto, é chamado de coeficiente de restituição. As colisões mencionadas na seção anterior, perfeitamente elásticas e perfeitamente inelásticas, apresentam valores de  $\varepsilon = 1$  e  $\varepsilon = 0$ , respectivamente. No entanto a colisão estudada nesse trabalho é parcialmente inelástica, apresentando então um coeficiente de restituição entre 0 e 1. Por fim existe a classificação para a qual  $\varepsilon > 1$ , chamada de colisão superelástica de acordo com Filho (2017).

Podemos também colocar o valor do coeficiente de restituição em termos das alturas,  $h_1$  e  $h_2$ . Assumindo que podemos utilizar o teorema da conservação da energia nos momentos entre as colisões, poderemos escrever as velocidades  $v_1$  e  $v_2$  em função das alturas e, fazendo-se a razão entre elas, obtemos a equação 2:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \quad (2)$$

Sendo assim podemos utilizar uma abordagem de coleta de dados que envolve descobrir as alturas antes e após sucessivas colisões. De forma análoga também podemos colocar o coeficiente de restituição em termos do tempo entre as colisões.

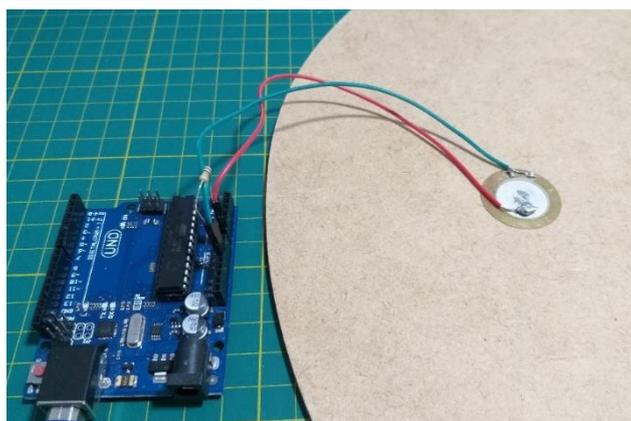
### III. METODOLOGIA

Para a construção do protótipo foram utilizados os seguintes itens:

- Arduino UNO;
- Resistor de  $1M\Omega$ ;
- Transdutor piezoelétrico;
- Fios e fita adesiva.

O transdutor piezoelétrico é um elemento que, ao sofrer uma deformação mecânica, responde gerando uma diferença de potencial elétrico proporcional à deformação causada (Rezende, 2015). Utilizando-se dessa premissa o funcionamento do protótipo foi abandonar uma bola de uma certa altura e, na superfície de madeira onde ocorre o choque, posicionar o transdutor piezoelétrico. Sendo assim, durante a colisão o transdutor registra uma pequena d.d.p. devida à vibração, que pode ser lida pelo Arduino e mostrada em sua interface visual (plotter serial).

A montagem do protótipo foi feita conectando-se dois fios diretamente do transdutor piezoelétrico ao Arduino. O fio da parte central do transdutor, que corresponde ao polo positivo (fio vermelho Fig. 2), foi conectado à entrada analógica A0 do Arduino, ao passo que o fio da parte externa do transdutor, polo negativo (fio verde Fig. 2), foi conectado ao Gnd do Arduino. O sistema todo montado é mostrado na Figura 2:



**Figura 2.** À direita a placa Arduino e à esquerda o transdutor piezoelétrico sobre a superfície de madeira.

Ainda na Figura 2 também podemos ver (à esquerda) o resistor de  $1M\Omega$ , que foi colocado em paralelo diretamente entre os pinos A0 e Gnd. Esse resistor possui uma função de filtragem, ele desempenha duas funções básicas: ajuda a reduzir o sinal de ruído, que pode ser produzido por pequenas flutuações no sistema. E também faz com que o pico do sinal convirja rapidamente para zero, na ausência de vibrações externas, o que ajuda a identificar os picos dos sinais e diferenciá-los dos ruídos. Para finalizar a montagem a fita adesiva foi utilizada para manter o transdutor piezoelétrico bem fixado à superfície de madeira.

Após essa montagem basta carregar o programa no ambiente de programação do Arduino (IDE) para que ele possa realizar a leitura dos sinais da porta analógica. O programa utilizado é mostrado na Figura 3:

```
int pinoSensor= A0;
int valorSensor=0;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  valorSensor=analogRead(pinoSensor);
  Serial.println(valorSensor);
  delay(10);
}
```

**Figura 3.** Código do programa para leitura dos dados

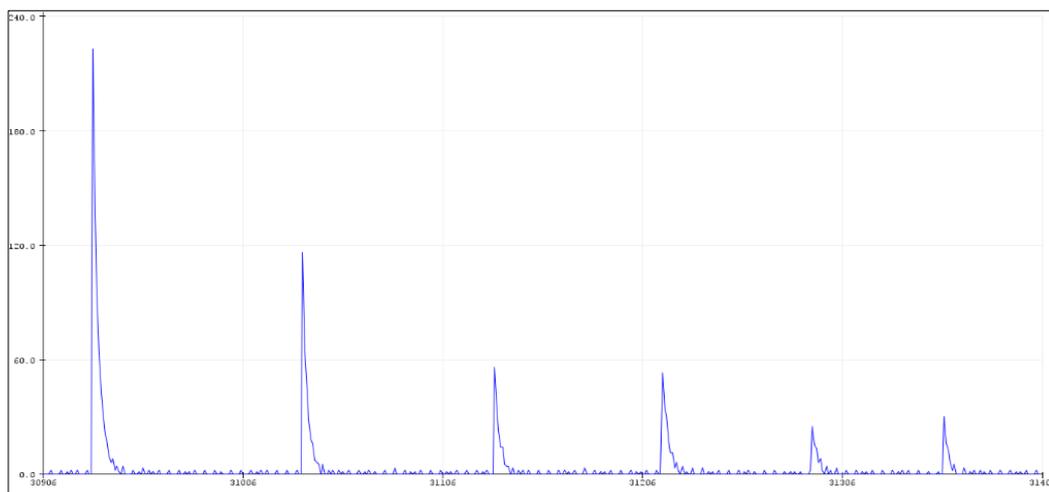
Após carregado o programa, ao abrir a opção “*plotter serial*” o Arduino começará a mostrar graficamente os sinais lidos na porta analógica A0, que correspondem aos sinais gerados por vibrações mecânicas na superfície de madeira.

O procedimento metodológico é abandonar a bolinha de madeira de uma altura inicial  $h_0$  e, conforme ela colida com a superfície de madeira os pulsos vão sendo registrados pelo Arduino, para posterior tratamento dos dados e análise dos resultados. Os valores de  $h_0$  foram sempre os mesmos, para evitar as pequenas distorções no valor de  $\varepsilon$  que podem ser causadas por velocidades de impacto muito diferentes (Gilardi e Sharf, 2002).

#### IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DE APRENDIZAGEM

Durante a aula o professor ligou sua câmera, explicou aos alunos o funcionamento do aparato bem como seu princípio de funcionamento. Antes de mostrar os resultados dos testes é importante ressaltar que, durante a explicação do princípio de funcionamento do protótipo, os alunos demonstraram muito interesse e fizeram várias perguntas sobre o circuito em si. O professor aproveitou a ocasião para revisar alguns tópicos sobre circuitos elétricos, dada a curiosidade dos alunos. Esse comportamento concorda com experiências relatadas na literatura, como em Fager et. al. (2021) que mostram que os alunos possuem uma tendência a se engajarem mais nas atividades quando essas são experimentais.

Inicialmente foram realizados alguns testes para mostrar aos alunos o tipo de informação que se obterá a partir da prática. Ao abandonar a bolinha de uma altura de  $(1,50 \pm 0,005)$  m foi monitorado o sinal obtido, resultando no que é mostrado na Figura 4:



**Figura 4:** Exemplo de sinal obtido em sucessivas colisões, mostrado pelo Arduino.

O professor questionou os alunos sobre como eles poderiam utilizar essa informação (que também era visível para eles em tempo real) para a determinação do coeficiente de restituição. Da discussão surgiram duas formas válidas de cálculo, uma delas sugerida por uma aluna aqui identificada apenas como A1:

A1: Se a gente sabe quanto tempo a bolinha demorou para subir e descer, então dá para calcular as velocidades e dividir uma pela outra.

Embora a aluna A1 não tenha especificado a quais velocidades estava se referindo, quando foi pedido que ela realizasse o cálculo ela determinou corretamente que a relação era obtida fazendo-se a velocidade após a colisão, dividida pela velocidade antes da colisão.

A partir da fala da Aluna A1, podemos perceber que houve indícios de aprendizagem significativa. A aprendizagem significativa ocorre quando um conhecimento é incorporado de maneira não arbitrária na estrutura cognitiva do indivíduo (Moreira, 2017). A fala da aluna A1 descreve a linha de raciocínio utilizada para a determinação do valor do coeficiente de restituição, e está de acordo com o esperado como resultado de aprendizagem.

Uma outra forma válida de determinar o coeficiente de restituição foi sugerida por um aluno, A2, ao dizer que:

A2: [...] dividindo o tempo entre uma colisão e outra também dá certo [...] pegando a próxima pela anterior.

Essa forma também é válida. Se colocarmos as alturas da Equação 2 em termos dos tempos de queda teremos:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{gt_2^2}{2}} = \frac{t_2}{t_1} \quad (3)$$

A fala do aluno A2 mostra uma característica fundamental do ensino por investigação, que é a liberdade para o pensamento durante a resolução de um problema (Carvalho, 2016). Ao não apresentar um algoritmo único para a resolução do problema, o professor estimulou que os próprios alunos desenvolvessem suas estratégias.

Pensando sob a perspectiva da aprendizagem significativa, podemos também avaliar que a estratégia criada pelo aluno A2 indica que houve, além da diferenciação progressiva, a reconciliação integradora. Ou seja, o novo conhecimento construído pelo aluno passou por uma transformação se adaptando sob uma forma diferente, e também correta, em sua estrutura cognitiva (Moreira, 2017).

Durante esse momento outros alunos também verbalizaram ideias similares a da aluna A1, mesmo ela já tendo expondo seu raciocínio. Percebeu-se um grande interesse na participação da aula, por parte dos alunos. Em posse da tabela de dados os alunos foram orientados a determinar o valor de  $\varepsilon$  através da forma que preferissem. Essa escolha se deu para que a atividade se tornasse mais atrativa e para que, após o processo, os dados pudessem ser comparados com o obtido anteriormente pelo professor.

Os resultados obtidos pelos alunos foram muito satisfatórios, os resultados obtidos pelo aluno A2, por exemplo foram de acordo com o resultado esperado. O programa mostrado na Figura 3 possui, em sua última linha de comando, a função "delay". Essa função comanda que o Arduino aguarde um intervalo de 10 ms até que uma nova medição seja realizada, portanto sabemos que o intervalo de tempo entre cada medição é de 10 ms.

O aluno A2 contou quantas medidas foram realizadas entre dois picos consecutivos (Figura 4) e multiplicou por 0,01. Com isso ele obteve uma tabela com valores de intervalo de tempo entre cada uma das colisões (Tabela 1).

**Tabela 1.** Dados do aluno A2, intervalos de tempo entre colisões.

Colisões	$\Delta t_1$	$\Delta t_2$	$\Delta t_3$	$\Delta t_4$	$\Delta t_5$	$\Delta t_6$
Intervalo em segundos	(1,07 ± 0,01)	(0,98 ± 0,01)	(0,86 ± 0,01)	(0,78 ± 0,01)	(0,71 ± 0,01)	(0,64 ± 0,01)

Com os dados apresentados na tabela 1, o aluno A2 encontrou um coeficiente de restituição de (0,90 ± 0,06). Resultados similares foram encontrados pelos demais alunos, mostrando que mesmo com abordagens ligeiramente diferentes os resultados foram consistentes.

Os alunos também foram questionados a respeito da forma como os picos das colisões tendem a serem menores a cada interação, como exemplificado na Figura 4. De imediato os alunos foram capazes de relacionar a propriedade do transdutor piezoelétrico, cuja intensidade da d.d.p gerada depende diretamente da energia da colisão.

Essa discussão apresentou cunho investigativo, pois o professor apenas mediou o diálogo dos alunos enquanto tentavam deduzir a resposta para o problema (Carvalho, 2016). E essa discussão só foi possível graças ao recurso utilizado para a coleta de dados, que também evidencia a proporcionalidade entre a energia do impacto com a intensidade do sinal. Demais trabalhos encontrados na literatura (Cavalcante, 2002; Arnold, 2018; Montoli e Neto, 2020) utilizam técnicas diferentes para coleta de dados, e nenhuma evidencia essa relação.

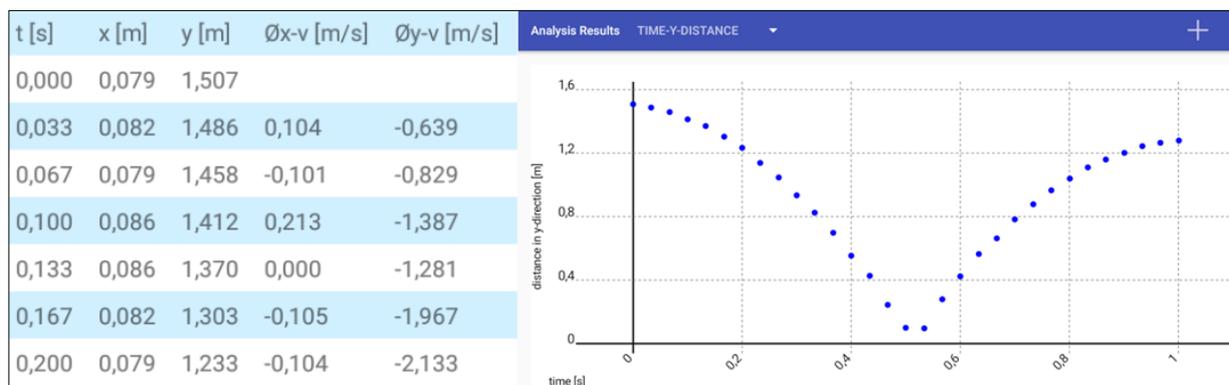
Sobre esse aspecto do experimento podemos destacar a fala do aluno A3:

A3: [...] a cada colisão a energia cinética é menor, por isso os picos diminuem de tamanho.

Novamente temos que a fala do aluno A3 pode ser analisada sob a ótica da aprendizagem significativa. É interessante percebermos que o aluno conseguiu relacionar a grandeza energia cinética, que é apresentada inclusive na eq. 1 durante a demonstração do coeficiente de restituição, com a intensidade do sinal gerado no sensor. Essa relação não é arbitrária, ela faz completo sentido do ponto de vista físico e o aluno estabeleceu a relação entre as duas coisas por conta própria, evidenciando mais uma vez a reconciliação integradora (Moreira, 2017).

No sentido de reforçar a aprendizagem, para comparação dos dados experimentais, foi utilizado também o método de vídeo, similar ao empregado no artigo de Montoli e Neto (2020). Esse método consiste em “rastrear”, por meio de aplicativo de vídeo, a trajetória da bola entre as colisões. Em nosso caso foi utilizado o aplicativo “VidAnalysis”, nesse aplicativo o usuário pode filmar a trajetória de uma partícula e, após inserir alguns parâmetros pedidos pelo aplicativo, são geradas informações de posição e velocidade com o passar do tempo.

O intervalo de coleta de dados é de 0,033 s, cerca de três vezes maior que o utilizado em nosso protótipo. Entretanto a facilidade no uso permite uma coleta rápida e relativamente confiável. O aplicativo apresenta os dados em forma gráfica ou em tabelas, de acordo com a necessidade do usuário, um exemplo de dados coletados é mostrado na Figura 5:



**Figura 5.** À esquerda dados mostrados em tabelas e à direita a altura em função do tempo mostrada graficamente.

O gráfico mostrado à direita na Figura 5 corresponde aos valores de altura de queda, que também são mostrados à esquerda na terceira coluna (da direita para esquerda). Para o cálculo do coeficiente de restituição utilizamos os dados de altura inicial e final em cada colisão diretamente na equação 2. Para a medida que é mostrada na Figura 5, por exemplo, o valor de  $h_1 = 1,51 \text{ m}$  e  $h_2 = 1,28 \text{ m}$ , que resulta em  $\varepsilon = 0,92$ . Perceba que não foi incluído o erro dessas medidas, isso ocorre pois, além do erro intrínseco da leitura, o aplicativo apresenta outra fonte de erro pois, durante a coleta de dados é o próprio usuário que clica indicando a posição do objeto a cada frame. Com a velocidade atingindo valores maiores a imagem se torna borrada, dificultando um pouco a precisão quanto à posição do objeto naquele instante.

Por fim, ao mostrar esse método comparativo de coleta de dados, foi realizada uma discussão com os alunos sobre as vantagens e desvantagens de cada método. Foi destacado pelos alunos que a facilidade de se obter dados através do celular pode ajudar em situações em que não possuímos outros recursos:

*A4: [...] na escola dá pra usar isso fácil, já que nem sempre temos laboratórios, mas os alunos quase sempre têm um celular.*

Também foi mencionado o fato de que a precisão do aparato de baixo custo é bem melhor em relação ao método de vídeo, além de permitir uma visualização da correlação entre a energia da colisão e intensidade do sinal.

Outro ponto positivo destacado pelos próprios alunos foi a praticidade de que os dados podem ser transportados diretamente para programas de tratamento de dados, como Excel, por exemplo. Ao passo que a tabela gerada pelo aplicativo possui formato de imagem e, para uma coleta de dados com centenas ou dezenas de centenas de dados, se torna inviável o tratamento adequado dos dados. Pode-se destacar que a liberdade cedida aos alunos para manifestarem seus argumentos mostrou-se uma estratégia proveitosa. Assim como observado na literatura (Sasseron, 2009) a argumentação ajuda a desencadear o raciocínio e acomodar os conceitos, bem como potencializa a negociação de significados sobre um tema.

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do protótipo proporcionou dados experimentais de boa precisão, para propósitos didáticos. A intenção inicial de que o protótipo também apresentasse baixo custo também se mostrou viável. Observou-se também que, os dados experimentais quando mostrados em tempo real aos alunos se tornam mais atrativos, e também proporcionam uma interatividade melhor em relação à uma aula em que os dados são apenas mostrados de forma estática numa tabela.

Outra vantagem didática do protótipo foi a possibilidade de relacionar visualmente a relação entre a energia cinética de cada colisão com a intensidade do sinal. Isso foi possível graças às propriedades do transdutor piezoelétrico que, além de converter a vibração mecânica gerada pela colisão em uma diferença de potencial, também mostra um sinal proporcional à intensidade da vibração. Essa propriedade permitiu uma discussão investigativa sobre a intensidade do sinal e energia, discussão essa que pode ser incorporada e sistematizada em uma nova utilização do protótipo, ou em trabalhos futuros.

No que diz respeito ao aprendizado constatou-se, por meio das atividades realizadas pelos alunos, bem como por suas falas durante e após a aula, que o conceito de coeficiente de restituição foi bem compreendido. Tanto no âmbito conceitual, quanto matemático. Outro aspecto interessante sobre o desenvolvimento da atividade é que, com os dados apresentados de maneira pura, os alunos puderam pensar sobre a forma de utilizá-los, de acordo com equações em termos de parâmetros distintos. Essa flexibilidade gerou uma atitude investigativa por parte dos alunos, no sentido de que eles sentiram a curiosidade (explicitada nas falas dos alunos) se os resultados obtidos seriam ou não similares, e ficaram motivados a descobrir.

Outra discussão significativa foi gerada quando os alunos foram questionados sobre os pontos positivos e negativos dos métodos utilizados para coleta de dados, pelo protótipo e pelo aplicativo *VidAnalysis*. Esse questionamento levantou um diálogo muito proveitoso sobre fontes de erros de um experimento, conduzido quase que exclusivamente pela argumentação dos próprios alunos.

Por fim, um protótipo que visava facilitar a visualização de dados em tempo real numa atividade remota, se mostrou também uma excelente ferramenta experimental e geradora de aprendizagem por meio de uma postura investigativa.

## REFERÊNCIAS

- Azevedo, M. C. (2009). Ensino por investigação: Problematizando as atividades em sala de aula. In, A. M. Carvalho (org.), *Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática* (pp. 19-33). São Paulo: Cengage Learning.
- Arnold, F. J., Godeny, A. G., Costa, M. M., Viana, J. F., Ximenes, R. L. (2018). Proposta experimental do estudo de colisões entre bolas de borracha e superfície plana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(2), e2502.
- Carvalho, A. M. P. (2016). O Ensino de Ciências e a proposição de Sequências de Ensino Investigativas. In: A. M. P. Carvalho, *Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula* (pp. 01-20). São Paulo: Cengage Learning.
- Cavalcante, M. A., Silva, E., Prado, R. (2002). O estudo de colisões através do som. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(2), 150-157.
- Fager, M. N. B. et. al., (2021). Objeto de aprendizaje para la enseñanza del electromagnetismo. *Revista de enseñanza de la física*, 33(extra), 45-53.
- Filho, D. P. M., Kamassury, J. K. S., Meira, R. C. S. (2017). Uma discussão sobre o coeficiente de restituição. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(4), e4302.
- Gilardi, G., Sharf, I. (2002). Literature survey of contact dynamics modelling. *Mechanism and Machine Theory*, 37, 1213-1239.
- Haron, A., Ismail, K. A. (2012) Coefficient of restitution of sports balls: A normal drop test. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 36, 012038.
- Montoli, G. A., Neto, J. S. C., (2020). Estudo de Colisões Inelásticas por meio da Videoanálise. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(2), 865-878.

Moreira, M. A. (2017). *Teorias de aprendizagem*. 2. ed. São Paulo: E. P. U.

Rezende, S. M. (2015). *Materiais e Dispositivos eletrônicos*. 4ª ed. São Paulo: Livraria da Física.

Sasseron, L. H. (2009). CTSA no Ensino Fundamental e a argumentação entre alunos e professora. *Enseñanza de las Ciencias*, V. extra, 28-32.

Wurm, G. E. Ortigoza, L. F., da Silva, R. S., Tworowski, S. P., Chamorro, C. (2021) Banco de termometría controlado por Arduino. El problema de su calibración como experiencia para trabajar el “mito” del punto de ebullición. *Revista de enseñanza de la física*, 33(extra), 655-663.