

ESTUDO EXPERIMENTAL DA DINÂMICA DO MOVIMENTO E APLICAÇÃO DO SOFTWARE LIVRE DE VÍDEO-ANÁLISE TRACKER

Gabriel da Cruz Dias¹

José Cândido de Souza Filho²

Everton Rodrigo Avancini³

Cleiton Feitosa do Nascimento⁴

DIAS, G. da C.; SOUZA FILHO, J. C. de; AVANCINI, E. R.; NASCIMENTO, C. F. do. Estudo experimental da dinâmica do movimento e aplicação do software livre de vídeo-análise tracker. **EDUCERE** - Revista da Educação, Umuarama, v. 21, n. 1, p. 1-23, jan./jun. 2021.

RESUMO: As experimentações e demonstrações, por meio das representações digitais e simulações computacionais têm se tornado um recurso atrativo no ensino de física e as demais ciências naturais, principalmente nos últimos anos, de qualquer forma que ela ocorra é uma grande ferramenta para isso. Porém, nos deparamos com outra realidade: a falta de recursos e equipamentos para a realização de experimentos de qualidade precisos e principalmente com valores acessíveis. Neste trabalho foi construído um aparato experimental a baixo custo, uma mesa de ar, seguida de coleta, visando o estudo da dinâmica do movimento uni e bidimensional, tratamento e análise dos dados experimentais a partir da filmagem e uso do software livre de vídeo-análise denominado *Tracker*. Os resultados obtidos concordam com os princípios teóricos sobre colisões apresentados na literatura, demonstrando assim, as potencialidades, tanto do aparato experimental adquirido, quanto sua utilização em conjunto do software, para o ensino de física, potencializando o mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Baixo Custo; Mesa de Ar; Tracker; Vídeo Análise.

DOI: [10.25110/educere.v21i1.2021.7914](https://doi.org/10.25110/educere.v21i1.2021.7914)

¹ Universidade Estadual de Maringá-Campus Regional de Goioerê. gabriel.fct@gmail.com / <https://orcid.org/0000-0002-1475-1097>.

² Universidade Estadual de Maringá-Campus Regional de Goioerê. souza-jc@uol.com.br

³ Universidade Estadual de Maringá-Campus Regional de Goioerê. evertonavancini@hotmail.com

⁴ Universidade Estadual de Maringá-Campus Regional de Goioerê. feitocleiton@yahoo.com.br

EXPERIMENTAL STUDY ON THE DYNAMICS OF MOVEMENT AND APPLICATION OF THE FREE VIDEO-ANALYSIS TRACKER SOFTWARE

ABSTRACT: Experiments and demonstrations through digital representations and computer simulations have become an attractive resource in the teaching of physics and other natural sciences, especially in recent years. Therefore, a radical change is necessary, and experimentation, in any way it occurs, is a great tool. However, teachers are often faced with another reality: the lack of resources and equipment to carry out quality experiments which are both precise and feasible. In this work, a low-cost experimental apparatus was built through the study of the dynamics of one and two-dimensional movement - an air table. The collection, treatment, and analysis of experimental data was made from filming and the use of the free video analysis software called Tracker. The results obtained corroborate with the theoretical principles about collisions presented in the literature, thus demonstrating the potentialities, both of the experimental apparatus and of the software, for the teaching of physics.

KEYWORDS: Low cost; Air Table; Tracker; Video Analysis.

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE DINÁMICA DEL MOVIMIENTO Y APLICACIÓN DEL SOFTWARE GRATUITO DE VIDEO - ANÁLISIS TRACKER

RESUMEN: Los experimentos y demostraciones, a través de representaciones digitales y simulaciones por computadora, se han convertido en un recurso atractivo en la enseñanza de la física y otras ciencias naturales, especialmente en los últimos años, es una gran herramienta. Sin embargo, nos enfrentamos a otra realidad: la falta de recursos y equipos para llevar a cabo experimentos de calidad, precisos y principalmente con valores accesibles. En esta investigación se construyó un aparato experimental a bajo costo a través del estudio de la dinámica del movimiento uni y bidimensional, una mesa de aire, seguido de la recolección, tratamiento y análisis de datos experimentales a partir de filmación y uso del software gratuito de análisis de video llamado Rastreador. Los resultados obtenidos corroboran con los principios teóricos sobre colisiones presentados en la literatura, lo que demuestra

las potencialidades, tanto del aparato experimental como del software, para la enseñanza de la física.

PALABRAS CLAVE: Bajo Costo; Mesa de Aire; Tracker; Análisis de Video.

INTRODUÇÃO

As experimentações, demonstrações, e atualmente as simulações computacionais se apresentam como recursos no ensino de física e as demais ciências naturais, capazes de despertarem a curiosidade para novas descobertas (RODRIGUES, 2009). A física evolui com o passar do tempo, e, em geral, os resultados de experimentos motivam a busca de novas teorias para explicar os fenômenos observados. Dessa forma pode-se afirmar que a inserção dessas tecnologias está cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas, o que muitas vezes acaba passando despercebido. À vista disso acreditamos que pensar em um ensino voltado para o cotidiano do estudante é importante, pois com isso objetiva-se que ele possa entender o mundo que o cerca e compreender notícias em jornais, revistas e outros.

Nesse sentido, as leis da natureza são formalizadas, e as teorias unificadas. Esse processo é longo, e fruto de muito esforço e dedicação de vários cientistas ao longo da história.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), o ensino médio deve envolver de forma combinada o desenvolvimento de conhecimentos práticos e contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo (BRASIL, 2000). Salvas exceções, os resultados atuais do PISA não sugerem quem em âmbito nacional isso venha ocorrendo (BERMÚDEZ, 2019). Evidentemente, mesmo que importante detalhes e reflexões atuais da BNCC fogem do escopo deste trabalho.

Temos em mente uma grande preocupação no ensino de física, que o estudante se identifique com o objeto de estudo. Se isso ocorrer, a chance de que o aluno aprenda a gostar da disciplina é maior. Claro que somente isso não basta, é necessário também salientar a importância de um profissional bem qualificado, o modo com o qual ele ensina e qual a melhor forma de atuar para que o aluno entenda a real importância de tal aprendizagem.

Esses são fatores fundamentais para que o professor possa ser um educador qualificado. Segundo Freire (1996), o bom professor é aquele que consegue, mesmo durante sua fala, trazer o aluno até a intimidade do movimento de seu pensamento (FREIRE, 1996, p. 96). Para Medeiros (2005) o fato de um bom professor ajudar os alunos a encontrarem o sentido da educação, e conseqüentemente seu lugar no mundo, superando suas dificuldades e descobrindo seus valores, é uma nobre missão.

O professor deve ter alguns objetivos primordiais, ou seja, assegurar aos alunos o domínio mais seguro e duradouro possível dos conhecimentos científicos, criar condições e os meios para que os alunos desenvolvam capacidades, habilidades intelectuais, de modo que dominem métodos de estudo e de trabalho intelectual visando a sua autonomia no processo de aprendizagem, independência de pensamento e orientar as tarefas de ensino para objetivos que guiem suas opções diante dos problemas e situações do cotidiano (LIBÂNEO, 1994, p. 71).

Diante de um ensino conteudista, poucos são os alunos que efetivamente vêm sentido no estudo da física, ou percebem a necessidade de seu entendimento para diversos avanços tecnológicos de nossa sociedade. Entendemos que é necessário ter conhecimentos mínimos dos conceitos físicos envolvidos no dia a dia (GIL-PÉREZ *et al.*, 1999).

Mesmo latente ainda em nossas escolas, a concepção mecanicista, citada anteriormente, há a perspectiva orgânica, em que o foco é desviado para a necessidade de o aluno desenvolver sua maneira de trabalhar e adquirir conhecimento. (GASPAR, 2003). Todavia, as aulas de física experimental têm sido melhoradas através do uso de computadores, internet e de softwares que auxiliam o processo de ensino-aprendizagem, através de simulações ou da obtenção de dados experimentais (ARTUSO, 2006; ROCHA, GUADAGNINI, 2010; BARROQUEIRO; AMARAL 2011), mesmo assim muito timidamente.

Porém, somente o uso desse tipo de ferramenta não garante a qualidade do ensino. Segundo D'Ambrosio (2003), a tecnologia por si só não garante uma boa educação, mas é pouco provável que se obtenha uma boa educação sem a utilização da tecnologia.

Para Chaves e Shellard, as atividades experimentais no ensino da Física são de suma importância para a formação de cientistas, professores e de cidadãos, pois é através da experimentação que conseguimos entender e estabelecer uma conexão entre os fenômenos observados na experimentação e as leis que regem a Física

Clássica e Contemporânea. (CHAVES, SHELLARD, 2005). Nesse sentido, há uma série de discussões a respeito de como ensinar física experimental e uma delas é o fato de incluir alternativas que envolvam a utilização de material de baixo custo, considerando a realidade educacional brasileira (CAVALCANTE, BONIZZIA, GOMES, 2009).

Dessa forma, este trabalho, oriundo de um trabalho de conclusão de curso, apresenta a construção de um aparato experimental para o estudo da dinâmica do movimento bidimensional, mais especificamente momento linear, ou quantidade de movimento. A análise e coleta de dados, a fim de verificar a eficácia do experimento se deram fpor meio de filmagens, bem como a verificação da eficácia do uso do software livre de vídeo-análise Tracker.

Colisões e a vídeo-análise dos movimentos dos corpos

No estudo das colisões, em física, considera-se a terceira lei de Newton, pois quando dois corpos se chocam, a força que um exerce no outro é a mesma que ele recebe, quanto à intensidade, mas em sentido oposto. Nesse processo, ocorre a transferência de momento linear de um corpo para outro. A variação do momento de um dos corpos, para menos, é igual em módulo à variação do momento do outro, para mais, conforme a lei da conservação do momento linear (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2008).

Há três tipos de colisões: colisão inelástica, colisão elástica, e colisão parcialmente elástica. Nas colisões inelásticas, há a união dos corpos após o choque, ocorrendo dissipação total ou parcial da energia cinética do sistema, por meio de deformação e aumento de energia interna. Em colisões elásticas, há a conservação da energia cinética total do sistema (a energia absorvida por deformação é restituída ao sistema e o aumento da energia interna é desprezível). E em uma colisão parcialmente elástica, a energia absorvida pela deformação não é restituída em sua totalidade, e, como consequência, as velocidades relativas entre os corpos, após colidirem, não serão as mesmas que antes do choque (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2008).

No estudo experimental das colisões, medem-se as velocidades dos corpos antes e depois do choque. Tradicionalmente, essas medidas são feitas por meio de sensores ópticos que indicam as posições dos corpos e os intervalos de tempos de deslocamento entre uma posição e outra. Alguns aparatos mais antigos utilizam

faiscadores ou luzes estroboscópicas que registram as trajetórias dos corpos antes e depois das colisões, permitindo os cálculos das velocidades. Todos esses sistemas têm custo elevado e muitas vezes são de difícil aquisição por escolas públicas.

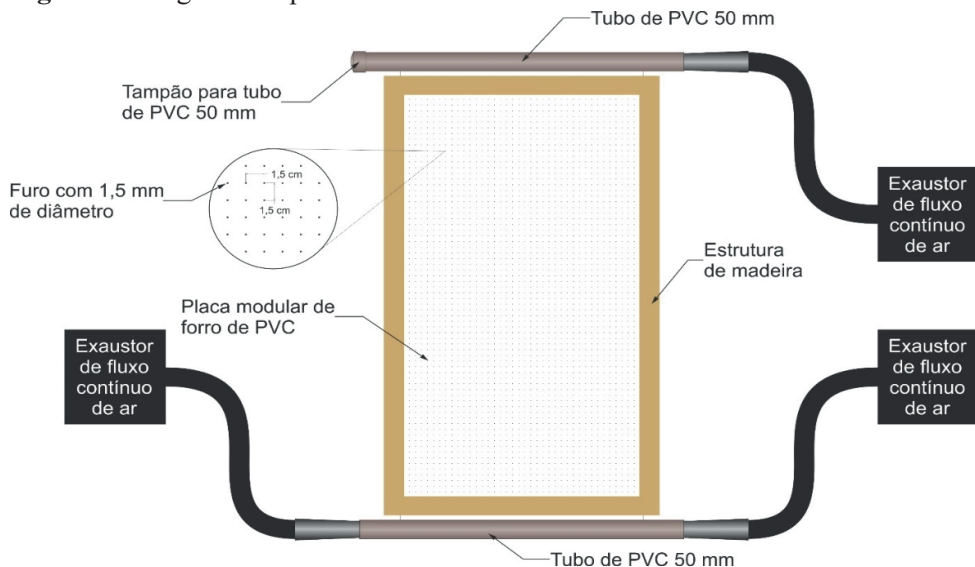
Atualmente há disponíveis muitos softwares livres para as mais diversas aplicações no ensino e na pesquisa. Em particular, há o software “Tracker”, muito utilizado no estudo da cinemática, por meio da vídeo-análise.

O “Tracker” é uma ferramenta computacional robusta, com muitos recursos para obtenção de dados de vídeos de objetos em movimento. Com esse software consegue-se traçar a trajetória do objeto em estudo, e, por consequência, adquirir as posições sucessivas e velocidades ao longo do tempo.

Para movimentos de baixas velocidades, os vídeos podem ser feitos com uma câmera padrão (30 quadros por segundo) de um celular simples. Aparelho esse que, hoje em dia, muitos estudantes e professores possuem. Uma vez feito o vídeo, esse pode ser inserido no programa para a vídeo-análise. Detalhes da montagem, bem como a interface do software, suas imagens e sua coleta de dados são apresentados a seguir.

Produção e Montagem Experimental

Para a construção do aparato experimental, foi utilizada uma placa de PVC modular para forro, com dimensões de 120 x 62 x 1,2 cm, estrutura de madeira, cano de PVC de cinquenta milímetros de diâmetro, selante para cano PVC e exaustores para formar um fluxo contínuo de ar, dispostos como mostra o diagrama esquemático na Figura 1.

Figura 1: Diagrama esquemático da mesa de ar.

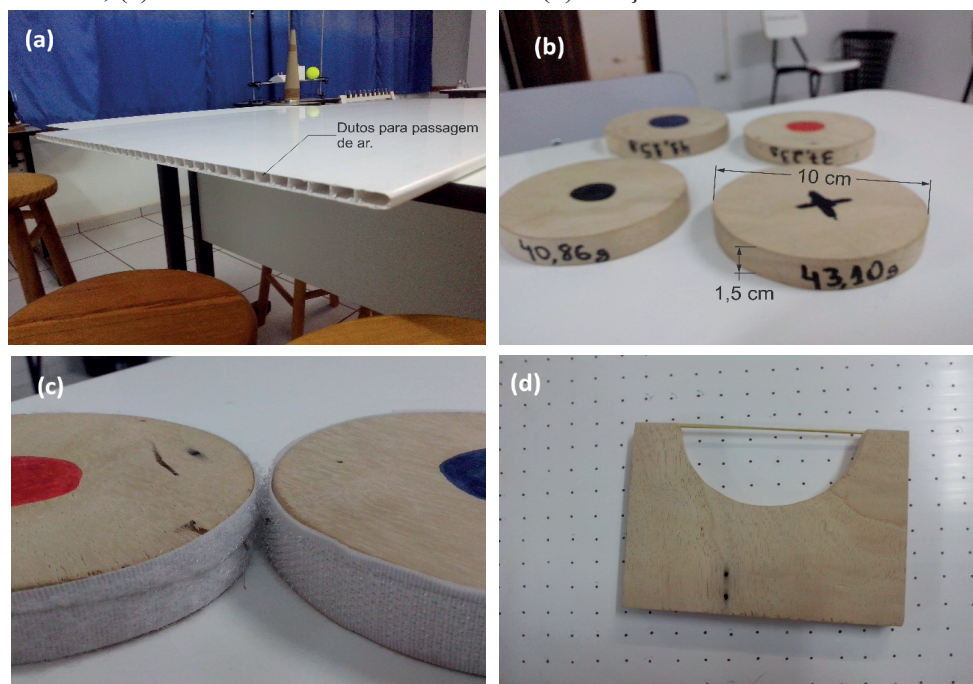
Fonte: Elaboração dos Autores

A montagem foi relativamente simples. Foram identificados os espaços da placa de PVC onde formariam dutos para a passagem do ar, como indicam as figuras 2. Em seguida foi medida a distância entre os centros dos dutos, e foi considerada distância de 1,5 cm, no sentido perpendicular da placa (Figura 2a). Com uma furadeira e uma broca de 1,5 mm de diâmetro, foram feitos furos para a passagem do ar.

Quatro discos de madeira, com 10 cm de diâmetro, de baixa densidade (leve), calculado em aproximadamente 365 kg/m^3 , foram fabricados para servirem como corpos nas colisões (Figura 2b). A madeira utilizada é suficientemente leve para ser sustentada pelo ar que flui pelos furos da mesa, reduzindo drasticamente o atrito, como esperado. Dois dos discos receberam a aplicação de velcro em sua borda, para o estudo de colisão inelástica como mostrado na Figura 2c.

Foram confeccionados também dois lançadores, consistindo em retângulos de madeira com recortes para os encaixes dos discos e elásticos para imprimirem velocidades iniciais aos objetos, ilustrados na Figura 2d.

Figura 2: (a) Detalhe da identificação dos dutos para o fluxo de ar (b) Discos de madeira, (c) Discos de madeira com velcro e (d) Lançador.



Para fixar a câmera, utilizou-se uma estrutura de aço, já existente no laboratório de física, com altura suficiente para deixar a câmera em um ponto que permitisse a filmagem de toda a área da mesa, tomando o cuidado de deixá-la exatamente sobre seu centro e perpendicular à superfície da mesa, evitando distorções na imagem capturada pela câmera devido à paralaxe. Vale lembrar que a Paralaxe pode ser entendida como: o (1) deslocamento aparente de um objeto quando se muda o ponto de observação. Ou (2) durante uma medida, o desvio aparente da agulha de um instrumento de medida, quando não observada de uma direção vertical a ela.

Análise Coleta de Dados

Com a câmera acionada, iniciou-se a captura das imagens dos movimentos.

A princípio, foi lançado apenas um disco, com o intuito de verificar a velocidade desse e a sua quantidade de movimento. Em seguida, foram utilizados dois discos, onde um deles ficou em repouso em um ponto da mesa e o outro foi lançado em direção a este para o estudo de colisão elástica.

Em outra condição de colisão elástica, foram utilizados os mesmos discos, porém utilizando dois lançadores para variar o momento linear nos dois discos. O procedimento foi realizado lançando os discos na mesma direção, porém em sentidos opostos.

Para colisões inelásticas, utilizaram-se os discos que possuem velcro em sua borda, salientando que o velcro possui duas partes e, que cada uma dessas partes foi fixada em um disco para que ficassem unidos após a colisão. Primeiramente, de maneira análoga ao que foi feito no estudo de colisão elástica, utilizou-se um disco em repouso em um ponto da mesa e com a ajuda do lançador, outro disco foi colocado em movimento em direção ao que estava em repouso, obtendo-se assim uma colisão inelástica.

Em seguida, utilizou-se o outro lançador para colocar os dois discos em movimento numa mesma direção, porém em sentidos opostos, e devido à utilização do velcro, conseguiu-se também uma colisão inelástica. O velcro foi utilizado para que no momento da colisão, os dois discos não se separassem e com isso, passassem a se mover juntos, se comportando como um disco somente. O quadro 1 apresenta alguns dos botões principais para análise do *Tracker*.

O site do Laboratório Didático de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul traz um tutorial mais detalhado acerca do uso do software no endereço <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html>, acessado em 10 de novembro de 2014. Após a captura das imagens, foi utilizado o *Tracker* para a análise e tratamento dos dados contidos no vídeo, como ilustra a Figura 3.

Quadro 1: Principais botões do *Tracker* e suas respectivas funções.







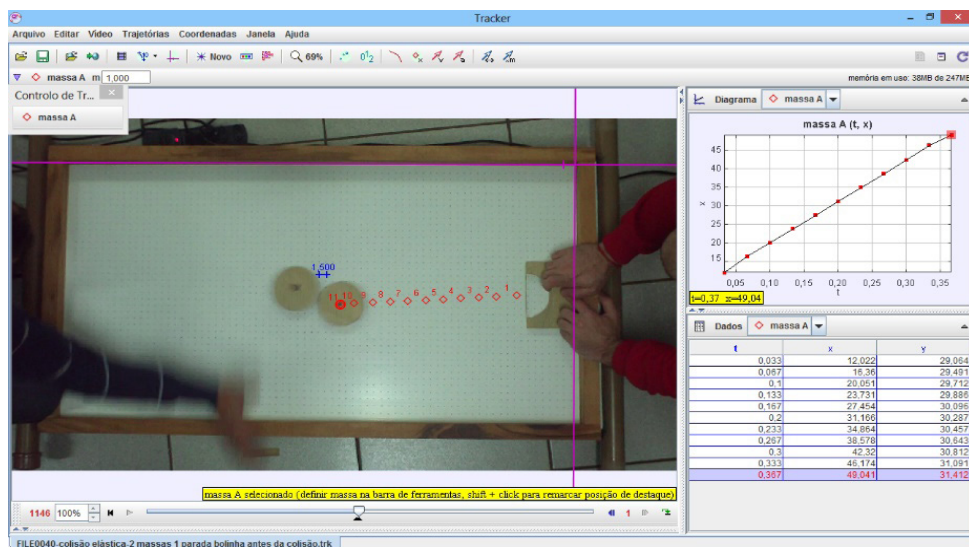
Botão	Função
	Abrir um arquivo ou vídeo ou carregar um arquivo do <i>Tracker</i> .
	Salvar arquivo atual.
	Configurações do vídeo.
	Calibração
	Eixo de coordenadas
 Novo	Cria uma nova trajetória para um centro de massa

Figura 3: Tela inicial do *Tracker* com a análise de um dos vídeos utilizados no estudo.



De maneira simplificada, após abrir um vídeo no programa é necessário a calibração do software para a correta coleta de dados, e para isso basta ajustar a

fitas de calibração para um objeto com dimensões conhecidas, determinar e ajustar o início do sistema de coordenadas, a quantidade de *frames*⁵ da câmera, indicar o número do quadro de início e de fim para o vídeo a ser analisado. Feito isso, marca-se um ponto para o centro de massa do corpo analisado, para cada quadro do vídeo, até completar todos os quadros, podendo ser feito de maneira manual ou automática.

Neste trabalho não seria possível detalhar todos os procedimentos para a operação correta do software por isso serão descritos somente os procedimentos básicos para a análise de vídeos pelo mesmo.

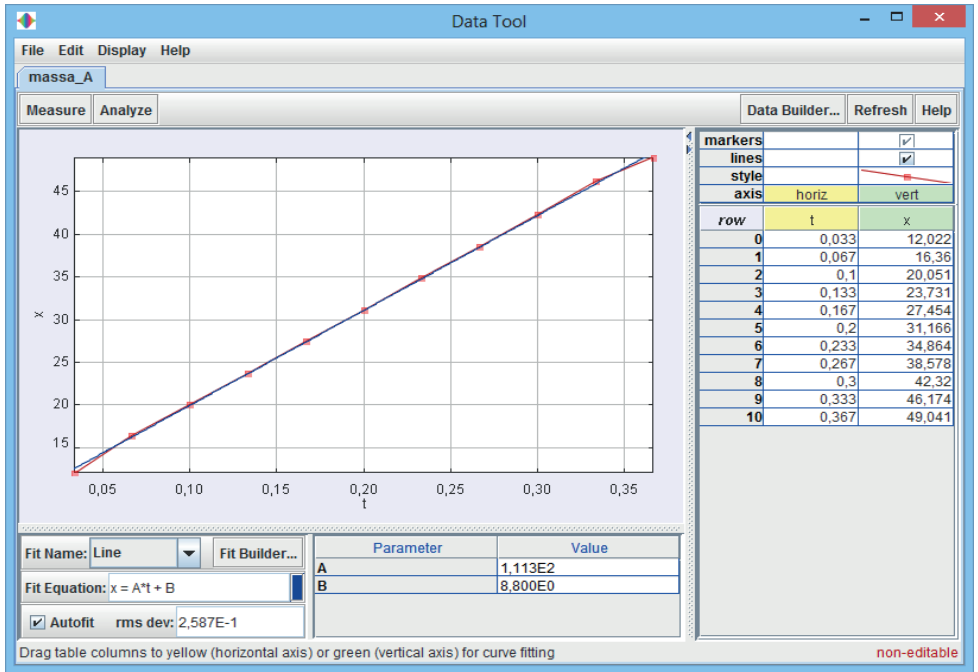
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Automaticamente o *Tracker* gera tabelas com os dados, podendo ser exportadas ou copiadas para outros softwares que fazem o tratamento desses dados. Porém, foi utilizado o próprio software para esse fim, pois o mesmo gera gráficos e faz a análise dos dados. Ao dar um duplo “clique” no gráfico, aparece outra janela destinada à análise dos dados obtidos via software, conforme mostrado na Figura 4.

Nessa análise, por se tratar de um movimento retilíneo e uniforme, após a plotagem do gráfico, utilizamos a ferramenta de ajuste linear que o *Tracker* já disponibiliza. Através dessa ferramenta foi possível identificar o coeficiente angular da reta e conseqüentemente a velocidade média do disco, dado essencial para o estudo da conservação de momento linear em colisões. As unidades das medidas trabalhadas não são apresentadas pelo software e por esse motivo fica a critério do usuário adotar a mais indicada para o caso estudado.

⁵ *Frames* em português quadros ou molduras, é cada um dos quadros ou imagens fixas captadas pela câmera. Neste trabalho foi utilizado uma câmera que captura 30 FPS (*frames* por segundo), ou seja, cada *frame* equivale a 0,033 segundos.

Figura 4: Tela Ferramenta de dados.



Vale lembrar que, corriqueiramente trabalhado em sala de aula, o momento linear (ou quantidade de movimento), total de um sistema de partículas, fechado e isolado, não pode variar após uma colisão elástica ou inelástica, quando não há deformação, como é o caso estudado. A quantidade de movimento total ou momento linear total de um sistema de partículas antes da colisão deve ser o mesmo após a colisão (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2008).

Para determinar a quantidade de movimento linear de cada disco foi utilizada a equação (1).

$$p = m \cdot v \tag{1}$$

Onde p é a quantidade de movimento linear, m é a massa e v é a velocidade do disco. Para verificar se a quantidade de movimento linear do sistema foi

conservada, deve-se obter a somatória vetorial do momento linear de todas as partículas do sistema e verificar se a quantidade de movimento do sistema antes da colisão permanece igual após a colisão. Para isso utiliza-se a equação (2).

$$(\sum m \cdot v)_{antes} = (\sum m \cdot v)_{depois} \quad (2)$$

Para determinar um parâmetro de confiabilidade nos resultados apresentados pelo experimento, considerado como valor aceitável de desvio percentual um valor abaixo de 10% (referência). Os quadros abaixo apresentam os dados e resultados para o caso de colisão elástica, antes e depois da colisão.

Tabela 1: Dados de massa, velocidade e quantidade de movimento linear antes da colisão elástica, um disco em repouso e outro em movimento.

Disco	Massa (Kg)	Velocidade (m/s)	Momento Linear (N.s)
1	$40,91 \times 10^{-3}$	$1,113 \times 10^{-2}$	$45,53 \times 10^{-3}$
2	$43,05 \times 10^{-3}$	0	0
Quantidade de movimento do sistema (N.s)			$45,53 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores.

Tabela 2: Dados de massa, velocidade e quantidade de movimento linear após a colisão elástica, um disco em repouso e outro em movimento.

Disco	Massa (Kg)	Velocidade (m/s)	Momento Linear (N.s)
1	$40,91 \times 10^{-3}$	$18,48 \times 10^{-2}$	$7,56 \times 10^{-3}$
2	$43,05 \times 10^{-3}$	$81,34 \times 10^{-2}$	$35,02 \times 10^{-3}$
Quantidade de movimento do sistema (N.s)			$42,58 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores.

Na primeira situação, onde foi analisada uma colisão elástica, sendo um disco em repouso e o outro se deslocando em sua direção, é possível verificar que a quantidade de movimento linear do sistema antes da colisão foi conservada quase que em sua totalidade após a colisão, obtendo um desvio percentual de apenas 6,4%, o que está dentro dos parâmetros aceitáveis de desvio percentual para as

condições experimentais apresentadas pelo aparato experimental.

Em outra situação, também se tratando de uma colisão elástica, foram utilizados os lançadores para movimentar dois discos, na mesma direção, mas em sentidos opostos, para que houvesse uma colisão, cujos dados relacionados a esta situação são expressos nas tabelas abaixo:

Tabela 3: Dados de massa, velocidade e quantidade de movimento linear antes da colisão elástica, com os dois discos em movimento, na mesma direção e sentidos opostos.

Disco	Massa (Kg)	Velocidade (m/s)	Momento Linear (N.s)
1	$40,91 \times 10^{-3}$	$-76,15 \times 10^{-2}$	$-31,15 \times 10^{-3}$
2	$43,05 \times 10^{-3}$	$105,6 \times 10^{-2}$	$45,46 \times 10^{-3}$
Quantidade de movimento do sistema (N.s)			$14,31 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores.

Tabela 4: Dados de massa, velocidade e quantidade de movimento linear após a colisão elástica, com os dois discos em movimento, na mesma direção e sentidos opostos.

Disco	Massa (Kg)	Velocidade (m/s)	Momento Linear (N.s)
1	$40,91 \times 10^{-3}$	$74,24 \times 10^{-2}$	$30,37 \times 10^{-3}$
2	$43,05 \times 10^{-3}$	$-39,11 \times 10^{-2}$	$-16,84 \times 10^{-3}$
Quantidade de movimento do sistema (N.s)			$13,53 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores.

Como no caso anterior, a quantidade de movimento linear do sistema antes e após a colisão teve um desvio percentual de 5,5%, o que corrobora com o princípio da conservação da quantidade de movimento linear para as condições experimentais apresentadas pelo aparato experimental.

Os quadros a seguir apresentam os dados e resultados obtidos com a colisão inelástica, antes e após a colisão, em duas situações:

Tabela 5: Dados de massa, velocidade e quantidade de movimento linear antes da colisão inelástica, com um disco em repouso e outro em movimento em direção ao primeiro para colisão.

Disco	Massa (Kg)	Velocidade (m/s)	Momento Linear (N.s)
1	$42,76 \times 10^{-3}$	$89,54 \times 10^{-2}$	$39,29 \times 10^{-3}$
2	$43,05 \times 10^{-3}$	0	0
Quantidade de movimento do sistema (N.s)			$39,29 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores.

Tabela 6: Dados de massa, velocidade e quantidade de movimento linear após a colisão inelástica, com um disco em repouso e outro em movimento em direção ao primeiro para colisão.

Disco	Massa m_1+m_2 (Kg)	Velocidade (m/s)	Momento Linear (N.s)
3	$81,29 \times 10^{-3}$	$44,73 \times 10^{-2}$	$36,36 \times 10^{-3}$
Quantidade de movimento do sistema (N.s)			$36,36 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores.

Para essa situação, analisou-se a colisão inelástica, tendo um disco em repouso e o outro se deslocando em sua direção. Com os dados obtidos é possível verificar que a quantidade de movimento linear do sistema antes da colisão manteve-se abaixo do parâmetro aceitável para o desvio percentual, que foi de 7,5%.

Para o caso da colisão inelástica, com dois discos em movimento em uma mesma direção, mas em sentidos opostos, foram obtidos os dados e resultados apresentados nos quadros abaixo:

Tabela 7: Dados de massa, velocidade e quantidade de movimento linear antes da colisão inelástica, com dois discos em movimento, um em direção ao outro para colidirem.

Disco	Massa (Kg)	Velocidade (m/s)	Momento Linear (N.s)
1	$42,42 \times 10^{-3}$	$89,69 \times 10^{-2}$	$38,04 \times 10^{-3}$
2	$38,53 \times 10^{-3}$	$-84,93 \times 10^{-2}$	$-37,72 \times 10^{-3}$
Quantidade de movimento do sistema (N.s)			$0,32 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores.

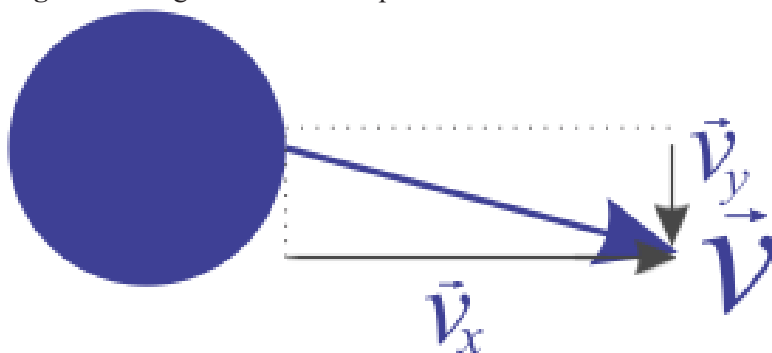
Tabela 8: Dados de massa, velocidade e quantidade de movimento linear após a colisão inelástica, com um disco em repouso e outro em movimento em direção ao primeiro para colisão.

Disco	Massa m_1+m_2 (Kg)	Velocidade (m/s)	Momento Linear (N.s)
3	$80,95 \times 10^{-3}$	$41,89 \times 10^{-4}$	$0,33 \times 10^{-3}$
Quantidade de movimento do sistema (N.s)			$0,33 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores.

Os resultados dessa situação de colisão inelástica mostram que a quantidade de movimento linear antes e após a colisão também está dentro dos parâmetros aceitáveis, tendo apenas 3% de desvio percentual. Esse resultado está de acordo com esperado pelo princípio da conservação da quantidade de movimento linear. O movimento bidimensional se dá em duas direções, independentes uma da outra como mostra o diagrama apresentado na Figura 5.

Figura 5: Diagrama vetorial explicativo.



A quantidade de movimento do sistema para colisão bidimensional foi determinada somando-se vetorialmente as quantidades de movimento das componentes x e y , antes da colisão. O mesmo procedimento foi realizado para as quantidades de movimento das componentes x e y após a colisão. Neste trabalho, o aparato experimental construído permite a análise deste tipo de movimento.

Os quadros abaixo apresentam os dados e resultados para a situação de uma colisão elástica numa situação de movimento bidimensional:

Tabela 9: Análise bidimensional dos dados de massa, velocidade e quantidade de movimento bidimensional, antes da colisão elástica, com um disco em repouso e outro em movimento.

<i>Componente x</i>			
Disco	Massa (Kg)	Velocidade em x (m/s)	Momento Linear em x (N.s)
1	$40,86 \times 10^{-3}$	$111,4 \times 10^{-2}$	$45,51 \times 10^{-3}$
2	$43,10 \times 10^{-3}$	0	0
Quantidade de movimento do sistema em x (N.s)			$45,51 \times 10^{-3}$
<i>Componente y</i>			
Disco	Massa (Kg)	Velocidade em y (m/s)	Momento Linear em y (N.s)
1	$40,86 \times 10^{-3}$	$5,415 \times 10^{-2}$	$2,21 \times 10^{-3}$
2	$43,10 \times 10^{-3}$	0	0
Quantidade de movimento do sistema em y (N.s)			$2,21 \times 10^{-3}$
Quantidade de movimento do sistema (N.s)			$45,59 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores.

Tabela 10: Análise bidimensional dos dados de massa, velocidade e quantidade de movimento bidimensional, após a colisão elástica, com um disco em repouso e outro em movimento.

<i>Componente x</i>			
Disco	Massa (Kg)	Velocidade em x (m/s)	Momento Linear em x (N.s)
1	$40,86 \times 10^{-3}$	$19,00 \times 10^{-2}$	$7,76 \times 10^{-3}$
2	$43,10 \times 10^{-3}$	$80,13 \times 10^{-2}$	$34,53 \times 10^{-3}$
Quantidade de movimento do sistema em x (N.s)			$42,29 \times 10^{-3}$
<i>Componente y</i>			
Disco	Massa (Kg)	Velocidade em y (m/s)	Momento Linear em y (N.s)
1	$40,86 \times 10^{-3}$	$17,36 \times 10^{-2}$	$7,09 \times 10^{-3}$
2	$43,10 \times 10^{-3}$	$-14,86 \times 10^{-2}$	$-6,40 \times 10^{-3}$
Quantidade de movimento do sistema em y (N.s)			$0,69 \times 10^{-3}$
Quantidade de movimento do sistema (N.s)			$42,30 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores

Com relação aos resultados obtidos para essa situação de colisão bidimensional, estes mostram que a quantidade de movimento bidimensional do sistema antes e após a colisão também estão dentro dos parâmetros aceitáveis, tendo apenas 7,2% de desvio percentual. Esse resultado está de acordo com o princípio da conservação da quantidade de movimento.

A seguir, os quadros 12 e 13 apresentam os dados para uma colisão elástica, no plano bidimensional, para uma situação onde os dois discos estão em movimento, um em direção ao outro.

Nessa situação de colisão bidimensional, os resultados mostram que a quantidade de movimento do sistema antes e após a colisão também está dentro dos parâmetros aceitáveis para este tipo de experimento, tendo apenas 2,5% de desvio percentual. Mais uma vez o esperado conforme o princípio da conservação da quantidade de movimento. Da mesma maneira que a situação anterior, a quantidade de movimento para esta colisão bidimensional foi determinada somando-se vetorialmente as quantidades de movimentos lineares das componentes x e y , antes da colisão. O mesmo procedimento foi realizado para os movimentos lineares das componentes x e y após a colisão.

Ao analisar colisões unidimensionais, ocorreram alguns problemas em relação aos lançamentos, pois eles necessitam ser precisos para que as velocidades envolvidas no processo não sofram uma decomposição, ou seja, que se desloquem em outra dimensão.

Nesse sentido se faz necessária várias tentativas de lançamentos até que se consiga uma colisão onde não ocorra essa decomposição. Ou ainda, será necessário repensar os corpos a serem lançados e os lançadores para aprimorar os estudos na mesa de ar, sendo uma possível desvantagem no aparato experimental.

Tabela 11: Análise bidimensional dos dados de massa, velocidade e quantidade de movimento bidimensional, antes da colisão elástica, com dois discos em movimento, com um em direção ao outro para colidirem.

<i>Componente x</i>			
Disco	Massa (Kg)	Velocidade em x (m/s)	Momento Linear em x (N.s)
1	$40,86 \times 10^{-3}$	$105,30 \times 10^{-2}$	$43,03 \times 10^{-3}$
2	$43,10 \times 10^{-3}$	$-0,622 \times 10^{-2}$	$-26,81 \times 10^{-3}$
Momento Linear do sistema em x (N.s)			$16,22 \times 10^{-3}$
<i>Componente y</i>			
Disco	Massa (Kg)	Velocidade em y (m/s)	Momento Linear em y (N.s)
1	$40,86 \times 10^{-3}$	$3,118 \times 10^{-2}$	$1,27 \times 10^{-3}$
2	$43,10 \times 10^{-3}$	$0,309 \times 10^{-2}$	$0,13 \times 10^{-3}$
Momento Linear do sistema em y (N.s)			$1,40 \times 10^{-3}$
Momento Linear do sistema (N.s)			$16,28 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores

Tabela 12: Análise bidimensional dos dados de massa, velocidade e quantidade de movimento bidimensional, após a colisão elástica, com dois discos em movimento, com um em direção ao outro para colidirem.

<i>Componente x</i>			
Disco	Massa (Kg)	Velocidade em x (m/s)	Momento Linear em x (N.s)
1	$40,86 \times 10^{-3}$	$-30,89 \times 10^{-2}$	$-12,62 \times 10^{-3}$
2	$43,10 \times 10^{-3}$	$66,03 \times 10^{-2}$	$28,46 \times 10^{-3}$
Momento Linear do sistema em x (N.s)			$15,84 \times 10^{-3}$
<i>Componente y</i>			
Disco	Massa (Kg)	Velocidade em y (m/s)	Momento Linear em y (N.s)
1	$40,86 \times 10^{-3}$	$31,62 \times 10^{-2}$	$12,62 \times 10^{-3}$
2	$43,10 \times 10^{-3}$	$-27,73 \times 10^{-2}$	$-11,95 \times 10^{-3}$
Momento Linear do sistema em y (N.s)			$0,97 \times 10^{-3}$
Momento Linear do sistema (N.s)			$15,87 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração dos Autores.

Os desvios percentuais apresentados em todas as situações experimentais estão relacionados ao fato de o sistema não ser fechado e isolado como a literatura determina para que a quantidade de movimento do sistema seja conservada. Além disso, apesar de considerar que o atrito entre o disco e a superfície da mesa de ar ser praticamente desprezível, ainda há o atrito com o ar e, após as colisões, os discos de madeira analisados podem, devido ao impacto, encostar-se à mesa acarretando numa pequena perda da quantidade de movimento do sistema.

Embora, certos aperfeiçoamentos ainda precisem ser feitos, o aparato construído permitiu, dentro da margem de erro estimada, o estudo das colisões em uma e duas dimensões, e a averiguação do princípio da conservação do momento linear total de um sistema isolado, obviamente com desvio devido aos erros das medidas. Infere-se com base nisso a relevância da mesa de ar para o ensino de conceitos de física (dinâmica das colisões).

Vale salientar que os vídeos gravados para essas colisões têm duração de menos de 1 segundo o que seria muito difícil de ser medido com cronômetros acionados manualmente, devido ao atraso do tempo de reação do ser humano para acionar e parar o cronômetro. Isso demonstra a importância e eficácia do software para a aquisição, análise e tratamento dos dados experimentais utilizando a vídeo-análise.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado o estudo experimental da dinâmica das colisões, com ênfase tanto em sua construção, como na aplicação do software livre de vídeo-análise *Tracker*, para coleta e tratamento de dados, que se mostrou uma ferramenta muito eficiente e abrangente. Este trabalho não tem como objetivo promover uma abordagem específica das dificuldades do ensino de física, apenas entendemos que elas existem, tanto como aprender, se ensinar física não é uma tarefa fácil (MOORE, 1982).

Tendo em vista as dificuldades e atual realidade do ensino de física no Brasil, como sintetizado no início, tanto a mesa de ar construída como a análise via software se enquadram como ótimas alternativas para o estudo experimental dos conteúdos estruturantes da disciplina de Física para o ensino médio, ainda mais com a explosão tecnológica que estamos vivendo.

A mesa de ar está estimada em R\$ 130,00 para sua construção (valor considerado sem o custo dos exaustores de fluxo contínuo de ar, que podem ser substituídos por aspiradores de pó domésticos).

A análise de vídeo por meio do *Tracker*, melhora a precisão para a coleta de dados, se comparado aos métodos manuais, é um software simples, de fácil manuseio e principalmente livre, ou seja, sem custo para adquiri-lo. Para fins de comparação, uma cotação de um equipamento comercial destinado à análise dos mesmos princípios físicos considerados neste trabalho, tendo como resposta um custo de R\$ 5.605,00. Portanto, o aparato experimental construído e apresentado neste trabalho, desconsiderando o custo dos exaustores de ar utilizados no experimento, possui um custo de produção de pouco mais de 2% do custo de um equipamento disponível no mercado, sendo um dos principais objetivos do trabalho.

O dispositivo construído, em conjunto com o programa de vídeo-análise, é uma excelente ferramenta para o estudo da dinâmica de movimento na física experimental, fazendo com que o aluno, tanto do ensino básico quanto o de ensino superior, identifique-se com o objeto de estudo permitindo que adquira conceitos e habilidades que são pertinentes para ocorrer aprendizagem, de qualquer forma que ela ocorra, possibilitando que o ensino-aprendizagem de física vá muito além de decorar leis, teorias e fórmulas como vem sendo feito na maioria das escolas.

REFERÊNCIAS

ARTUSO, A. R. **O uso da hipermídia no ensino de física:** possibilidades de uma aprendizagem significativa. 2006. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

BERMÚDEZ, A. C. **UOL Educação - Pisa:** Brasil fica entre piores, mas à frente da Argentina. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/noticias/2019/12/03/pisa-brasil-fica-entre-piores-mas-a-frente-da-argentina-veja-ranking.htm>. Acesso em: 16 set. 2014.

BARROQUEIRO, C. H.; AMARAL, L. H. O uso das tecnologias da informação e da comunicação no processo de ensino-aprendizagem dos alunos nativos digitais nas aulas de física e matemática. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, Cruzeiro do Sul, v. 2, n. 123, p. 123-143, jul./dez. 2011.

BRASIL. Ministério de Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: ensino médio, Parte III - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, 2000.

BRASIL. Ministério de Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, 2002.

BROWN, D. **Free video analysis and modeling tool for physics education**. Disponível em: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>. Acesso em: 16 set. 2014.

CAVALCANTE, M. A.; BONIZZIA, A.; GOMES, L. C. P. O ensino e aprendizagem de física no Século XXI: sistemas de aquisição de dados nas escolas brasileiras, uma possibilidade real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, p. 4501, dez. 2009.

CHAVES, A.; SHELLARD, R. C. **Física para o Brasil**: pensando o futuro. Sociedade Brasileira de Física – SBF: São Paulo, 2005.

TRACKER video analysis and modeling tool. Disponível em: <http://www.opensourcephysics.org/items/detail.cfm?ID=7365>. Acesso em: 18 nov. 2014.

D'AMBRÓSIO, U. Novos paradigmas de atuação e formação de docente. In: PORTO, Tânia (org.). **Redes em construção**: meios de comunicação e práticas educativas. São Paulo: JM, 2003. p. 55-77.

FIGUEIRA, J. S. **Movimento browniano**: uma proposta de uso de novas tecnologias no ensino de física. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/334403.pdf>. Acesso em: 27 out. 2014.

GASPAR, A. **Experiências em ciências para o ensino fundamental**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.

GIL-PÉREZ, D.; FURIÓ, M. C. P. V.; SALINAS, J.; MARTINEZ-

TORREGROSA, J.; GUIASOLA, J.; GONZÁLEZ, E.; DUMAS-CARRÉ, A.; GOFFARD, M.; PESSOA, A. M. C. Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio. **Enseñanza de las ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 2, p. 311-320, jun. 1999.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: mecânica**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. v. 1.

LIBÂNEO, J. C. **Didática**. São Paulo: Cortez, 1994.

MEDEIROS, R. Quais os saberes necessários para a prática docente, Freire, Tardif e Gauthier respondem? **Revista Eletrônica Fórum Paulo Freire**, v. 1, n. 1, p. 1-14, 2005. Disponível em: <https://docplayer.com.br/49505134-Quais-os-saberes-necessarios-para-a-pratica-docente-freire-tardif-e-gauthier-respondem-resumo.html>. Acesso em: 27 out. 2015.

MOORE, T. W. **Philosophy of education: an introduction**. Londres, 1982. p. 74-76.

PAPERT, S. A máquina das crianças repensando a escola na era da informática. **Revista Faced**, Salvador, n. 12, p. 227-231. 2007.

PIETROCOLA, M.; UETA, N. **Física: física moderna e contemporânea**. São Paulo: EDUSP, 2004.

ROCHA, F. S. da; GUADAGNINI, P. H. Sensor sonar de movimento para ensino de física experimental. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 4, p. 306-315, 2010.

RODRIGUES, D. C. G. A. A inserção de atividades experimentais no ensino de ciências em nível médio: um relato de sala de aula. **Revista Práxis**, a.1, n. 2, p. 17-21, ago. 2009.

Recebido em: 24/05/2021

Aceito em: 16/09/2021