

ABORDAGEM DO MOVIMENTO RELATIVO ATRAVÉS DO ESTUDO DO MOVIMENTO PARABÓLICO COM USO DO SOFTWARE TRACKER

An approach to relative movement through study of the parabolic movement with the use of *Tracker* software

A. M. SANTOS¹, P. S. CARVALHO²

¹Instituto Federal do Paraná

²Universidade do Porto

Resumo

Este trabalho aborda o movimento parabólico de uma bola de tênis de mesa a partir da discussão do movimento relativo entre dois referenciais, em que um está em movimento retilíneo e uniforme em relação ao outro. De maneira geral, os assuntos de movimento relativo entre referenciais e lançamento de projéteis (movimento parabólico) são estudados separadamente em um curso de física e muitas vezes os estudantes não se apercebem das relações existentes entre eles. Este trabalho visa discutir, por meio do uso da ferramenta Tracker, a relação entre o movimento relativo de referenciais e a composição de movimentos no movimento parabólico de um objeto, mostrando a contribuição do uso de metodologias ativas e diferentes ferramentas pedagógicas para um processo de aprendizagem efetivo. Também é nosso objetivo motivar os atuais e futuros professores de física a envolver os alunos em diferentes formas de abordagem de tópicos que possam ser entendidos de uma forma mais útil e prática.

Palavras-chave: Movimento relativo. Movimento parabólico. Metodologia ativa.

Abstract

This work presents the parabolic movement of a table tennis ball as part of the discussion of relative movement between two reference frames, when one is in a rectilinear and uniform movement in relation to the other. In general, the issues related with relative movement between references and projectiles launching (parabolic movement) are studied separately in a physics course, and students are often unaware of the relationships between them. This work aims to discuss the relationship between the relative movement of references and the composition of motions in the parabolic movement of an object through the use of Tracker software, showing the contribution of the use of active methodologies and different pedagogical tools to an effective learning process. It is also our goal to motivate future and current physics teachers to engage students in different ways of approaching topics that can be understood in a more useful and practical way.

Keywords: *Relative motion. Parabolic movement. Active methodology.*

I. INTRODUÇÃO

O ensino de física em cursos superiores ainda é atualmente compartimentado e, assim, desvinculado das relações entre diversos temas. Como tal, assuntos correlacionados são frequentemente apresentados aos estudantes, entre os quais aqueles que virão a ser futuros professores, de maneira separada e sem qualquer vinculação. Um exemplo desta situação ocorre com os movimentos relativos entre referenciais e os lançamentos de projéteis (movimentos parabólicos), que normalmente são apresentados sem estarem relacionados entre si e quando abordados ao nível de ensino médio, são reproduzidos pelos professores da mesma maneira com que foram estudados por esses professores na sua própria graduação.

Na perspectiva inclusiva da preparação dos professores, a formação em didática deve preparar estes profissionais para que eles tornem o ensino de física acessível a qualquer pessoa. Neste sentido, saber como operacionalizar com metodologias ativas que envolvam efetivamente os estudantes na sua aprendizagem bem como ferramentas que possibilitem e permitam a conexão entre os diversos temas científicos é fundamental para os futuros professores, que estarão dia a dia confrontados com questões sobre a aplicação e utilização da ciência física. Assim, aprender a relacionar conteúdos que muitas vezes não são relacionados em sala de aula da graduação pode auxiliar a compreensão do assunto e, principalmente, auxiliar o processo de ensino de alunos do ensino fundamental e médio com dificuldades de aprendizagem.

O ensino e a aprendizagem nas ciências, em especial na disciplina de física, tornam-se mais gratificantes e motivadores quando os estudantes e a turma, como um todo, podem apoderar-se dos meios para a construção do seu próprio conhecimento, desenvolvendo e implementando seus próprios processos de aprendizagem. Isto acontece porque a sociedade atual exige o desenvolvimento de competências diferentes das anteriormente trabalhadas, além de novas construções tanto docentes quanto discentes, relativamente ao processo de ensino e aprendizagem (DIESEL, BALDEZ & MARTINS, 2017). As metodologias ativas

surgiram como possibilidade de modificar as aulas tradicionais que dominavam o ambiente escolar, gerando um aprendizado passivo e muitas vezes baseados na repetição. Essas metodologias fazem com que o processo de aprendizado seja estimulado pela maior interação entre professores, alunos e recursos educativos a serem utilizados em cada aula (MOTA & DA ROSA, 2018), possibilitando que os estudantes sejam parte responsável por seu aprendizado. Dessa maneira, as metodologias ativas podem possibilitar recursos necessários que permitam que os estudantes, com ou sem necessidades específicas, tenham um desenvolvimento acadêmico significativo e que possuam um acréscimo efetivo nas esferas educacional, pessoal e social (FARREL, 2009).

Ser responsável por seu aprendizado requer que o estudante seja o foco do processo e que o professor passe a ser o intermediador do conhecimento e promotor das reflexões críticas e discussões com e entre os alunos. Deste modo é necessário que o professor pense em explorar ferramentas diversificadas que permitam aos estudantes apoderarem-se do conhecimento de forma fundamentada.

Com o intuito de promover um aprendizado efetivo, este trabalho apresenta a utilização do software *Tracker* (BROWN & COX, 2009), uma ferramenta conectada ao projeto *Open Source Physics*, e que permite a análise de vídeos, quadro a quadro, que podem ser criados com máquinas digitais, para a discussão e o aprendizado de conceitos físicos. Esta ferramenta é de uso livre e pode ser empregada em sala de aula, ou mesmo em casa, em um laboratório economicamente viável e passível de ser utilizado em qualquer momento do dia.

A utilização do *Tracker*, neste trabalho, servirá como ferramenta para uma discussão relacionando movimento relativo entre referenciais e movimento de projéteis no ensino de física, assuntos que muitas vezes são tratados separadamente e acabam não propiciando um processo de aprendizagem conexo e significativo. Vale lembrar, no entanto, que apenas o uso de tecnologias não sustenta a aprendizagem e portanto, as metodologias ativas, a diversidade e os momentos de síntese em sala de aula, são fundamentais para que o aprendizado seja realmente significativo.

II. UMA ENQUETE PARA BALIZAR O ESTUDO

Para ter uma ideia a respeito do conhecimento dos jovens que estudam ou estudaram estes movimentos, colocamos na internet, através do *facebook*, algumas perguntas, pedindo que estudantes tanto de Portugal quanto do Brasil respondessem. O objetivo era verificar o conhecimento destas pessoas a respeito dos movimentos parabólicos e saber como este assunto poderia ser melhor compreendido, para justificar o trabalho em questão. Responderam à enquete 28 pessoas, das quais atuais estudantes do ensino médio e também alguns jovens e adultos que já haviam passado por esta etapa de ensino.

Dos que estão atualmente no ensino médio, teve-se um total de 71,5% respondentes, sendo que 28,6% são estudantes do segundo ano do ensino médio (décimo primeiro em Portugal) e 42,9% são estudantes do terceiro ano do médio (do décimo segundo em Portugal). Não houve qualquer resposta de estudantes do primeiro ano do ensino médio, ano em que normalmente os alunos são apresentados a este tema, no Brasil. De todas as respostas, 71,4% das pessoas eram portuguesas, 21,4% brasileiras e as demais tinham ambas as nacionalidades. 64,3% declararam-se como do sexo masculino e 35,7% como do sexo

feminino.

A enquete, além das informações anteriores, tinha três questões, uma de múltipla escolha e as duas restantes abertas, tal como se transcreve a seguir:

1. Na ausência de resistência apreciável do ar, a trajetória parabólica de um projétil resulta da composição de:
 - (a) um movimento parabólico vertical e de um movimento horizontal uniforme;
 - (b) um movimento parabólico vertical e de um movimento vertical uniformemente variado;
 - (c) um movimento horizontal uniforme e de um movimento vertical uniformemente variado;
 - (d) um movimento horizontal uniforme e de um movimento vertical variado (mas não uniformemente variado);
 - (e) um movimento horizontal uniforme e de um movimento vertical uniforme.
2. O que você pensa sobre o processo de aprendizagem do conteúdo "movimento de projéteis" na escola?
3. Para ter maior sucesso na aprendizagem de movimento de projéteis, você saberia indicar alguma sugestão que pudesse auxiliá-lo a entendê-lo melhor?

Com relação à primeira questão, 60,7% das respostas indicaram a letra (c), 21,4% a letra (a), 7,1% a letra (e) e a letra (d) e 3,6% a letra (b). Apesar de a maioria indicar a resposta certa (resposta c), pode-se perceber que muitos estudantes não conseguem relacionar adequadamente a composição de movimentos independentes com o movimento parabólico e acabam sendo ensinados apenas através de equações que muitas vezes são decoradas sem a compreensão do fenômeno físico. As respostas à questão 2, onde foram obtidos entre outros comentários, que "o ensino é diminuto", "deve ser experimental", "desnecessário", "confuso", "interessante", "complexo", parecem confirmar a necessidade de um ensino conceitual que permita uma melhor visualização do fenômeno pelos alunos e não apenas centrado nos modelos matemáticos.

No que tange a questão 3, algumas respostas foram: "exemplos com vídeos e imagens explicativas", "exemplos práticos e experimentos", "simulações e vídeos ilustrativos", experiências que facilitem a visualização", "exploração prática", "uso do computador", "fazer projétil e lançar", "maior tempo dedicado" e modelagem é a melhor maneira". Pode-se assim perceber que os estudantes, de maneira geral, acham que este assunto precisa de lhes ser mais bem apresentado, o que talvez também seja uma dificuldade dos próprios professores quando não conseguem explicar adequadamente a razão pela qual o movimento parabólico é descrito pela composição de movimentos independentes, assim como presumivelmente também aconteceu no seu próprio processo de aprendizagem.

Apesar do número de participantes na enquete ter sido reduzido, as respostas obtidas levam-nos a acreditar que uma reflexão profunda sobre este assunto é relevante no processo de ensino e aprendizagem da física, nomeadamente na formação inicial de professores para possibilitar ir de encontro aos desejos dos estudantes que dizem que experimentos, vídeos e uso de computadores facilitaria o entendimento do movimento de projéteis.

III. RELAÇÃO ENTRE O MOVIMENTO RELATIVO E O MOVIMENTO PARABÓLICO

De maneira geral, quando o conceito de movimento em duas ou três dimensões é trabalhado com alunos da graduação em física, para muitos, o movimento de projéteis é como um caso particular de sobreposição aditiva do movimento independente em duas (ou três) dimensões em relação a um referencial fixo (por exemplo, o do laboratório). Assim, a interpretação do lançamento de projéteis não costuma ser associada nem interpretada tendo em conta o movimento do corpo relativamente a um outro referencial em movimento e ao desse referencial em relação ao do laboratório, habitualmente designado por movimento relativo entre referenciais.

Nos livros de texto mais usados no ensino de física para o curso superior, como por exemplo Halliday, Resnick & Krane (2013), Tipler (2009) ou Nussenzveig (1981), apenas o texto de Halliday, Resnick & Krane traz os dois temas abordados, mas em momentos diferentes; já os demais textos citados, tratam apenas do movimento de projéteis enquanto caso particular do movimento de duas ou três dimensões, mas não o relacionam com o movimento relativo entre referenciais.

Assim, considerando a importância da metodologia aplicada e dos conceitos envolvidos no ensino de física, é fundamental que os professores entendam as razões que permitem considerar o lançamento de projéteis como a composição de dois movimentos independentes e que este mesmo tipo de raciocínio seja aproveitado para outras temáticas dentro da área da física. Dessa maneira, a aprendizagem torna-se mais fácil e mais ampla, visto que as discussões podem trazer muitos exemplos de situações problemáticas semelhantes.

Ao discutir-se o lançamento de projéteis na perspectiva do movimento relativo entre referenciais, está-se avaliando o movimento de uma partícula do ponto de vista de dois observadores (ou seja, dois referenciais) que estão em movimento relativo entre si (HALLIDAY, RESNICK & KRANE, 2013). No exemplo apresentado neste trabalho, um carrinho é lançado com velocidade horizontal constante e a dado momento é disparada verticalmente, de um funil do carrinho, uma bola de tênis de mesa. Assim, ao analisar especificamente a conexão entre o movimento do projétil (bola de tênis) e o movimento relativo dos referenciais inerciais (para velocidades não relativísticas entre referenciais, este é dado pela *relatividade galileana*), avalia-se o movimento considerando como primeiro referencial o do laboratório e como segundo referencial o do carrinho que dispara a bola de tênis de mesa.

O referencial do carrinho tem velocidade constante apenas na horizontal em relação ao referencial do laboratório e como veremos, o centro de massa da bola de tênis, no referencial do carrinho de onde é lançada, tem movimento apenas na vertical com aceleração constante. Assim, no referencial do laboratório, o centro de massa da bola tem simultaneamente velocidade constante na horizontal e aceleração na vertical, sendo esta a interpretação resultante do movimento para os alunos.

IV. O USO DO SOFTWARE *Tracker* EM SALA DE AULA

Tornar o ensino de física mais aplicado ao dia a dia dos estudantes auxilia na compreensão e no entusiasmo pela aprendizagem. O aplicativo *Tracker*, disponível no endereço <<https://physlets.org/tracker/>>, tem sido referenciado para o estudo de fenô-

menos nas áreas da mecânica newtoniana (RODRIGUES & CARVALHO, 2013), da ótica (RODRIGUES & CARVALHO, 2014; Rodrigues, Marques & Carvalho, 2016), da astronomia (Belloni & Christian, 2013), ou das ondas sonoras (CARVALHO et al., 2013). Um tutorial do programa *Tracker* em português pode ser descarregado no endereço: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html>>. O *Tracker* permite que o estudo do movimento de uma bola de tênis de mesa seja visivelmente compreendido a partir da análise de um vídeo e do ajuste das equações matemáticas do modelo físico que descrevem o seu movimento.

Para o caso aqui estudado é importante perceber que a velocidade dos objetos depende da velocidade dos referenciais, pelo que em cada um deles a velocidade de cada objeto pode ser descrita de maneira diferente. Ao interpretar o movimento de projéteis através do movimento relativo entre referenciais é importante definir-se os referenciais a considerar. Como mostrado na figura 1, o referencial 1 (em magenta) é o do laboratório e o referencial 2 (em amarelo) é o do carrinho, cuja origem corresponde à base do funil.

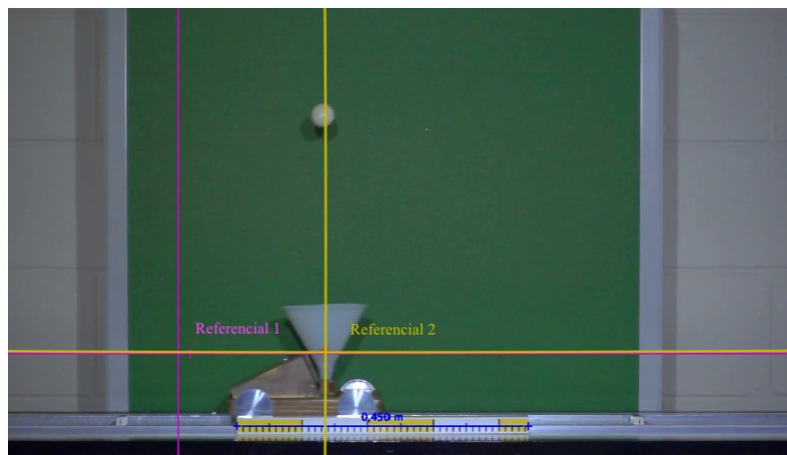


Figura 1: Referenciais usados na experiência do lançamento do projétil (bola de tênis).

Avalie-se então qual a trajetória de um ponto P, neste caso o centro da bola de tênis de mesa, em relação aos dois referenciais. Para tal, considere-se o movimento de uma partícula vista por dois observadores que estão em movimento relativo entre si, sem aceleração um em relação ao outro. Como tal, o vetor de posição instantânea do ponto P no referencial 1 (o do laboratório) pode ser representado por

$$\vec{r}_{P1} = \vec{r}_{P2} + \vec{r}_{21} \quad (1)$$

em que \vec{r}_{P1} é a posição do ponto P no referencial 1 (o do laboratório), \vec{r}_{P2} é a posição do ponto P no referencial 2 (e que se move com o carrinho), e \vec{r}_{21} é a posição do referencial 2 em relação ao referencial 1 (figura 2). Portanto, o vetor velocidade do ponto P em relação ao referencial do laboratório (referencial 1), é:

$$\vec{v}_{P1} = \vec{v}_{P2} + \vec{v}_{21} \quad (2)$$

onde \vec{v}_{P1} e \vec{v}_{P2} representam, respectivamente, as velocidades do centro da bola de tênis de mesa observadas no referencial fixo do laboratório e no referencial que se move com

o carrinho, e \vec{v}_{21} é a velocidade relativa entre os dois referenciais (também chamada de *velocidade de transporte*).

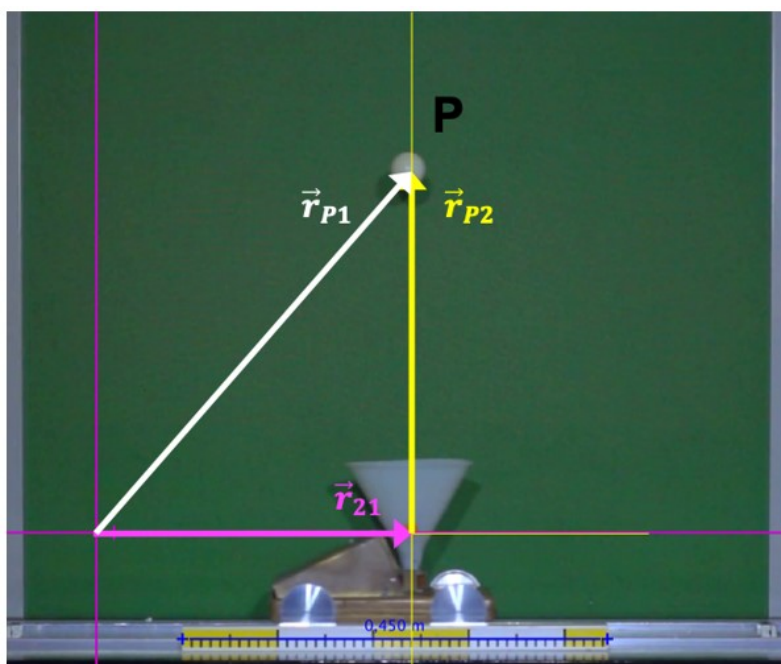


Figura 2: Posição do ponto P (a bola) tendo como referência a equação (1).

Com o auxílio do *Tracker* pode-se constatar que a origem do referencial 2 em relação ao referencial 1 varia linearmente com o tempo. Tal situação significa que o referencial 2 se afasta do referencial 1 com velocidade constante, ou seja, \vec{v}_{21} é constante segundo a horizontal (figura 3).

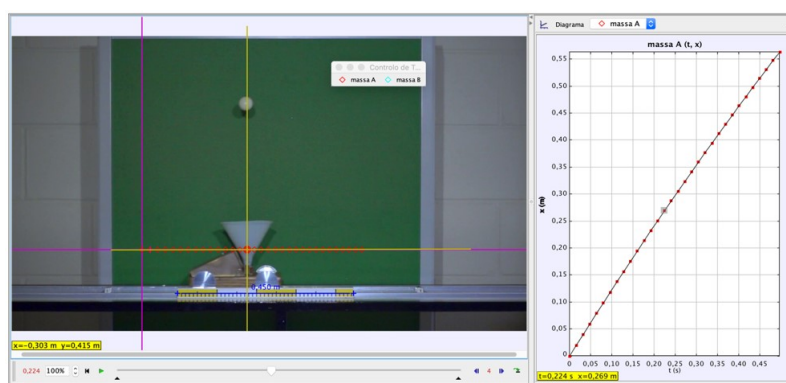


Figura 3: Movimento uniforme do referencial 2 em relação ao referencial do laboratório (referencial 1). No lado direito da imagem, pode-se observar a relação linear entre o espaço e o tempo, identificando assim que o carrinho tem um movimento uniforme segundo o eixo horizontal.

A velocidade do corpo em relação ao carrinho, \vec{v}_{P2} , é apenas vertical (inicialmente para cima com velocidade positiva decrescente, depois para baixo com velocidade crescente e de sinal negativo), ou seja, tem um movimento com aceleração constante de cima para baixo, de acordo com o referencial 2 (Figura 4).

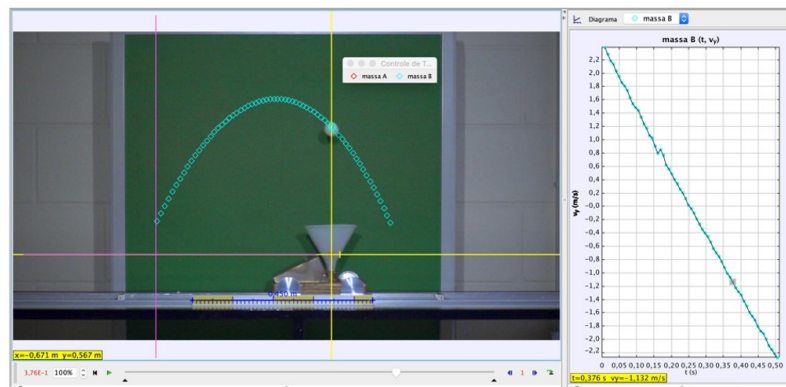


Figura 4: Movimento da bola registrada no referencial 2. No lado direito da imagem, pode-se observar o gráfico da velocidade da bola na direção vertical do referencial 2 em função do tempo, identificando assim um movimento uniformemente variado segundo a vertical. A aceleração da bola de tênis, obtida por ajuste linear aos pontos experimentais, é de $-9.35 \pm 0.03 \text{ m/s}^2$.

Assim, tendo em conta a expressão (2), fica mais simples para os alunos concluírem que a velocidade total da bola de tênis em relação ao laboratório (referencial 1), \vec{v}_{P1} , é dada pela adição vetorial da velocidade em relação ao referencial 1 com a velocidade relativa entre os dois referenciais. Essa forma de descrever o movimento do projétil é idêntica a considerar que a velocidade da bola, no referencial do laboratório, é uma composição de duas componentes perpendiculares da velocidade, correspondentes a dois movimentos independentes e perpendiculares entre si: um segundo a horizontal (movimento uniforme) e o outro segundo a vertical (movimento uniformemente variado). O movimento completo da bola está disponível no endereço: <<https://youtu.be/13wUuPLqj2M>>.

V. CONCLUSÃO

Com este trabalho pretendemos mostrar que o lançamento de um projétil visto de um referencial que está parado (referencial do laboratório) é dado pela composição de dois movimentos: um do projétil em relação a um referencial com movimento uniforme (no exemplo, o referencial do carrinho) e o outro, do referencial do carrinho em relação ao do laboratório. Esta composição resulta em uma descrição idêntica do movimento considerando dois movimentos independentes e perpendiculares entre si, que os alunos tendem a memorizar sem que muitas vezes entendam exatamente porquê.

Com o auxílio do *Tracker*, uma ferramenta que permite analisar o movimento através de vídeo, fica mais visível e compreensível a razão pela qual o movimento de projéteis pode ser analisado pela composição de dois movimentos perpendiculares de características diferentes, proporcionando ao professor uma visão mais geral sobre o ensino deste conteúdo aos estudantes do ensino básico.

Esta abordagem simples e clara, num contexto introdutório do movimento relativo, permitirá no futuro ajudar os alunos a compreenderem o movimento relativo entre objetos, nomeadamente quando ambos podem ser associados a referenciais em movimento (por exemplo, movimentos entre aviões e barcos, objetos no interior de veículos de transporte, ou até entender o efeito da força de Coriolis quando um dos referenciais é acelerado).

Assim, a utilização de novas ferramentas na formação inicial e continuada de professores é útil para que o futuro professor as reconheça, saiba utilizá-las e possa manuseá-las da melhor maneira possível no processo de ensino e aprendizagem para seus alunos do ciclo básico.

REFERÊNCIAS

- BELLONI, M.; CHRISTIAN, W. Teaching Astronomy Using *Tracker*. *The Physics Teacher*, 51(3), 149 (2013).
- BROWN, D.; COX, A. J. Innovative Uses of Video Analysis. *The Physics Teacher*, 47(3), 145-150 (2009).
- CARVALHO, P.S.; RODRIGUES, M.; PEREIRA, C.; ATAÍDE, M.; BRIOSA, E. How to Use a Candle to Study Sound Waves, *The Physics Teacher*, 51, 398-399 (2013).
- DIESEL, A.; BALDEZ, A.L.S.; MARTINS, S.N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. *Revista Thema*. 14(1), 268 - 288 (2017).
- FARRELL, M. *O aluno com necessidades especiais na escola regular*. Pátio. 48, 12 - 15 (2009).
- MOTA, A. R; DA ROSA, C. T. W. *Ensaio sobre metodologias ativas*. Espaço Pedagógico. 25(2), 261 - 276 (2018).
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica - Vol. 1 Mecânica*. São Paulo: Blucher, 1981.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K. S. *Física 1*. (5ª edição), Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- RODRIGUES, M.; CARVALHO, P. S. *Teaching physics with Angry Birds: exploring the kinematics and dynamics of the game*, *Physics Education*, v. 48(4), 431-437 (2013).
- RODRIGUES, M.; CARVALHO, P. S. *Teaching optical phenomena with Tracker*. *Physics Education*, 49(6), 671-677 (2014).
- RODRIGUES, M.; MARQUES, M.; CARVALHO, P. S. *How to Build a Low Cost Spectrometer with Tracker for Teaching Light Spectra*, *Physics Education*, 51(1), 014002 (2016).
- TIPLER, P. A. *Física para cientistas e engenheiros: mecânica, oscilações e onda termodinâmica*. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
-