

## ENSINO SOBRE A QUEDA DOS CORPOS POR MEIO DO SOFTWARE TRACKER

*Teaching free fall motion using the Tracker software*

**Paulo Weslei Alberton** [pauloweslei@hotmail.com]

**Johnathan Carlos De Souza** [johnathancarlos90@gmail.com]

**Gisele Strieder Philippsen** [gistrieder@ufpr.br]

*Universidade Federal do Paraná- UFPR*

*Campus Avançado Jandaia do Sul*

*Rua Dr. João Maximiano, Nº 426 – Vila operária. CEP 86900-000.*

*Jandaia do Sul- Paraná, Brasil.*

*Recebido em: 20/12/2019*

*Aceito em: 17/06/2020*

### Resumo

Um dos desafios encontrados na área de Ensino de Física reside no desenvolvimento de estratégias de ensino que despertem o interesse dos estudantes. No contexto atual, a utilização de ferramentas computacionais na experimentação tem sido indicada na literatura como um importante recurso didático, apto a motivar os alunos ao estudo das diversas áreas do conhecimento, bem como a prepará-los para a atuação profissional em uma sociedade em que a tecnologia está cada vez mais presente. A sequência didática proposta neste trabalho considera o uso do software Tracker no ensino sobre o movimento de queda dos corpos, tendo sido realizada em duas turmas do Ensino Médio e duas turmas do Ensino Superior. Os resultados decorrentes da abordagem adotada sugerem que a atividade contribuiu para o aprimoramento do conhecimento dos estudantes participantes, corroborando o potencial de aplicação do software Tracker ao ensino de Física relatado na literatura.

**Palavras-chave:** Ensino de Física; Queda dos corpos; Tracker.

### Abstract

A relevant challenge in the Physics Teaching area lies in the development of teaching strategies that instigate students' interest about science. The use of computational tools, associated with experimental activities, has been indicated in the literature as an important didactic resource, able to motivate students in the study of diverse knowledge areas, as preparing them in the professional aspect considering a society increasingly based on technology. The didactic sequence proposed in this work considers the use of Tracker software in the teaching of the free fall motion concepts, leading to an approach that can be employed in high school or college Physics courses. The results raised from the sequence application in four classes suggest that the activity contributed to the improvement of the students' knowledge, corroborating the potential of the Tracker software in the Physics Teaching area reported in the literature.

**Keywords:** Physics teaching; Free fall motion; Tracker.

## **Introdução**

A Física é uma ciência que se dedica ao estudo de fenômenos naturais, buscando descrevê-los por meio da linguagem matemática. O ensino desta disciplina, quando puramente teórico, torna a compreensão dos modelos mais árdua para os estudantes devido à dificuldade em atribuir significado aos conceitos. Neste sentido, as atividades experimentais, associadas com atividades computacionais, possibilitam aos alunos a oportunidade de verificar o fenômeno físico que constitui o objeto de estudo, tornando-o menos abstrato e permitindo a aprendizagem significativa via uma abordagem construtivista.

Segundo Gaspar & Monteiro (2005), é por meio dos experimentos que as ciências encantam e aguçam o interesse das pessoas. No que tange o ensino de Física, a abordagem experimental proporciona ao estudante uma visão concreta do acontecimento fenomenológico, facilitando a compreensão do conteúdo na aprendizagem. Outro aspecto importante relativo à experimentação relaciona-se à formação crítica dos estudantes: ao elaborar hipóteses ou discutir resultados experimentais, os alunos ficam sujeitos a aprender de forma prática como trabalhar coletivamente, debatendo e respeitando ideias contrárias, podendo modificá-las ou reafirmá-las conforme a validação vai se desenvolvendo (Suart & Marcondes, 2008).

Recursos computacionais podem contribuir na experimentação visando o melhor entendimento do fenômeno observado. Softwares dedicados à modelagem permitem traduzir matematicamente o fenômeno sob estudo, conciliando a vivência da prática de observação, coleta de dados, descrição matemática e discussão dos resultados na experimentação (Christian, Esquembre & Barbato, 2011). Neste contexto cita-se o software livre Tracker (Christian, Esquembre & Barbato, 2011), uma ferramenta de vídeo análise por meio da qual é possível observar de forma minuciosa um determinado movimento – registrado em vídeo – e coletar dados para a construção de gráficos e para o estudo da evolução temporal de grandezas físicas, a exemplo da posição, velocidade e aceleração.

Este trabalho tem como intuito a proposição de uma sequência didática para o ensino dos conceitos relativos ao movimento de queda dos corpos, utilizando uma atividade experimental mediada pelo software Tracker. Por meio desta, tem-se como propósito o estabelecimento de um cenário favorável à aprendizagem significativa do movimento de queda dos corpos, bem como ao desenvolvimento de habilidades necessárias à modelagem matemática de sistemas físicos. Consequentemente, espera-se que esta atividade possa contribuir na formação dos estudantes enquanto cidadãos críticos e aptos ao trabalho em equipe e ao uso de tecnologias.

A sequência foi desenvolvida inicialmente com duas turmas do Ensino Médio da rede pública de ensino do Estado do Paraná e duas turmas do Ensino Superior de uma universidade pública. Com o objetivo de inferir se a proposta didática foi relevante no processo de ensino-aprendizagem, foram elencadas questões relacionadas aos principais conceitos do conteúdo abordado, as quais foram apresentadas aos estudantes em um pré-teste e em um pós-teste. As seções que seguem destinam-se à descrição de elementos que dão suporte à proposta de trabalho, bem como ao relato dos resultados obtidos.

## **Aprendizagem significativa e construtivismo**

A Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, pressupõe que a aprendizagem significativa consiste em ancorar o novo conhecimento em bases bem definidas que servirão como suporte para a interação com o novo conceito, permitindo ao aluno apropriar-se do mesmo com mais significado (Ausubel, 2000; Moreira, 2016). O conhecimento prévio, que atua como alicerce para o novo conhecimento, é denominado subsunçor. O subsunçor, por sua vez, não tem a obrigatoriedade

de ser algo definitivo; o novo conceito aprendido interage com esta estrutura cognitiva de modo a trazer influência e possivelmente modificações, tornando assim o subsunçor mais amplo após a incorporação do novo conceito (Moreira, 2016).

Tavares (2008, p. 95) explica que na aprendizagem significativa “não acontece apenas a retenção da estrutura do conhecimento, mas se desenvolve a capacidade de transferir esse conhecimento para a sua possível utilização em um contexto diferente daquele em que ela se concretizou”. Neste sentido, a sequência didática desenvolvida neste estudo tem início com a retomada dos conhecimentos prévios dos alunos acerca do Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) e objetiva ampliar seus significados para o estudo do movimento de queda dos corpos, como será descrito posteriormente, com o propósito de estabelecer condições adequadas para a aprendizagem significativa do tema.

Outra teoria educacional adotada como referencial teórico neste estudo foi o Construtivismo, teoria elaborada por Jean Piaget que argumenta que o processo de construção do conhecimento ocorre juntamente com o desenvolvimento cognitivo (Polese, 2012). Graduado em Filosofia e Biologia, Piaget desenvolveu pesquisas buscando compreender o processo de aprendizagem por meio de observações sistemáticas do modo como as crianças constroem seus conhecimentos (Fossile, 2010). Apontou quatro fatores como sendo essenciais ao desenvolvimento cognitivo da criança: fator biológico, o qual está relacionado ao desenvolvimento orgânico e do sistema nervoso central; fator de experiências e exercícios: relacionado à importância da interação entre a criança e objetos, não necessariamente físicos, ao processo de aprendizagem; fator de interações sociais: desenvolvido por meio de linguagens; e fator de equilíbrio das ações: relacionado à capacidade de adaptação mediante ao meio ou situações.

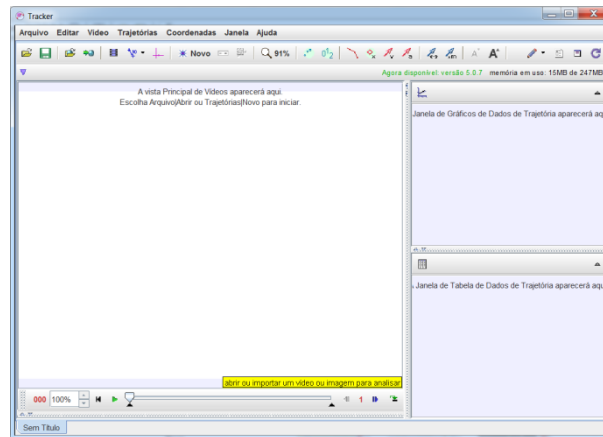
De acordo com a abordagem construtivista, os alunos devem elaborar suas hipóteses a partir do fenômeno observado, não apenas organizando os pensamentos relativos ao senso comum, mas modificando-os quando necessário para possivelmente promover uma nova visão da ciência. Esta vivência educacional pode conduzir o estudante a um conflito entre as ideias populares e o que foi realmente observado sobre o objeto de estudo, evidenciando a necessidade do pensamento científico (Mortimer, 1996). Nos moldes dessa teoria, o professor não tem a finalidade de entregar um novo conceito ao aluno e sim proporcionar um ambiente para que o próprio aluno tenha condições de construir esse conceito.

Neste contexto, atividades experimentais articuladas a atividades computacionais edificam as condições adequadas à verificação e análise do fenômeno físico sob estudo (em um ambiente físico real e/ou virtual), permitindo a interação do aluno com o objeto de estudo de modo a torná-lo menos abstrato, facilitando o aprendizado em um processo construtivista do conhecimento (Abdulwahed & Nagy, 2011; Dorneles, Araujo & Veit, 2012; Sarabando, Cravino & Soares, 2014). Tendo esta diretiva como propósito, a sequência didática descrita neste estudo propõe o uso do software Tracker, dado que esta ferramenta apresenta um caráter propício à articulação entre atividades experimentais e computacionais.

## **Software Tracker**

Estudos indicam que o processo de aprendizagem pode ser otimizado quando o aluno está envolvido em atividades de ensino que se assemelham a atividades de pesquisa, ou seja, atividades que envolvem interações reflexivas acerca da teoria estudada, abrangendo atividades experimentais e atividades de modelagem computacional (Christian, Esquembre & Barbato, 2011; Teodoro & Neves, 2011).

O software livre Tracker (disponível em: <https://physlets.org/tracker/>) é uma ferramenta computacional que possibilita propostas didáticas com este intuito. Trata-se de uma ferramenta de vídeo análise (Figura 1) construída na *Open Source Physics* (OSP), comunidade científica que desenvolve e disponibiliza gratuitamente recursos para o ensino de Física e para a modelagem computacional (Christian, Esquembre & Barbato, 2011). O software permite a vídeo análise quadro a quadro para os diversos estudos sobre movimento (Lenz, Saavedra Filho & Bezerra Júnior, 2014), em que quanto maior for o número de quadros por segundo no vídeo analisado, melhor serão os gráficos e consequentemente as análises do movimento em questão.



**Figura 1.** Tela inicial do software livre Tracker. Fonte: Tracker.

Neste sentido, o Tracker constitui um recurso de aprendizagem ativa em que os alunos podem assistir ao vídeo do experimento realizado e identificar a posição do objeto em cada quadro do vídeo. Ao mesmo tempo em que o usuário identifica a posição do objeto no quadro do vídeo, o software registra as coordenadas espaciais em função do tempo em uma tabela, viabilizando a construção de gráficos e a modelagem matemática de dados experimentais. Estas funcionalidades permitem que os estudantes analisem a evolução das grandezas físicas de interesse no experimento realizado (Bezerra Júnior et al., 2012), o que facilita a compreensão do fenômeno observado.

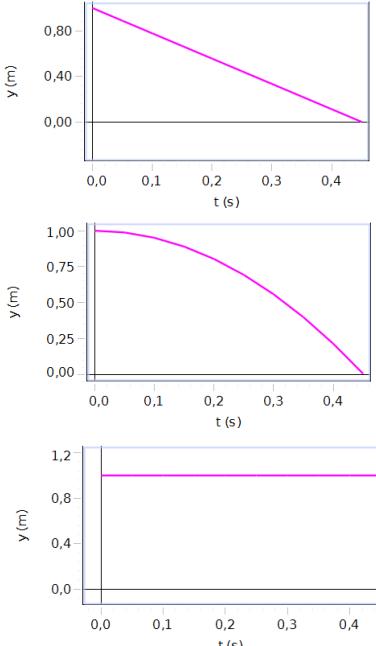
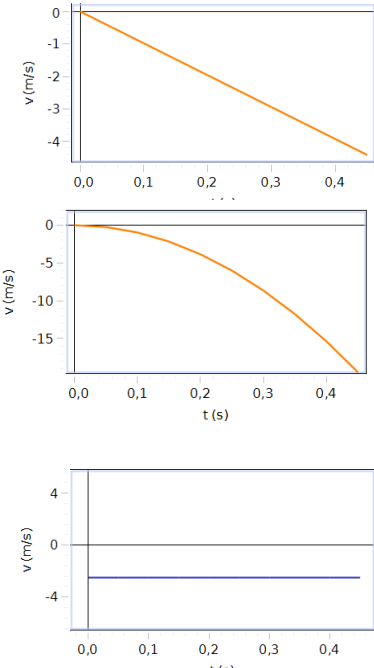
Trabalhos na literatura sugerem diversas formas de utilização do software Tracker no ensino de Ciências e Matemática, estabelecendo um cenário promissor ao professor que queira utilizá-lo em suas aulas (Martins et al., 2013; Magarinus et al., 2014). No contexto da Física, cita-se o trabalho de Wee et al. (2012), com uma proposta para o ensino do movimento de projéteis utilizando o Tracker, o trabalho de Wee et al. (2015) sobre o lançamento vertical e o trabalho de Bezerra Júnior et al. (2012), em que o software é indicado para o ensino sobre a segunda lei de Newton e o movimento bidimensional. Bezerra Júnior et al. (2012) afirmam que o baixo custo associado à aplicação do software e seu desempenho constituem uma grande possibilidade para o ensino de Física. Estes trabalhos apresentam algumas possibilidades que o software Tracker oferece ao ensino de Física, sendo importante salientar que a aplicação do mesmo não se restringe apenas a esta área, podendo ser aplicado a outras áreas de ensino conforme a criatividade do professor.

## Proposta didática

A sequência didática proposta neste trabalho tem como intuito o estudo dos conceitos sobre o movimento de queda dos corpos e foi organizada em quatro etapas. A primeira foi destinada à avaliação do conhecimento prévio dos estudantes sobre o tema, por meio da realização de um pré-teste (Quadro 1). O mesmo conjunto de questões foi apresentado em um pós-teste, ao término da sequência, com o objetivo de inferir se houve evolução no conhecimento dos alunos em virtude da realização da atividade. Os alunos foram orientados quanto à finalidade desta avaliação, a qual

constituiu um instrumento de coleta de dados para a pesquisa, bem como a não obrigatoriedade de participação da mesma.

**Quadro 1.** Questões apresentadas no pré-teste. Fonte: Elaborado pelos autores.

Questão	Conceito físico avaliado
<p>1. Considerando a queda de um corpo, a posição vertical do mesmo em função do tempo é representada pelo gráfico:</p> 	<p>Comportamento da posição vertical do objeto em função do tempo.</p>
<p>2. Ainda em relação à queda de um corpo, a velocidade do mesmo em função do tempo é representada adequadamente pelo gráfico:</p> 	<p>Comportamento da velocidade do objeto em função do tempo.</p>

<p>3. Um corpo é abandonado (parte do repouso) do alto de um edifício e gasta 3,0 s para chegar ao solo. Considere a resistência do ar desprezível e <math>g = 10 \text{ m/s}^2</math>.</p> <p>a. Qual é a altura do edifício?</p> <p>b. Qual é a velocidade com que o corpo atinge o solo?</p>	<p>Aplicações de equações da cinemática, com aceleração constante, ao movimento de queda.</p>
<p>4. Quanto à queda livre de corpos no vácuo, assinale o que for verdadeiro:</p> <p>( ) Corpos com massas diferentes caem com a mesma aceleração.</p> <p>( ) O tempo de queda de um corpo depende de sua massa.</p>	<p>Aceleração no movimento de queda.</p>

Após o pré-teste, iniciou-se a segunda etapa da sequência que consistiu em uma aula expositiva dialogada. Utilizando imagens e perguntas estratégicas, o professor buscou estabelecer um ambiente favorável ao diálogo com os alunos, apresentando a evolução histórica relativa ao entendimento sobre o movimento de queda dos corpos e tentando resgatar conhecimentos que os estudantes já possuíam sobre o Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) e sobre o Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV).

Dias, Santos & Souza (2004) apontam que a História da Ciência pode atuar como organizador prévio, elemento da Teoria da Aprendizagem Significativa que estabelece uma ponte entre o novo conhecimento e os subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aluno. Além disso, o entendimento acerca da evolução do pensamento científico pode criar um ambiente de fascínio e curiosidade, capaz de conduzir o aluno a um interesse maior em relação ao tema estudado. Com base nesta conjuntura, foram apresentados elementos históricos relativos ao entendimento aristotélico sobre a queda dos corpos, à contribuição de William of Ockham e contemporâneos (século XIV) ao início do desenvolvimento da cinemática, ao trabalho de Galileu Galilei – o qual inferiu que no vácuo todos os corpos caíam com a mesma aceleração – e ao trabalho de Isaac Newton que, por meio da teoria da Gravitação, explicou a causa do movimento de queda dos corpos (Dias, Santos & Souza, 2004).

Os conceitos relativos ao MRUV podem atuar como subsunçores no estudo do movimento de queda dos corpos. Neste contexto, o MRUV inicialmente estudado na direção horizontal (subsunçor original) pode ser estabelecido na direção vertical (subsunçor mais amplo), modificando e ampliando o subsunçor original, deixando-o mais completo. Tal fato caracteriza uma transferência de conteúdos, uma vez que não se faz necessário aprender novamente todos os conceitos específicos do movimento, caracterizando assim a transferência destes conceitos para um contexto diferente do inicialmente estudado.

A terceira etapa da sequência foi destinada à realização do experimento intermediado pelo software Tracker. Sob a orientação do professor, a turma filmou o movimento de queda de uma bola de tênis, solta de uma altura inicial de 1,0000 m a partir do repouso (velocidade inicial nula). O arquivo de vídeo obtido foi analisado pelos alunos no software Tracker (Figura 2), permitindo o estudo detalhado do movimento por meio da identificação da posição do objeto em cada quadro do vídeo.

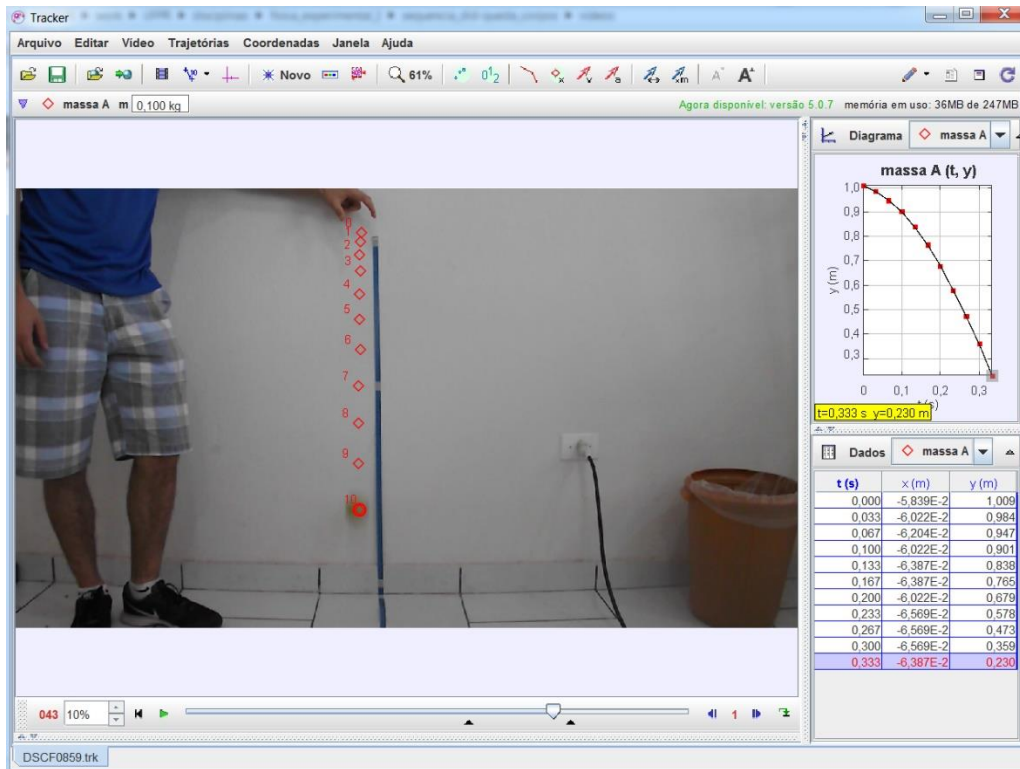


Figura 2. Vídeo análise do movimento de queda de uma bola de tênis. Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir dos pontos experimentais obtidos, foram elaborados os gráficos de posição vertical em função do tempo (Figura 2) e velocidade em função do tempo (Figura 3). Utilizando a funcionalidade de modelagem matemática do software, os estudantes puderam verificar que o comportamento da posição vertical em função do tempo pode ser descrito matematicamente por meio de uma função quadrática, enquanto que o comportamento da velocidade em função do tempo é descrito por uma função linear. Considerando o modelo linear utilizado, determinou-se o valor da aceleração na queda da bola de tênis, obtendo-se valores em torno de  $10 \text{ m/s}^2$ .

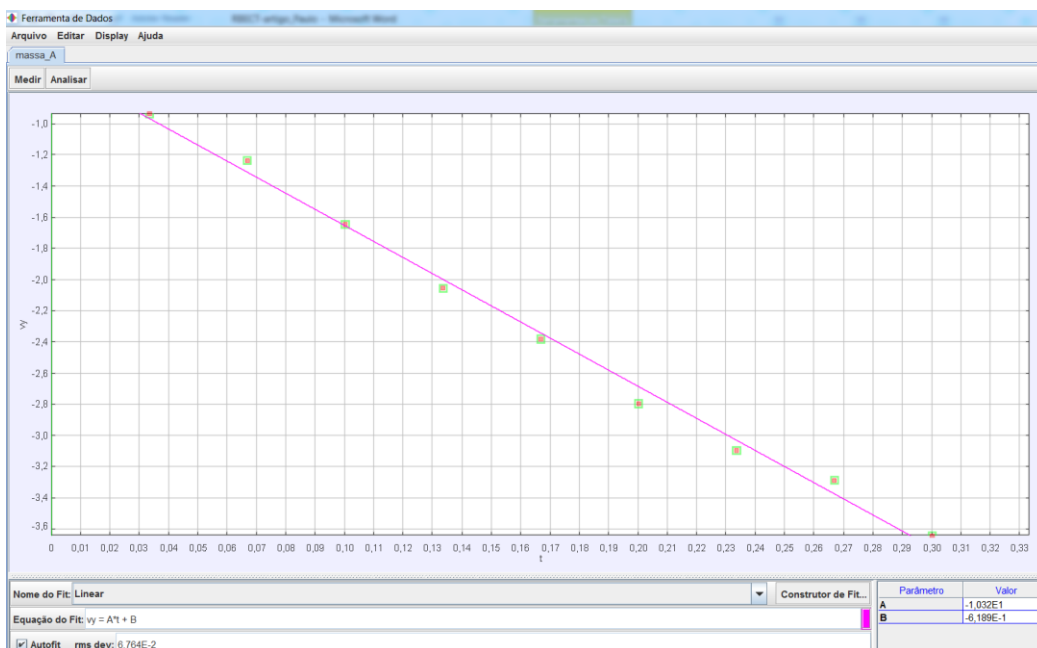


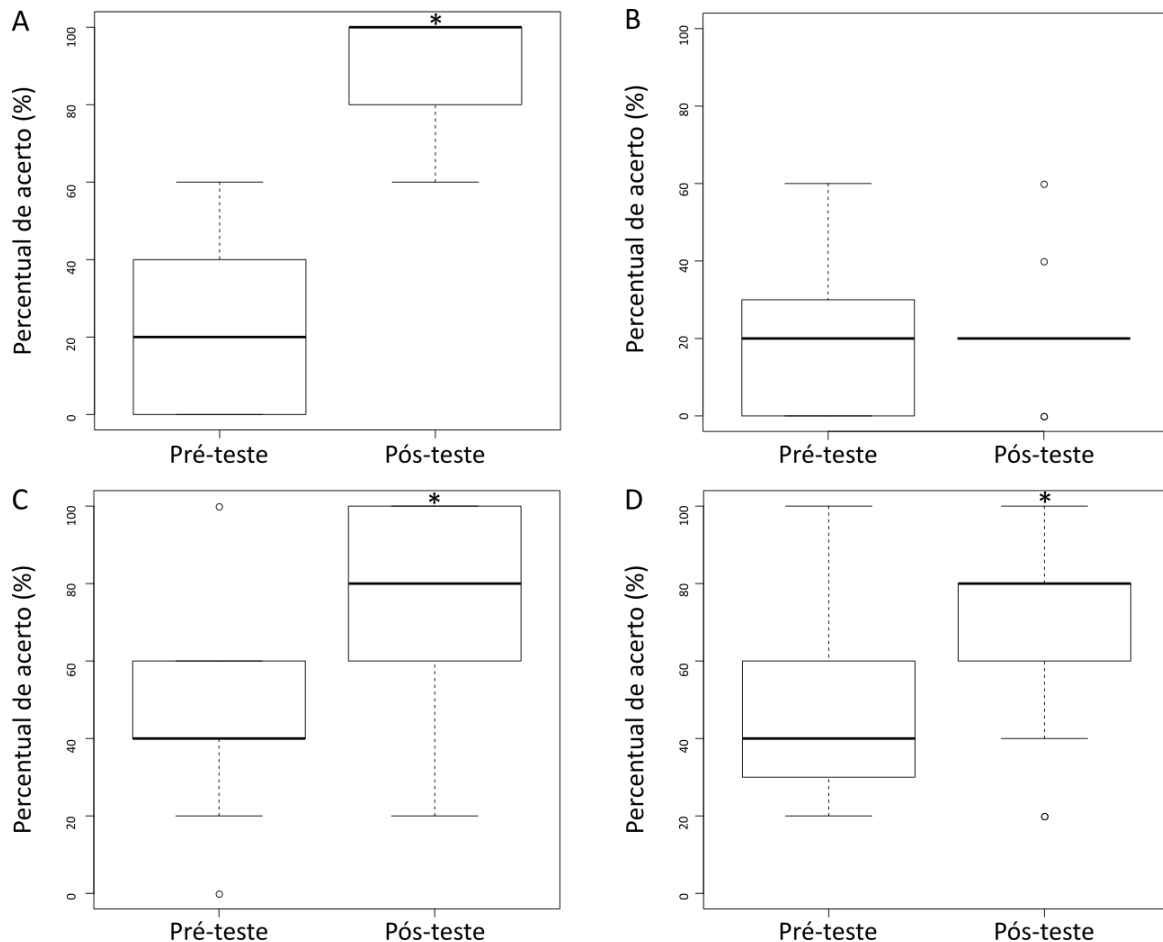
Figura 3. Velocidade do corpo em queda em função do tempo. Fonte: Elaborada pelos autores.

Após o término da realização, análise e discussão do experimento, iniciou-se a quarta e última etapa da sequência. Nesta os alunos foram convidados a responder o pós-teste, instrumento de coleta de dados constituído pelas mesmas questões do pré-teste (Quadro 1). De acordo com o que foi citado anteriormente, o emprego desta abordagem tem por objetivo investigar se a sequência didática pôde contribuir no aprendizado dos alunos.

### Intervenção pedagógica: resultados e discussão

A sequência didática foi aplicada em duas turmas do Ensino Médio da rede pública de ensino do Estado do Paraná, doravante denominadas EM1 e EM2, nas aulas regulares da disciplina de Física. A sequência foi realizada também com duas turmas do Ensino Superior de uma universidade pública, sendo uma turma do curso de Engenharia Agrícola (EAG) e uma turma do curso de Engenharia de Alimentos (EAL), na disciplina de Física Experimental. Todas as intervenções foram realizadas no ano de 2018.

Em uma primeira análise mais geral, a comparação da distribuição de notas no pré-teste com a distribuição de notas no pós-teste (Figura 4) indicou que os alunos obtiveram notas mais elevadas após a realização da sequência, exceto para a turma EM2 (Figura 4 – B), o que sugere que a proposta didática possa ter contribuído na evolução dos conhecimentos dos estudantes sobre o tema abordado.



**Figura 4.** Box plot da distribuição de notas no pré-teste e pós-teste para a turma EM1 (A), para a turma EM2 (B), para a turma EAG (C) e para a turma EAL (D). Distribuições de notas no pós-teste indicadas com \* apresentam diferença estatística significativa quando comparadas à distribuição do pré-teste ( $p$ -valor < 0,006 no teste de Wilcoxon pareado).

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em relação às turmas do Ensino Médio, era esperado que os resultados verificados no pós-teste fossem significativamente melhores, uma vez que os alunos ainda não haviam estudado



formalmente o conteúdo relacionado à queda dos corpos. No entanto, tal fato não foi verificado na turma EM2 (Figura 4 – B), em que 11 alunos responderam o pré-teste e o pós-teste (Tabela 1), contribuindo para este estudo. Esta é uma turma regular do primeiro ano do Ensino Médio em que grande parte dos alunos não manifestou interesse e/ou comprometimento com as atividades realizadas em sala, comportamento também observado por professores de outras disciplinas. É possível que a falta de engajamento dos alunos na realização da atividade – observada pelo professor durante a sequência – tenha influenciado os resultados obtidos.

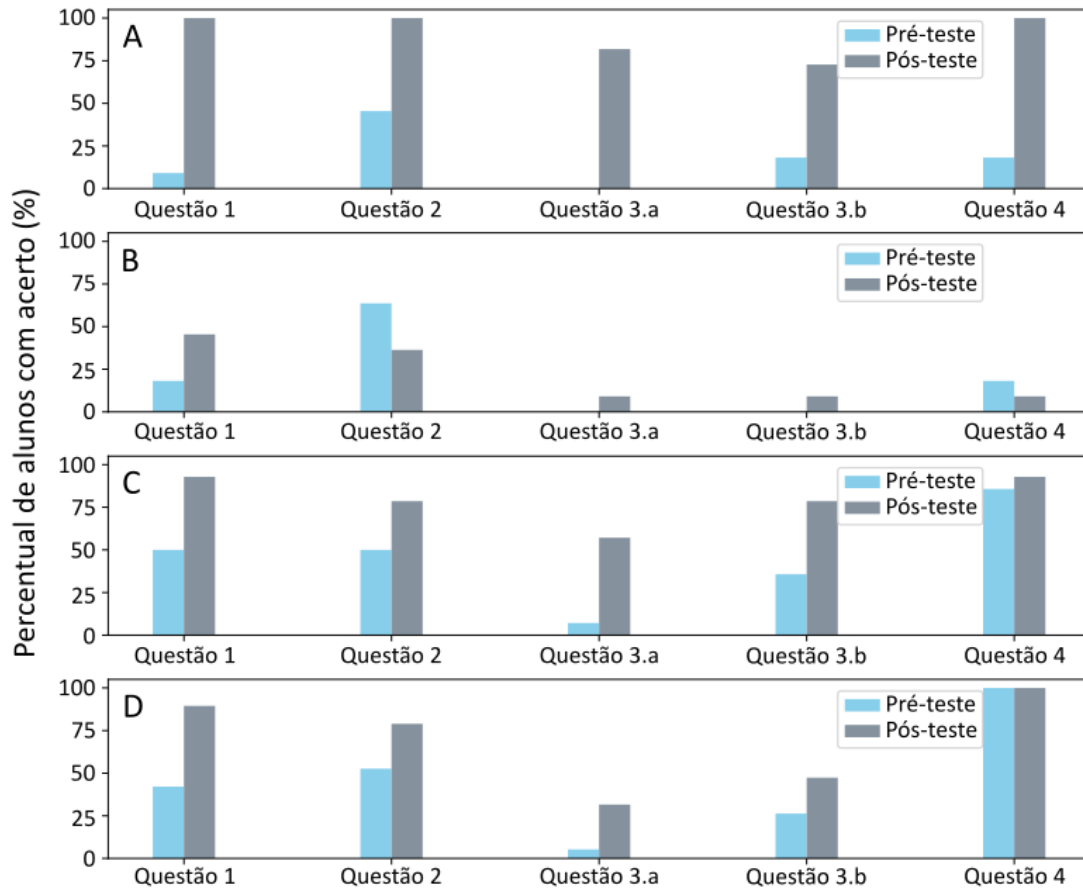
**Tabela 1.** Dados relativos à realização da sequência didática em cada turma. Fonte: Elaborada pelos autores.

Turma	Número de alunos participantes	Tempo destinado à realização da sequência (horas-aula)
EM1	11	2
EM2	11	4
EAG	14	2
EAL	19	2

A turma EM1, ao contrário, apresentou resultados significativamente melhores no pós-teste (Figura 4 – A), o que sugere que a proposta didática contribuiu para o aprimoramento do conhecimento destes alunos. Esta é uma turma regular do terceiro ano do Magistério (formação de professores) em que os alunos, como futuros professores, se empenham ao máximo em todas as disciplinas do currículo escolar. Apesar de o tempo destinado à sequência nesta turma ter sido menor quando comparado ao tempo destinado à atividade na turma EM2 (Tabela 1), os resultados verificados foram melhores, o que corrobora a ideia de que o comprometimento dos estudantes com o processo de aprendizagem é fundamental.

Em relação às turmas dos cursos de engenharia, percebe-se um grau mais elevado no tocante ao conhecimento prévio dos alunos (mediana em 40% de acerto) quando comparado ao conhecimento prévio demonstrado pelos alunos do Ensino Médio (mediana em 20% de acerto), mas ainda deficiente ao considerar-se o fato de que estes alunos já haviam cursado a disciplina de Física I na graduação, em que são abordados os conceitos relativos à queda dos corpos. Para ambas as turmas (Figura 4 – C e D) foi possível observar uma tendência de aumento no percentual de acerto após a realização da sequência, o que permite inferir que esta proposta didática pode ter contribuído na consolidação dos conhecimentos.

A vídeo análise do movimento de queda de um objeto, aliada à modelagem matemática dos dados experimentais, possibilita a compreensão do comportamento da posição vertical do objeto em função do tempo (Figura 2). Neste sentido, a Questão 1 (Quadro 1) apresentada no pré-teste e no pós-teste foi proposta com o objetivo de avaliar se o uso desta estratégia poderia contribuir no aprendizado relativo a este conceito. Comparando-se o percentual de alunos com acerto no pré-teste e no pós-teste (Figura 5), é possível perceber uma evolução positiva após a realização da sequência para as quatro turmas, sendo interessante ressaltar que na turma EM1 100% dos alunos responderam a questão corretamente no pós-teste e nas turmas EAG e EAL este índice ficou em torno de 90%. Este resultado corrobora achados na literatura, segundo os quais atividades de ensino que se assemelham a atividades de pesquisa – possibilitando aos alunos um ambiente de observação do fenômeno sob estudo e reflexão crítica – favorecem o aprendizado (Christian, Esquembre & Barbato, 2011; Teodoro & Neves, 2011). Neste sentido, reforça-se o grande potencial de aplicação do software Tracker no ensino de Física.



**Figura 5.** Comparação do percentual de alunos com acerto, em cada uma das questões apresentadas no pré-teste e no pós-teste, para a turma EM1 (A), EM2 (B), EAG (C) e EAL (D). Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir dos dados relativos à posição do objeto em função do tempo, o software Tracker determina a velocidade do objeto. A modelagem matemática dos dados experimentais permitiu aos alunos a observação de que a velocidade varia linearmente com o tempo para o objeto em queda (Figura 3), bem como a estimativa do valor da aceleração gravitacional – com valores próximos ao teórico de  $10 \text{ m/s}^2$  (desvio percentual<sup>1</sup> máximo verificado ficou abaixo de 5%). A Questão 2 (Quadro 1) objetivava avaliar se a sequência didática poderia contribuir no aprendizado relativo a este conceito. Neste sentido, foi possível observar uma evolução positiva para as turmas EM1, EAG e EAL (Figura 5 – A, C e D); a turma EM2 (Figura 5 – B), ao contrário, apresentou um declínio no percentual de alunos com acerto após a realização da sequência.

Os itens a e b da Questão 3 (Quadro 1) foram propostos com o objetivo de investigar se os conceitos explorados na atividade experimental, acerca da descrição matemática do comportamento da posição vertical e velocidade em função do tempo, haviam sido úteis para o aprendizado das equações da cinemática aplicáveis ao movimento de queda dos corpos. Em outras palavras, buscou-se entender se a atividade realizada proporcionou aos alunos a compreensão do significado físico dos parâmetros das equações que descrevem este movimento, a exemplo da altura inicial, velocidade inicial e aceleração. Percebe-se uma evolução positiva no percentual de alunos com acerto após a realização da sequência para as turmas participantes do estudo (Figura 5), o que sugere que a atividade possa ter contribuído na aprendizagem significativa destes conceitos.

A Questão 4 (Quadro 1) foi elaborada com o intuito de avaliar o conhecimento relativo às forças que atuam sobre um corpo no movimento de queda, uma vez que a força resultante determina

<sup>1</sup> O desvio percentual ( $d_{\%}$ ) é calculado a partir da equação  $d_{\%} = \left| \frac{v_t - v_e}{v_t} \right| * 100$ , em que  $v_t$  corresponde ao valor teórico da aceleração gravitacional e  $v_e$  o valor experimental encontrado para esta grandeza no experimento.

a aceleração e, conseqüentemente, o tempo de queda. Em nossa experiência diária verificamos que uma pena, quando liberada da mesma altura de uma pedra, leva um tempo maior para atingir o chão. Observações desta natureza podem conduzir os estudantes à ideia errônea de que este comportamento será sempre verdadeiro, mesmo na condição de vácuo. Deste modo, na segunda etapa da sequência didática, foram apresentados aspectos históricos relacionados ao entendimento do movimento de queda dos corpos, desde os conceitos aristotélicos até os conceitos aceitos atualmente. Esta abordagem permitiu a discussão sobre as forças que atuam sobre o corpo em queda, incluindo o efeito da força de resistência do ar no movimento, o que conduz ao fato de que alguns objetos podem apresentar um tempo maior de queda; na situação de vácuo – em que inexiste a força de resistência do ar – todos os corpos apresentam a mesma aceleração e o mesmo tempo de queda, independentemente de sua massa e forma. Analisando o percentual de estudantes com acerto na Questão 4, percebe-se que os alunos das turmas EAG e EAL (Figura 5 – C e D) já estavam familiarizados com estes conceitos. Em relação às turmas do Ensino Médio, a turma EM1 apresentou uma evolução positiva no percentual de alunos com acerto após a realização da sequência, com 100% dos alunos com acerto na questão no pós-teste (Figura 5 – A); a turma EM2, ao contrário, apresentou redução no percentual de acerto (Figura 5 – B).

Em termos gerais, os resultados obtidos sugerem que a sequência didática contribuiu para o aprendizado dos alunos. Os resultados não foram tão promissores na turma EM2, o que reforça o entendimento de que o comprometimento dos estudantes é fundamental para o sucesso de qualquer abordagem de ensino. Nas demais turmas foi possível observar que os alunos mostraram-se interessados e engajados nas atividades da sequência, o que indica a relevância de atividades híbridas – experimentais e computacionais – para a motivação dos alunos ao estudo de Ciências.

### **Considerações finais**

Um aspecto relevante que se faz presente na área de Ensino de Física relaciona-se ao desenvolvimento de propostas didáticas que despertem nos alunos o interesse pela disciplina. A sequência didática proposta neste trabalho mostrou-se efetiva para a motivação ao estudo do movimento de queda dos corpos em três das quatro turmas que participaram do estudo, motivação esta notória no engajamento dos estudantes das turmas EM1, EAG e EAL no decorrer da realização das atividades. Em termos quantitativos, a comparação dos resultados obtidos no pré-teste com os resultados obtidos no pós-teste mostrou uma evolução positiva no percentual de acerto para as duas turmas do Ensino Superior e uma turma do Ensino Médio. Estes resultados sugerem que a observação minuciosa do movimento de queda de um corpo mediada pelo software Tracker, aliada à exploração dos modelos matemáticos que descrevem o movimento, pode ter contribuído para a aprendizagem dos conceitos em uma abordagem interdisciplinar. Em relação à turma EM2, em que se observou falta de engajamento dos estudantes com as atividades desenvolvidas, os resultados foram menos promissores. Este fato reitera o entendimento de que o envolvimento dos estudantes é essencial para o sucesso de qualquer abordagem didática.

Conjuntamente, os resultados obtidos neste estudo corroboram apontamentos encontrados na literatura, segundo os quais atividades experimentais articuladas com atividades computacionais – de modo a conduzir o estudante à observação e análise crítica do objeto de estudo em uma conduta similar à verificada em atividades de pesquisa – favorecem o aprendizado. Ainda neste contexto, reitera-se o potencial do software Tracker na composição de atividades desta natureza, principalmente na área de Ensino de Física. É interessante notar que a abordagem utilizada neste trabalho mostrou-se promissora no âmbito do Ensino Médio e do Ensino Superior, podendo ser facilmente replicada, uma vez que não exige aporte financeiro em instituições com disponibilidade de computadores para fins didáticos.

**REFERÊNCIAS**

- Abdulwahed, M. & Nagy, Z. K. (2011). The TriLab, a novel ICT based triple access mode laboratory education model. *Computer & Education*, 56 (1), 262-274.
- Ausubel, D. P. (2000). *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Bezerra Júnior, A. G.; Oliveira, L. P.; Lenz, J. A.; Saavedra, N. (2012). Videoanálise com o software livre Tracker no laboratório didático de Física: movimento parabólico e segunda lei de Newton. *Caderno Brasileiro do Ensino de Física*, 29 (1), 469-490.
- Christian, W.; Esquembre, F. & Barbato, L. (2011). Open Source Physics. *Science*, 334 (6059), 1077-1078.
- Dias, P. M. C.; Santos, W. M. S. & Souza, M. T. M. (2004). A Gravitação Universal: um texto para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26 (3), 257-271.
- Dorneles, P. F. T.; Araujo, I. S. & Veit, E. A. (2012). Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral. *Ciência & Educação*, 18 (1), 99-122.
- Fossile, D. K. (2010). Construtivismo versus sócio-interacionismo: uma introdução às teorias cognitivas. *Alpha*, 11, 105-117.
- Gaspar, A. & Monteiro, I. C. de C. (2005). Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. *Investigação em Ensino de Ciências*, 10 (2), 227-254.
- Lenz, J. A.; Saavedra Filho, N. C. & Bezerra Júnior, A. G. (2014). Utilização de TIC para o estudo do movimento: alguns experimentos didáticos com o software Tracker. *Abakós*, 2 (2), 24-34.
- Magarinus, R.; Buligon, L.; Martins, M. M. (2014). Uma proposta para a introdução do ensino de funções através da utilização do programa Tracker. *Ciência e Natura*, 37, 481-498.
- Martins, M. M.; Recchi, A. M. S.; Ledur, C. M.; Dugato, D. A. (2013) Proposta de ensino interdisciplinar de Química e Ciências com o Software OSP Tracker. In: *Encontro de Debates sobre o Ensino de Química*, 33, Ijuí: Unijuí.
- Moreira, M. A. (2016). *Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: A Teoria da Aprendizagem Significativa*. Porto Alegre.
- Mortimer, E. F. (1996). Construtivismo, mudança conceitual e ensino de Ciências para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, 1 (1), 20-39.
- Polese, N. C. (2012). Aprendizagem infantil através do Construtivismo: ensinar e aprender. *Espaço Acadêmico*, 12 (134), 89-96.
- Sarabando, C.; Cravino, J. P. & Soares, A. A. (2014). Contribution of a computer simulation to students' learning of the physics concepts of weight and mass. *Procedia Technology*, 13, 112-121.
- Suart, R. C. & Marcondes, M. E. R. (2008). As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em uma atividade experimental investigativa. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 8 (2).

- Tavares, R. (2008). Aprendizagem significativa e o ensino de ciências. *Ciências & Cognição*, 13 (1), 94-100.
- Teodoro, V. D. & Neves, R. G. (2011). Mathematical modelling in Science and mathematics education. *Computer Physics Communications*, 182 (1), 8-10.
- Wee, L. K.; Chew, C.; Goh, G. H.; Tan, S.; Lee, T. L. (2012). Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion. *Physics Education*, 47 (4), 448-455.
- Wee, L. K.; Tan, K. K.; Leong, T. K.; Tan, C. (2015). Using Tracker to understand ‘toss up’ and free fall motion: a case study. *Physics Education*, 50 (4), 436-442.