

Um simulador virtual para o estudo do efeito da resistência atmosférica na queda dos corpos no ensino médio

RESUMO

Antonio Augusto Soares
aasoares@ufscar.br
orcid.org/0000-0002-2728-124X
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Sorocaba, São Paulo, Brasil.

José Antonio de Almeida Silva
jose.almeida@estudante.ufscar.br
orcid.org/0009-0004-0117-0260
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Sorocaba, São Paulo, Brasil.

Para se alinhar com o dia a dia da sociedade moderna, o ensino de física tem demandado o desenvolvimento de objetos de ensino de cunho tecnológico para aplicações no contexto da sala de aula. Ferramentas dessa natureza, além de propiciar um ensino mais contextualizado, podem contribuir para que diferentes temas sejam abordados de uma forma mais realista, complementando situações usualmente tratadas de forma idealizadas. Nesse trabalho apresentamos e discutimos um simulador desenvolvido em C# para o estudo da cinemática da queda dos corpos. A utilização do simulador permite abordagens onde a resistência atmosférica, recorrentemente desprezada nos livros textos, pode ser considerada, dando aos estudantes a oportunidade de compreender como isso afeta o movimento dos corpos. O simulador é de fácil utilização e permite explorar através de animação, tabelas e gráficos o movimento de queda de um corpo próximo à superfície dos planetas rochosos e da Lua, onde são simuladas as condições atmosféricas e gravitacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Cinemática. Simulador virtual. Aceleração da gravidade. Resistência Atmosférica.

INTRODUÇÃO

As Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) evoluíram a passos largos nos últimos anos, entregando para a sociedade um amplo conjunto de itens que, quando bem aplicados, têm o potencial de contribuir para a melhora da qualidade de vida das pessoas. Processadores mais rápidos, novas linguagens de programação (algumas delas acessíveis sem a necessidade de profundos conhecimentos quanto à programação), internet rápida e acessível a uma faixa mais ampla da sociedade, smartphones, dentre outros, deram origem a uma sociedade da informação, com as pessoas sempre conectadas durante as mais variadas ações do dia a dia.

Em qualquer área e nível de ensino, isso não pode ser diferente. Deve ser demanda da sociedade que o ensino e a aprendizagem dos mais diversos temas ocorram através da aplicação, sempre que possível, de adequados elementos tecnológicos relacionados às TDIC. No ensino de física, especificamente, essa demanda deve ser ainda mais marcante visto que, em boa medida, tais tecnologias são advindas das descobertas e desenvolvimentos promovidos pela própria física. Desta forma, no ensino de física, algumas abordagens metodológicas precisam ser repensadas e reconfiguradas com o objetivo de integrar metodologias e materiais que se alinhem à realidade dos estudantes dos dias atuais (Franco, 2022). As aulas de física devem ter um caráter inovador, motivador, acolhedor e que permita abordagens problemáticas que levem a uma aprendizagem significativa e crítica em relação ao conhecimento (Battistel; Holz; Sauerwein, 2022).

Simulações virtuais são ferramentas tecnológicas que permitem o estudo e aprendizado de fenômenos físicos a partir de situações interativas, onde os estudantes podem controlar alguns parâmetros relacionados ao modelo que descreve o fenômeno (Costa *et al.*, 2021). Ao controlar esses parâmetros é obtida a variabilidade de situações, permitindo uma análise mais completa acerca da influência de cada variável envolvida.

Simuladores virtuais para o ensino de física devem apresentar semelhança fenomenológica em relação àquilo que ocorre na natureza, descrevendo os fenômenos físicos de forma verossímil (Silva; Lopes, 2023). Deve contribuir para que os estudantes compreendam fenômenos físicos de diferentes naturezas, principalmente aqueles mais abstratos, sempre buscando dar retorno visual imediato às alterações dos parâmetros. Por exemplo, Banda e Nzabahimana (2023) observaram que o uso de simuladores virtuais aumenta a motivação, levando a um melhor rendimento acadêmico dos estudantes. Apontam ainda que um dos elementos responsáveis para isso é a visualização do fenômeno físico, possibilitada pelo uso dos simuladores.

Do ponto de vista do professor, o uso de simulador pode contribuir para um melhor aproveitamento do tempo de aula uma vez que traz em si uma série de representações que, ao contrário, precisariam ser desenhadas repetidas vezes na lousa. Além disso, a possibilidade de manipulação de diferentes variáveis permite que hipóteses possam ser levantadas e testadas em uma escala de tempo diferente do real (Rutten; Joolingen; Veen, 2012).

Também pode atuar como elemento gerador de contexto, ajudando o professor a construir a fenomenologia de um dado tema. Além disso, pode fornecer uma ilustração dinâmica de um dado fenômeno, contribuindo para

melhor compreensão dos estudantes ou como alternativa a atividades experimentais não acessíveis. Por exemplo, Vargas Júnior, Cunha e Marques (2023) desenvolveram, utilizando a linguagem C, uma simulação virtual do arco-íris que permite ao professor apresentar e discutir junto a seus estudantes, dentre outros, o fato de os ângulos de espalhamento no interior da gota d'água ser diferente para cores diferentes e a existência da faixa escura de Alexandre, localizada entre os arco-íris primário e secundário.

Buscando contribuir com o tema, nesse trabalho apresentamos um simulador virtual para o estudo da queda dos corpos considerando diferentes valores para o módulo da aceleração da gravidade e incluindo os efeitos da resistência atmosférica. O simulador¹ foi desenvolvido usando a linguagem de programação C# (C Sharp) para o sistema Windows e pode ser utilizado no Ensino Médio (EM) no contexto das aulas onde o professor tratará da cinemática da queda dos corpos.

QUEDA DOS CORPOS E RESISTÊNCIA ATMOSFÉRICA

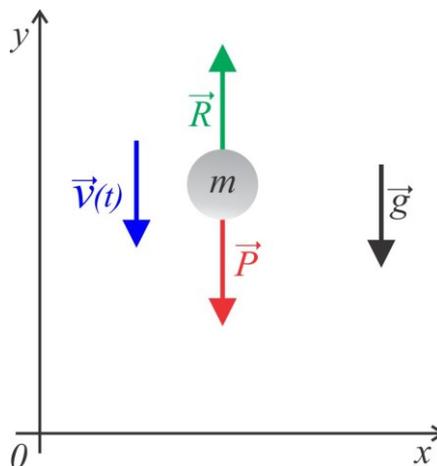
Para o desenvolvimento do simulador aqui apresentado, partimos de um estudo da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018). A BNCC é um documento educacional que define os aprendizados essenciais que todos os estudantes têm o direito de desenvolver ao longo de sua trajetória na educação básica brasileira. Esse documento define, em sua Competência Específica 2, que no EM deve ocorrer o estudo da dinâmica da Terra e do Cosmos, permitindo a compreensão do funcionamento e da evolução do universo.

Dentro dessa competência, a habilidade EM13CNT201 indica que os estudantes deverão ser capazes de tratar de modelos, teorias e leis que permitam comparar a evolução do planeta Terra e do Universo. Já a habilidade EM13CNT204 preconiza que os estudantes deverão aprender a elaborar explicações e cálculos a respeito do movimento de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo, pautados pela análise das interações gravitacionais indicando, explicitamente, a possibilidade do uso de simuladores virtuais.

Desta forma, o simulador foi desenvolvido com o objetivo de contribuir com o ensino e o aprendizado do tema da queda dos corpos nas proximidades de um dado planeta, buscando uma abordagem mais contextualizada ao se considerar diferentes valores para o módulo da aceleração gravitacional e o efeito da resistência atmosférica. Além disso, sua mecânica e a apresentação das informações na tela foram elaboradas de forma que o usuário possa facilmente configurar os parâmetros e condições na qual a simulação ocorre, levando a uma variabilidade de situações. Além disso, permite explorar e comparar situações onde a resistência atmosférica não é considerada com aquela na qual é considerada. Em relação ao movimento de queda com resistência, buscou-se construir um simulador que permita um caráter mais realista em relação a esse tipo de movimento.

A figura 1 ilustra um sistema de coordenadas cartesianas bidimensional em um instante de tempo t , sendo o eixo x paralelo ao solo. Nesse instante, o corpo de massa m que partiu do repouso ($v(0) = 0$) de uma altura $y(0) = y_0$ cai com uma velocidade $\vec{v}(t)$ devido à ação do campo gravitacional local \vec{g} . Na figura estão representados os vetores força peso (\vec{P}) e força de resistência do ar (\vec{R}).

Figura 1 – Representação esquemática de um corpo de massa m que cai devido à força peso (\vec{P}) e sob a ação de uma força de resistência do ar (\vec{R}).



Fonte: Autoria própria (2023).

Aqui consideramos a força de resistência do ar proporcional à velocidade e dada por (Freire *et al.*, 2016):

$$R = -bv, \quad (1)$$

onde $b = \frac{1}{2}C\rho A > 0$, sendo C o coeficiente de arrasto, dependente da geometria do corpo, ρ é a densidade do fluido onde o corpo se move e A é a área de seção transversal do corpo.

Nas condições indicadas na figura 1, a força resultante que atua sobre o corpo é dada pela diferença entre a força peso e a força de resistência do ar. Assim, aplicando a segunda lei de Newton, a equação do movimento pode ser escrita como:

$$mg - bv = m \frac{dv}{dt}. \quad (2)$$

Considerando as condições iniciais anteriormente descritas, a solução da equação diferencial (2) leva à equação horária das velocidades dada por:

$$v(t) = \frac{g}{\beta}(e^{-\beta t} - 1), \quad (3)$$

onde $\beta = b/m$. Como é possível verificar, na presença de resistência atmosférica, o corpo atinge uma velocidade limite v_{lim} que pode ser obtida tomando-se o limite de $v(t)$ quando $t \rightarrow \infty$. O módulo dessa velocidade limite é dada por:

$$v_{lim} = \frac{g}{\beta}. \quad (4)$$

Considerando que o corpo cai a partir de uma altura y_0 e integrando a equação (3) no tempo, obtemos a equação horária das posições verticais dada por:

$$y(t) = y_0 - \frac{g}{\beta}t + \frac{g}{\beta^2}(1 - e^{-\beta t}).$$

Para que as equações (3) e (5) sejam reduzidas à condição onde a resistência do ar é desprezível, é necessário tomarmos o limite de cada uma das equações horárias quando β tende a zero. Para tanto, expandimos o termo exponencial em uma série de Taylor, isto é:

$$e^{-\beta t} = 1 - \beta t + \frac{(\beta t)^2}{2} - \frac{(\beta t)^3}{6} + \dots, \quad (6)$$

que substituída em (3) e (5) e tomando o limite em que $\beta \rightarrow 0$, retorna as equações horárias para a velocidade vertical e a altura de um corpo que cai exclusivamente sob a ação da força peso, tal como discutido na maioria dos livros texto utilizados no EM.

No simulador são usados como corpo de prova uma bola de futebol, uma folha de papel retangular (formato A4) e essa mesma folha de papel amassada no formato de uma bola cujos parâmetros podem ser visualizados na tabela 1.

O valor do coeficiente de arrasto para a bola foi estimado a partir do estudo realizado por Asai e Seo (2013). Por sua vez, para a folha de papel (densidade igual a 75 g/m^2) estimamos os valores dos coeficientes tomando como referência o trabalho de Mohammed e seus colaboradores (2016).

Tabela 1: Parâmetros dos corpos de prova utilizados no simulador.

Corpo	C	A (m^2)	m (kg)
Bola	0,45	0,03899	0,45
Papel	1,17	0,06237	$4,68 \times 10^{-3}$
Papel amassado	0,80	$1,34 \times 10^{-3}$	$4,68 \times 10^{-3}$

Fonte: Autoria própria (2023).

Como os efeitos da resistência atmosférica no movimento dos corpos dependem da gravidade local e da densidade atmosférica, organizamos e apresentamos na tabela 2 as propriedades físicas e o parâmetro β dos 4 planetas rochosos bem como da Lua. Esses valores são aplicados às equações (3) e (5) que regem parte do funcionamento do simulador.

Tabela 2 – Parâmetro β para cada um dos corpos de prova utilizados no simulador associado às características de cada um dos planetas rochosos e da Lua.

Astro	g (m/s ²)	ρ (kg/m ³)	Corpo	β (kg/m ²)
Mercúrio	3,70	0,00	Bola	0,00
			Papel	0,00
			Papel amassado	0,00
Vênus	8,87	64,80	Bola	1,26
			Papel	$5,05 \times 10^2$
			Papel amassado	7,42
Terra	9,81	1,23	Bola	$2,40 \times 10^{-1}$
			Papel	9,59
			Papel amassado	$1,41 \times 10^{-1}$
Lua	1,62	0,00	Bola	0,00
			Papel	0,00
			Papel amassado	0,00
Marte	3,71	0,02	Bola	$3,90 \times 10^{-4}$
			Papel	$1,56 \times 10^{-1}$
			Papel amassado	$2,29 \times 10^{-3}$

Fonte: Autoria própria (2023).

As densidades da atmosfera na superfície de cada astro indicadas na tabela 2 foram obtidas de: Mercúrio (Jasinski *et al.*, 2020), Vênus e Terra (Justus; Braun, 2007), Lua (Halekas *et al.*, 2018) e Marte (Gray, 2014). Por outro lado, os valores para aceleração da gravidade dos astros considerados são facilmente encontrados em livros textos do EM e na internet.

Como pode ser observado da tabela 2, o parâmetro β para o papel aberto em Vênus é bastante elevado, fazendo com que o tempo de queda seja grande, mesmo quando solto de alturas pequenas. Por este motivo, o simulador permite apenas o uso da folha de papel amassada em Vênus.

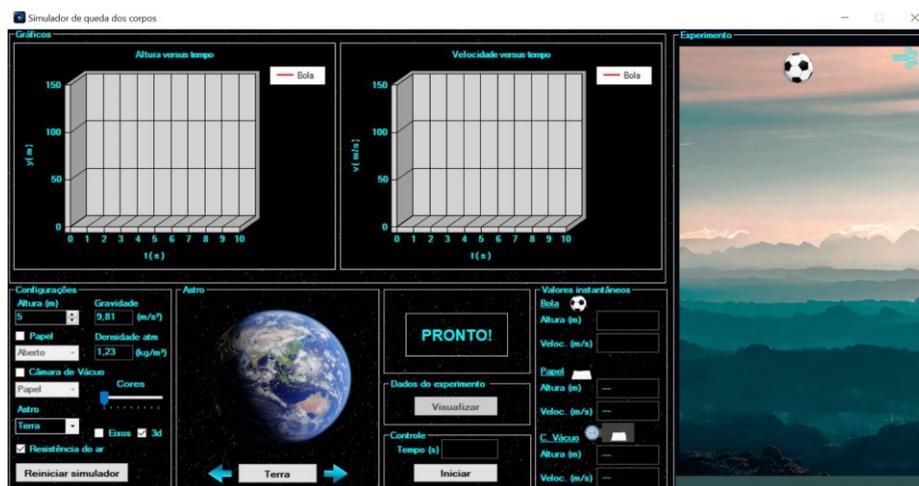
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 2 apresenta a tela inicial do simulador. À direita é mostrada uma bola de futebol colocada na posição inicial de lançamento. É nesse espaço que ocorre a simulação (animação) da queda propriamente dita. No canto inferior esquerdo são mostradas as opções de configuração, dentre elas esta a altura inicial (valor máximo de 5m, assegurando que a bola de futebol fica sempre em regime subcrítico (Asai; Seo, 2013), permitindo o uso dos parâmetros indicados na tabela 1).

Também é possível escolher se uma folha de papel também cairá simultaneamente (aberta ou amassada), se será considerada a presença ou não de resistência atmosférica, se será mostrada uma câmara de vácuo. Por fim, a escolha do astro do sistema solar onde o experimento simulado acontecerá (essa escolha também pode ser feita pela parte central, onde está indicado “Astro”).

Uma vez feitas as configurações, ao clicar no botão “Iniciar” o experimento começa e os valores instantâneos da altura e da velocidade são indicados no quadro “Valores instantâneos”.

Figura 2 – Tela inicial do simulador para estudo da queda dos corpos.

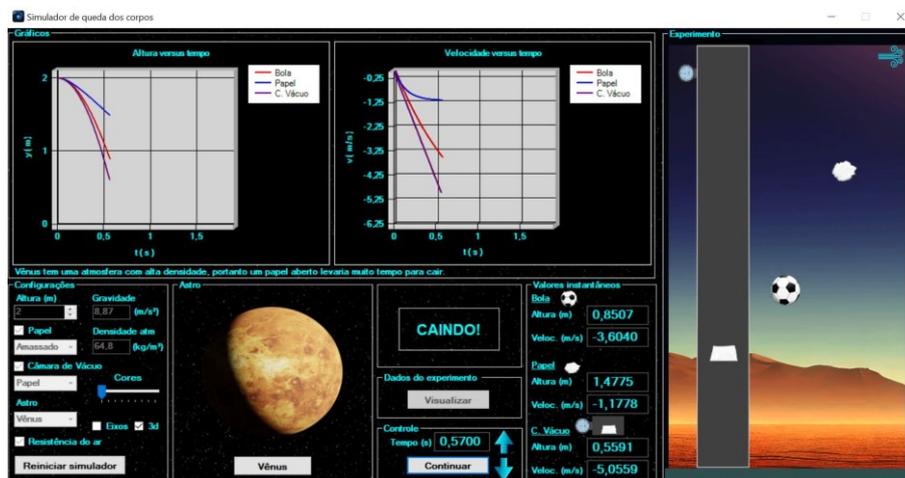


Fonte: Autoria própria (2023).

Outra funcionalidade que auxilia o professor durante o desenvolvimento da aula é a construção em tempo real dos gráficos da altura e da velocidade em função do tempo. Desta forma, os estudantes podem acompanhar a construção e compará-los, inclusive quando dois ou mais corpos diferentes são soltos simultaneamente. Tal funcionalidade pode ser observada na figura 3 que mostra uma situação típica da simulação.

A figura 3 ilustra a situação onde o simulador foi configurado para que o experimento ocorra em Vênus. Como é possível observar, o valor do módulo da aceleração da gravidade é $g = 8,87 \text{ m/s}^2$ e a densidade atmosférica é $\rho = 64,8 \text{ kg/m}^3$. Junto dessas configurações pertinentes ao planeta, o simulador também está configurado para mostrar, além da bola, o comportamento de uma folha de papel amassada e no mesmo ambiente em que a bola se move e uma folha de papel aberta em uma câmara de vácuo.

Figura 3 – Tela inicial do simulador configurado para simular o movimento no planeta Vênus. Nessa simulação está incluída a resistência atmosférica bem como a câmara de vácuo.



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir das configurações ilustradas na figura 3 e com o auxílio dos gráficos que aparecem na parte superior do simulador, o professor pode explorar junto a seus estudantes a diferença entre uma situação mais próxima do real (bola e folha de papel fora da câmara de vácuo) com uma situação tida como ideal, isto é, a folha dentro da câmara de vácuo, portanto não experimentando a resistência da atmosfera. Ainda nessa situação, é possível mostrar os diferentes comportamentos apresentados pela bola e pela folha de papel sujeitos à resistência atmosférica.

No instante ilustrado na figura 3 ($t = 0,57s$) a folha se encontra a uma altura maior que a bola, pois sua geometria faz com que apresente maior coeficiente de arrasto e, conseqüentemente, $\beta_{Bola} < \beta_{P.amassado}$. Essa influência dos diferentes coeficientes de arrasto também se manifesta no gráfico da velocidade em função do tempo. Nesse gráfico é possível observar que a velocidade da folha de papel amassada (em azul) vem apresentando uma taxa de variação que decresce com o tempo, isto é, sua aceleração está ficando menor à medida que o tempo passa, fazendo com que a velocidade caminhe para a velocidade limite.

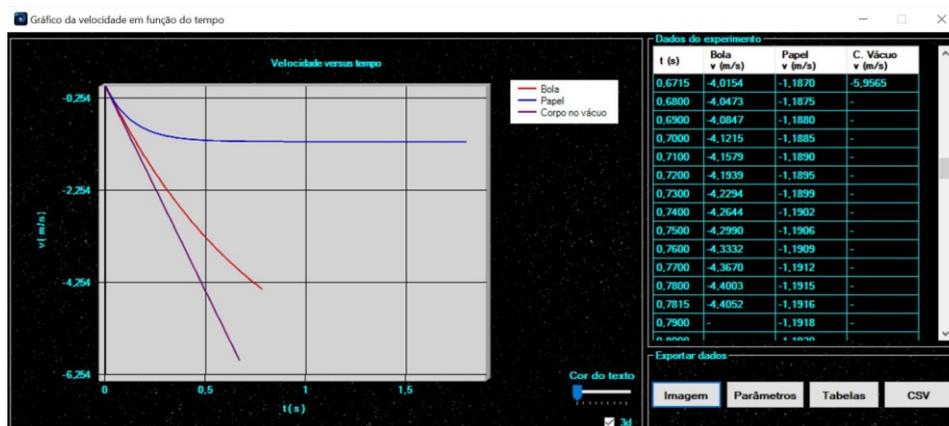
Comportamento similar acontece com a bola, porém devido à sensível diferença entre os coeficientes de arrasto, a bola toma um tempo bem maior para atingir tal velocidade, de forma que esse comportamento é bastante discreto no gráfico (em vermelho). Porém, a partir do quadro “Valores instantâneos” é possível verificar que a bola se encontra acima da folha de papel que cai no vácuo (em roxo) e com uma velocidade menor.

Na situação onde a folha de papel externa e a bola têm suas velocidades caminhando para seus valores limites, o professor pode explorar uma condição distinta daquelas constantes da maioria dos livros texto para o EM, isto é, um movimento no qual a aceleração é variável. Nesse caso pode, ainda, comparar com o que ocorre na câmara de vácuo onde o corpo se move com aceleração constante, a da gravidade local. Esta última situação coincide com aquelas recorrentemente estudadas no EM.

Outra ferramenta à disposição dos usuários são as setas verticais no quadro “Controle”. Clicando nessas setas, é possível avançar ou retroceder no tempo em pequenos passos, permitindo acompanhar quadro a quadro o comportamento dos corpos na simulação e nos gráficos.

A figura 4 mostra o gráfico que se obtém ao final do experimento conforme a configuração mostrada na figura 3. Para isso, basta clicar sobre o gráfico à direita da tela ilustrada na figura 3. Como é possível observar, a folha de papel amassada tem tempo suficiente para atingir sua velocidade limite que, aplicando a equação (4), é igual a 1,20m/s e necessita de um tempo da ordem de 1,16s para ser atingida (isso pode ser constatado, por exemplo, rolando a tabela da figura 4 até se observar a ocorrência de tal velocidade).

Figura 4 – Tabelas e gráficos da velocidade em função do tempo para os três corpos em Vênus (correspondente à configuração do experimento mostrado na figura 3).



Fonte: Autoria própria (2023).

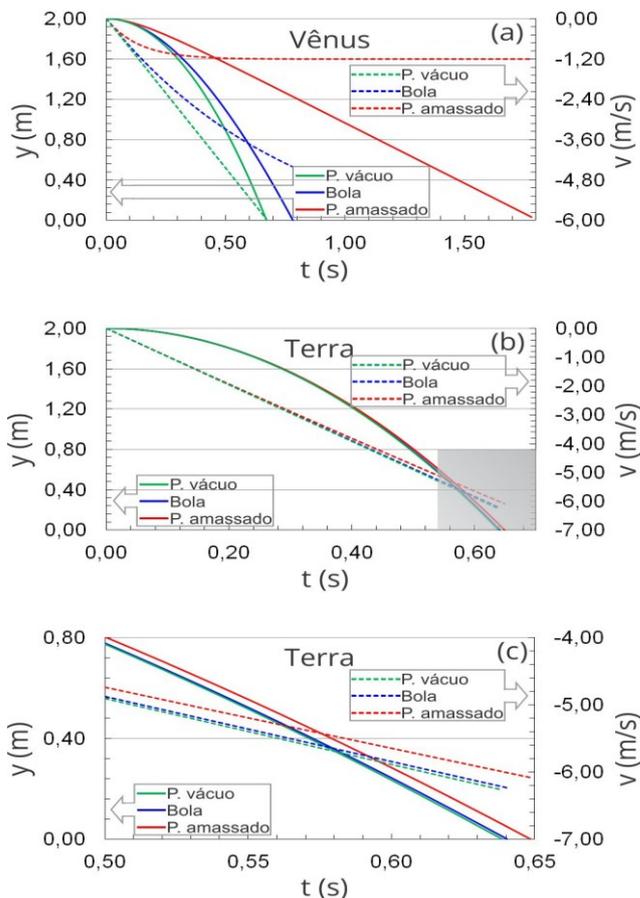
Ainda na figura 4, à direita e abaixo da tabela com os dados do experimento, aparecem botões que permitem exportar uma imagem do gráfico mostrado à esquerda, visualizar os parâmetros do experimento, exportar uma tabela no formato txt e exportar os dados no formato csv (*comma separated values*). Isso permite, por exemplo, que o professor utilize essas informações em situações de avaliação. O arquivo csv é facilmente manipulável com uma planilha eletrônica (Excel, por exemplo). Isso permite que aprofundamentos possam ser realizados na análise dos dados.

A figura 5(a) mostra um gráfico construído utilizando o Excel para os dados obtidos na configuração experimental mostrada na figura 3 e outra em configuração similar, porém com a simulação ocorrendo no planeta Terra (b). Nesse caso foram juntadas, usando as facilidades da planilha eletrônica, as informações sobre a altura (eixo vertical à esquerda, eixo primário) e a velocidade (eixo vertical à direita, eixo secundário) em função do tempo. Nesta situação o professor pode evidenciar o fato de que em Vênus, dada a alta densidade de sua atmosfera, a bola e o papel na câmara de vácuo apresentam comportamentos bem diferentes tanto em relação às alturas (linhas contínuas em azul e verde, respectivamente) quanto em relação às velocidades (linhas tracejadas em azul e verde, respectivamente).

Isso pode ser comparado com aquilo que ocorre com os corpos no planeta Terra que, por ter uma densidade atmosférica sensivelmente menor que a de Vênus, leva a bola e o papel da câmara de vácuo a apresentar comportamentos

muito similares. Nessa situação os gráficos tanto das alturas como das velocidades estão praticamente sobrepostos (em azul e verde na figura 5(b)). Isso também é consequência da pequena altura inicial (2m): aumentando essa altura, os efeitos da resistência do ar se tornarão mais evidentes para a bola.

Figura 5 – Em (a) e (b) altura (linhas contínuas) e velocidade (linhas tracejadas) em função do tempo para papel no vácuo, bola e papel amassado. Em (c), ampliação da área sombreada de (b) para melhor visualização.



Fonte: Autoria própria (2023).

A figura 5(c) apresenta uma ampliação da região sombreada da figura 5(b). A partir dela é possível verificar as diferenças entre os comportamentos da altura e da velocidade para os três corpos de prova quando o experimento é simulado na Terra. Como é possível verificar, o papel amassado (linha contínua em vermelho) toma um tempo ligeiramente maior para atingir o solo, sendo seguido pela bola (linhas em azul) e, depois, pelo papel que cai no interior da câmara de vácuo (linhas em verde). A partir da comparação entre as linhas tracejadas, o professor pode discutir as diferentes velocidades de cada um dos corpos ao atingir a parte mais baixa da trajetória, sendo a do papel amassado a menor entre elas, consequência da menos aceleração experimentada.

Portanto, o simulador permite evidenciar aos estudantes de forma interativa e dinâmica o fato de que quando se considera a resistência atmosférica, o formato e a massa do corpo têm influência no comportamento de seu movimento, o mesmo não ocorrendo quando tal resistência é desprezada.

O simulador pode ser inserido no contexto da sala de aula considerando a metodologia do ensino por investigação. Como afirmam Brito e Fireman (2016), o ensino por investigação pode favorecer a alfabetização científica, permitindo que os estudantes utilizem conceitos científicos como ferramentas para a leitura, interpretação e compreensão do mundo. Em contrapartida, Carvalho (2018) observa que as Sequências de Ensino Investigativas (SEI) aplicadas ao Ensino Médio não apresentam os mesmos resultados de aprendizagem que aqueles observados no Ensino Fundamental I. A autora levanta a hipótese de que, no EM, diferentes fatores relacionados ao ambiente escolar limitam a oferta do mesmo grau de liberdade intelectual aos estudantes. Nesse nível de ensino, segundo Carvalho, há uma necessidade de abranger diferentes linguagens das ciências, dentre elas a gráfica e a matemática, o que restringe a possibilidade de o professor conceder maior liberdade intelectual aos estudantes.

Assim, o simulador aplicado em sala de aula pode contribuir com os aspectos relacionados aos impactos das linguagens gráfica e matemática nas SEI. Sua utilização pode ser iniciada apresentando aos estudantes uma situação-problema relacionada ao movimento de queda dos corpos, despertando sua curiosidade e interesse. A seguir, ao utilizar o simulador, os estudantes investigam como a resistência do ar influencia a queda de objetos sob diversas condições atmosféricas e gravitacionais. Essa interação proporciona um aprendizado mais envolvente e pode contribuir para uma compreensão mais aprofundada da representação gráfica do movimento de um corpo em queda em diferentes planetas. Ademais, ao considerar que condições planetárias distintas geram gráficos diversos, o professor tem a oportunidade de discutir a influência da resistência do ar no movimento, utilizando a linguagem matemática por meio de equações e parâmetros físicos que modelam a situação.

Ao abordar o Ensino por Investigação, os estudantes devem ser incentivados a formular hipóteses sobre o comportamento dos corpos em queda, coletar dados a partir das animações, tabelas e gráficos do simulador e, posteriormente, analisar os resultados. Esse processo analítico estimula o pensamento crítico e a reflexão sobre os conceitos físicos envolvidos, conforme discutido na literatura sobre Ensino por Investigação (Carvalho, 2018) e (Carvalho e Sasseron, 2015).

Essa abordagem não apenas possibilita que os estudantes compreendam as diferenças entre os planetas, mas também permite a discussão de situações que se afastam dos modelos idealizados amplamente utilizados no ensino da cinemática no EM. Por fim, é fundamental que os estudantes compartilhem suas descobertas e conclusões, promovendo discussões que consolidem o conhecimento. No contexto do Ensino por Investigação, o simulador não apenas enriquece o aprendizado da cinemática, mas também prepara os estudantes para entender e aplicar conceitos físicos em contextos reais, contribuindo para uma formação mais completa e integrada ao mundo contemporâneo. Além disso, essa ferramenta pode proporcionar ao professor a oportunidade de ampliar a liberdade intelectual de seus estudantes, uma vez que o simulador expande, em um ambiente virtual único, a variabilidade relacionada à cinemática da queda dos corpos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentamos um simulador desenvolvido em C# para o estudo do movimento da queda de corpos de diferentes formatos próximos à superfície dos planetas rochosos e da Lua. O simulador é de fácil instalação e utilização, apresentando a simulação em tela única com a opção de se destacar em nova tela os gráficos e tabelas referentes à posição (altura) e velocidade vertical de cada corpo de prova.

O professor pode, portanto, se valer do uso do simulador no contexto das aulas relativas à cinemática da queda dos corpos e nas discussões relativas ao módulo da aceleração da gravidade e seu efeito em diferentes planetas e na Lua. Além disso, dado que os valores da densidade atmosférica é um dos fatores que afeta o movimento dos corpos, é possível explorar tal característica visto que os planetas considerados no simulador apresentam sensíveis diferenças nessa propriedade física.

Outro aspecto que pode ser discutido junto aos estudantes são os parâmetros relativos à geometria do corpo que também têm implicação em seu movimento. Nesse aspecto, podem ser abordadas situações referentes aos meios de transporte que apresentam veículos com variadas geometrias. Ainda, questões relativas à velocidade terminal envolvida no uso de paraquedas podem ser apresentadas, levando a aprofundamentos e mantendo o caráter contextualizado.

Por fim, os dados podem ser exportados e tratados em uma planilha eletrônica, permitindo discussões mais aprofundadas acerca do movimento através de uma análise de dados a partir de representações gráficas.

A virtual simulator for the study of the effect of atmospheric resistance on the fall of objects in high school

ABSTRACT

To align with the daily life of modern society, the teaching of physics has demanded the development of technologically oriented teaching tools for classroom applications. Elements of this nature, in addition to facilitating a more contextually relevant teaching experience, can contribute to addressing different topics more realistically, complementing situations typically treated in an idealized fashion. In this work, we present and discuss a virtual simulator developed in C# to study of the kinematics of falling bodies. Using the simulator allows for approaches where atmospheric resistance, often neglected in textbooks, can be considered, allowing students to understand how it affects the motion of objects. The simulator is user-friendly and allowing explorations through animation, tables, and graphs of the motion of a body near the surfaces of rocky planets and the Moon, where atmospheric and gravitational conditions are simulated.

KEYWORDS: Kinematics. Virtual simulator. Gravity. Atmospheric Resistance.

NOTAS

¹ Link para acesso ao instalador do simulador: <https://www.labtecfis.ufscar.br/simulador-da-queda-dos-corpos-instalador-2.msi>.

REFERÊNCIAS

- ASAI, T.; SEO, K. Aerodynamic drag of modern soccer balls. **SpringerPlus**, v.2, p. 171-1, 2013.
- BANDA, H. J.; NZABAHIMANA, J. The Impact of Physics Education Technology (PhET) Interactive Simulation-Based Learning on Motivation and Academic Achievement Among Malawian Physics Students. **Journal of Science Education and Technology**, v.32, p. 127-141, 2023.
- BATTISTEL, O. L.; HOLZ, S. M.; SAUERWEIN, I. Motivação e eficiência em estratégias de ensino de física no nível médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.44, p. e20210278, 2022.
- BRASIL. **Base Nacional Comum**. Brasília, DF: MEC, 2018.
- BRITO, L. O.; FIREMAN, E. C. Ensino de ciências por investigação: uma estratégia pedagógica para promoção da alfabetização científica nos primeiros anos do ensino fundamental. **Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.**, Belo Horizonte, v.18, n.1, p. 123-146, 2016.
- CARVALHO, A. M. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.18, n.3, p. 765-794, 2018.
- CARVALHO, A. M.; SASSERON, L. H. Ensino de física por investigação: referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino investigativas. **Ensino em Re-Vista**, v.22, n.2, p. 249-266, 2015.
- COSTA, M.; CAMARGO, M.; PEREIRA, Y.; ORTIZ, E.; BATISTA, I.; BRANCHER, J. Processo de desenvolvimento de simulações virtuais de experimentos históricos para o Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.43, p. e20210016, 2021.
- FRANCO, D. L. O uso de metodologias adequadas no ensino de Física. **Ensino em Perspectivas**, v.3, n.1, p. 1-9, 2022.
- FREIRE, W. H.; MEDEIROS, M. L.; LEITE, D.; SILVA, R. M. Lançamento oblíquo com resistência do ar: Uma análise qualitativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.38, n.1, p. 1306-1-1306-5, 2016.
- GRAY, S. A. **Planetary atmosphere models: a research and instructional web-based resource**. 153 p. Thesis (M.S.)-The University of Alabama, 2014.
- HALEKAS, J. S.; POPPE, A. R.; HARADA, Y.; BONNELL, J. W.; ERGUN, R. E.; MCFADDEN, J. P. A Tenuous Lunar Ionosphere in the Geomagnetic Tail. **Geophys Res Letters**, v.45, p. 9450-9459, 29 set. 2018.
- JASINSKI, J. M.; REGOLI, L. H.; CASSIDY, T. A.; DEWEY, R. M.; RAINES, J. M.; SLAVIN, J. A.; MURPHY, N. A transient enhancement of Mercury's exosphere at extremely high altitudes inferred from pickup ions. **Nature Communications**, v.11, p.4350-1, 2020.
- VARGAS JÚNIOR, P. C.; CUNHA, J. A.; MARQUES, I. A. Bifrost simulando o arco-íris. **A Física na Escola**, v.21, p. 220405-1-220405-9, 2023.
- JUSTUS, C. G.; BRAUN, R. D. Atmospheric environments for entry, descent and landing (EDL). **Conference Proceedings**, p. 1-37, 2007.

MOHAMMED, M. G.; MESSERMAN, A. F.; MAYHAN, B. D.; TRAUTH, K. M. Theory and Practice of the Hydrodynamic Redesign of Artificial Hellbender Habitat. **Herpetological Review**, v.47, p. 586–591, 2016.

RUTTEN, N.; JOOLINGEN, W. R.; VEEN, J. T. The learning effects of computer simulations in science education. **Computers & Education**, v.59, n.1, p. 136-153, 2012.

SILVA, A. G.; SOUZA, G. F. S.; LOPES, J. S. Physics teaching using virtual simulators: potential for use in the classroom. **Holos**, v.39, n.1, p. e14365, 2023.

Recebido: 08 novembro 2023.

Aprovado: 04 outubro 2024.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3895/etr.v8n3.17794>.

Como citar:

SOARES, A. A.; SILVA, J. A. de A. Um simulador virtual para o estudo do efeito da resistência atmosférica na queda dos corpos no ensino médio. **Ens. Tecnol. R.**, Londrina, v. 8, n. 3, p. 84-98, set./dez. 2024. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/etr/article/view/17794>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Antônio Augusto Soares

Universidade Federal de São Carlos. Rod. João Leme dos Santos, s/n, Itinga. Sorocaba, São Paulo, Brasil.

Direito autoral:

Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

