



A física do jogo Super Mario World e a comparação com o mundo real

.....

Pedro H. Evers

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, SC, Brasil

Bruna D. Magalhães

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, SC, Brasil

Andres R. Sousa

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, SC, Brasil

Diego A. Duarte*

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, SC, Brasil

RESUMO

Super Mario World é um dos jogos eletrônicos mais populares do mundo e agrada a todos os públicos. Este artigo sugere a utilização do jogo para motivar estudantes da educação básica e superior no estudo das leis fundamentais da física. O método consiste na análise de vídeos por meio do programa Tracker e na descrição dos dados por meio das regras da mecânica newtoniana. Os resultados indicam que o personagem está inserido em um mundo complexo, pois o movimento horizontal pode ser descrito por regras diferentes das do movimento vertical, além do surgimento de arrasto negativo, aceleração gravitacional maior que a do planeta Júpiter, saltos verticais e velocidades maiores que as dos atuais recordes de atletismo e aceleração horizontal próxima do limite humano para perda de consciência.

Palavras-chave: jogos eletrônicos; física; Super Mario; Usain Bolt

.....

1. Introdução

Motivar estudantes em sala de aula é um desafio no ensino, principalmente no trabalho com a nova geração, que está diariamente conectada em celulares, *tablets* e computadores para entretenimento, trabalho e realização de atividades escolares. Com o mundo real desses jovens conectado cada vez mais com o mundo virtual, é fundamental que os métodos de ensino passem por uma reformulação e sejam adaptados para o estilo de vida da geração atual e se tornem ambientes motivacionais [1, 2]. Conforme diversos estudos [3-11], os jogos eletrônicos podem ser utilizados como ferramentas poderosas para o ensino de física, pois além de considerarem as leis da natureza por meio das chamadas *physics engines* [11], em especial a mecânica newtoniana [6, 12], representam uma das formas mais divertidas de entretenimento virtual, sendo um meio eficaz para melhorar a comunicação entre professores e estudantes, que geralmente habitam mundos diferentes. Além disso, estudos mostram que os jogos eletrônicos também contribuem para o desenvolvimento de diversas habilidades motoras e cognitivas como tempo de reação, memória, habilidades espaciais, visão e atenção [13]. Assim, este artigo apresenta um método simples para ensinar conteúdos de cinemática e dinâmica para o ensino básico e superior com o jogo Super Mario World, por meio da análise de vídeos. Os dados obtidos foram comparados com medidas do mundo real para avaliar as possíveis habilidades sobrenaturais do personagem Mario e

É fundamental que os métodos de ensino passem por uma reformulação e sejam adaptados para o estilo de vida da geração atual e se tornem ambientes motivacionais

as leis naturais que regem o universo do jogo.

2. Materiais e métodos

2.1. O jogo Super Mario World

O jogo escolhido é um dos clássicos da empresa japonesa Nintendo e foi lançado comercialmente na década de 1990 para o console Super Nintendo [14]. O jogo conta a história dos irmãos Mario e Luigi, que procuram pela Princesa Peach que foi raptada pelo vilão Bowser no Mundo dos Cogumelos. Toda a dinâmica ocorre em 2D e a história remete os personagens a diversos desafios em terra, água e ar, podendo ser utilizado para o estudo de diversos temas, como MRU, MRUV, lançamento de projéteis, forças elásticas (devido às molas que o personagem utiliza em diversas fases), pêndulos, força de arrasto e colisões, entre outros. Este artigo investiga o personagem Mario no movimento horizontal, durante caminhada e corrida, e no movimento vertical, durante um salto comum.

Em todas as situações o personagem é tratado em seu tamanho reduzido, *i.e.*, sem a ingestão de cogumelos multiplicadores de tamanho e força. Nessa circunstância, foi adotada a altura de 1,55 m para o personagem [15].

2.2. Gravação dos vídeos

Para obtenção dos vídeos foi utilizado o programa Fraps [16]. O vídeo gerado para análise do movimento horizontal, com duração de 4 s, possui 224 frames e o vídeo gerado para análise do movimento vertical, com duração de 30 s, possui 1796 frames. No entanto, o primeiro filme foi analisado entre os

*Autor de correspondência. E-mail: diego.duarte@ufsc.br.

frames 25 e 149 (duração de 2,1 s) e o segundo entre os frames 27 e 87 (duração de 1 s).

2.3. Análise dos vídeos

Os vídeos foram analisados com o programa Tracker [2, 17-19]. O programa possui uma interface simples e permite ao usuário realizar, por exemplo, marcações das posições horizontais e verticais do personagem. A partir desses dados, o programa fornece uma tabela que permite obter os gráficos das posições em função do tempo e, por consequência, informações sobre velocidade e aceleração. Para o salto vertical, foram medidos 54 pontos da posição em função do tempo com o referencial no solo. Os valores foram medidos a partir do acompanhamento de um pixel no topo da cabeça do personagem. A Fig. 1 apresenta uma tela do programa obtida durante as medições. Os dados indicam um típico MRUV.

No movimento horizontal, o personagem possui três estágios de velocidade: caminhada, corrida em nível moderado e corrida em nível máximo. Para coletar dados de todos esses movimentos, é necessário que ele percorra

uma distância razoável, fazendo com que o observador (câmera) entre em movimento com a mesma rapidez do Mario. Ao adicionar um referencial para medir o deslocamento, o Tracker o fixa em relação ao observador, que, ao se movimentar, leva consigo o referencial. Isso faz com que Mario e o referencial se desloquem juntos, impossibilitando a medição. Para contornar esse problema, foram adotados dois pixels de referência, conforme ilustrado na Fig. 2. Um pixel faz parte do olho do Mario e o outro faz parte de uma vegetação que está fixa no plano de fundo do mundo onde está o personagem. Com uma fita métrica, foi realizada a medida da posição. Foram medidos 55 pontos da posição em função do tempo. O Tracker permite uma ampliação de até 1200% da imagem, permitindo certa precisão na medição com a fita métrica (Fig. 2 do lado esquerdo).

3. Resultados e discussões

Os dados da posição vertical em função do tempo são apresentados na Fig. 3. A aproximação dos valores experimentais foi realizada com a

equação horária da posição do MRUV:

$$y(t) = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g_{local} t^2$$

em que $y_0 = 1,6$ m, $v_0 = 23,5$ m/s (84,6 km/h) e $g_{local} = -53,4$ m/s². Esses valores foram encontrados com a técnica dos quadrados mínimos. Como as medidas foram realizadas em relação ao solo e iniciaram no topo da cabeça do personagem, o valor de y_0 é aproximadamente sua altura. A aceleração gravitacional local indica que o Mundo dos Cogumelos possui aceleração gravitacional duas vezes maior que a do planeta Júpiter ($g_{local} = -22,9$ m/s² [20]), o maior planeta do sistema solar. A velocidade inicial também é um dado curioso, pois é demasiadamente elevada para um salto comum, permitindo que ele salte a uma altura máxima de 6,77 m em seu mundo. Assumindo que esse valor é decorrente da energia interna do Mario, ele poderia saltar com a mesma velocidade inicial no planeta Terra. Caso houvesse essa possibilidade, a altura máxima atingida pode ser determinada pela equação de

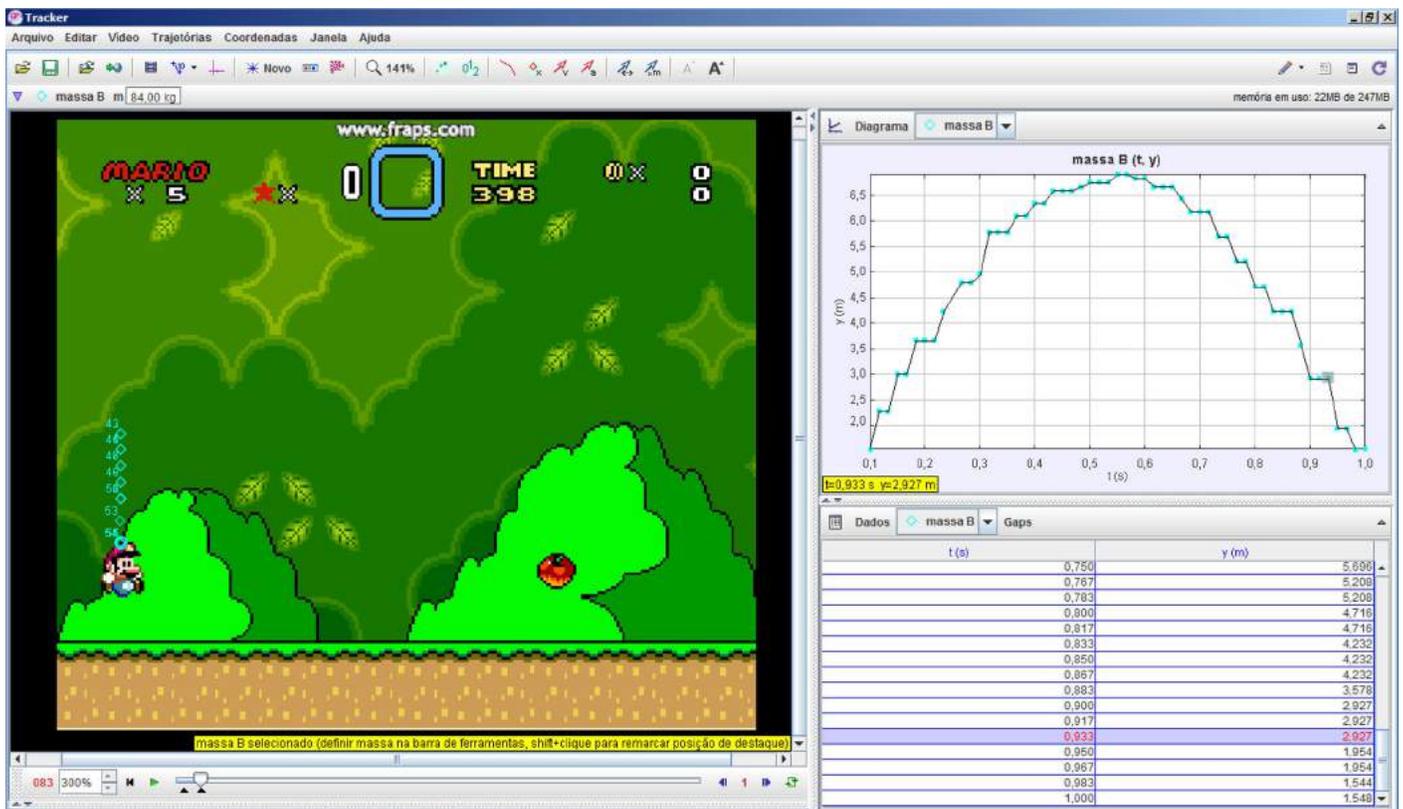


Figura 1 - Medição da altura do personagem durante um salto comum. O bastão de calibração foi definido com a altura do personagem.



Figura 2 - Definição dos pixels de referência no programa Tracker (imagem da esquerda) para medição da posição horizontal instantânea com a fita métrica (imagem da direita). O bastão de calibração foi definido com a altura do personagem.

Torricelli:

$$0^2 = (23,5)^2 - 2(9,81)\Delta y \cdot \Delta y = 28,1 \text{ m,}$$

que representa aproximadamente um prédio de 8 ou 9 andares, considerando que cada andar possui pouco mais de 3 m de altura. Esse resultado demonstra que o personagem possui uma estrutura corporal mais avançada que a de um homem comum.

Essa atividade é demasiadamente simples, pois é um conteúdo ministrado no final do ensino fundamental ou início do ensino médio, e pode ser realizada em sala de aula de forma demonstrativa pelo professor, em colaboração com os alunos, ou em um laboratório de informática, quando a escola possui esse ambiente. Caso não exista laboratório na instituição, o professor poderá realizar a coleta dos pontos experimentais (posição vertical e o tempo decorrido durante um salto vertical) junto com os alunos em um único computador. Após os dados serem anotados, a turma deverá construir, em um papel milimetrado, o gráfico da posição vertical em função do tempo e determinar a aceleração gravitacional, a velocidade inicial e a altura máxima do salto com as equações do movimento. Com essas informações em mãos, é possível construir a função horária da posição $y(t)$ não otimizada que, em seguida, deve ser traçada sobre o papel milimetrado e comparada com os dados experimentais. Nesse momento, o professor deve iniciar uma discussão em sala sobre os erros associados e a validação dos dados experimentais perante o modelo semi empírico. Com o programa

Tracker, a função $y(t)$ é otimizada para fornecer a melhor aproximação possível dos pontos coletados, como mostra a Fig. 3.

Os dados obtidos para o movimento horizontal são apresentados na Fig. 4. Para melhorar a compreensão, os dados foram separados em regiões 1 e 2. Na região 1, o personagem parte do repouso, caminha um pouco antes do primeiro quarto de segundo (representado pela curvatura positiva) e, em seguida, entra em velocidade terminal na corrida moderada, pois, nesse momento, a posição varia linearmente com o tempo. Na região 2, ocorre a transição súbita da velocidade moderada para a velocidade máxima, com o personagem assumindo uma postura corporal no melhor estilo corrida Naruto (com os braços abertos para trás). O instante dessa mudança está represen-

tado pela linha tracejada. Há uma leve diferença entre as inclinações da região 2 e o final da região 1, indicando que Mario ainda possui um “gás extra” no final da região 1.

O fato de o personagem atingir uma velocidade terminal na região 1 pode ser um indicativo de que ele está sob atuação de forças de arrasto. Se isso acontece, considere que Mario possui massa m e aplica uma força F_0 contra o solo, fazendo-o acelerar. No sentido oposto, há o trabalho negativo realizado pelas forças de arrasto. Pela segunda lei de Newton,

$$m \frac{dv}{dt} = F_0 - \gamma v - \sigma v^2 \quad (1)$$

em que γ e σ representam as contribuições laminar e viscosa das forças de arrasto [21], a solução da Eq. (1) é dada

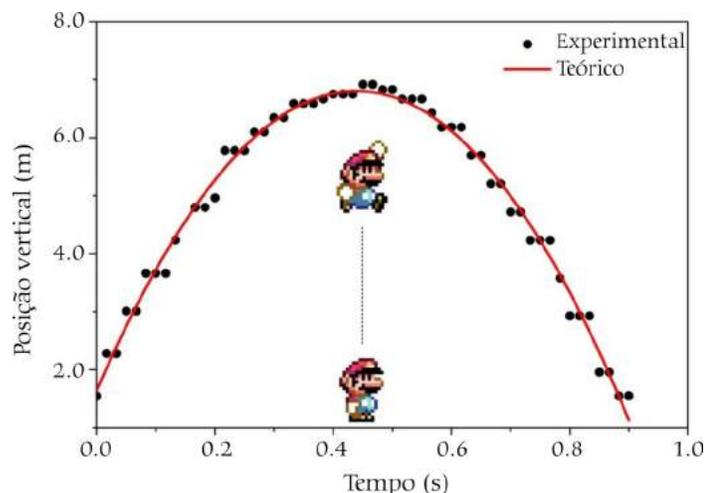


Figura 3 - Posição vertical em função do tempo para um salto vertical do Mario.

por

$$v(t) = \frac{A(v_0 + B) + B(v_0 - A)e^{-kt}}{v_0 + B + (A - v_0)e^{-kt}} \quad (2)$$

em que v_0 é a velocidade inicial ($= 0$), $\sigma = km/(A+B)$, $F_0 = kmAB/(A+B)$ e $\gamma = km(B-A)/(A+B)$. Para simular os dados da região 1, é necessário integrar a Eq. (2):

$$x(t) = x_0 + At + \frac{(A+B)}{k} \ln \left[\frac{v_0 + B + (A - v_0)e^{-kt}}{A+B} \right] \quad (3)$$

com x_0 na posição inicial ($= 0$). As Eqs. (2) e (3) são similares aos resultados apresentados em trabalhos passados [22]. Ao aplicar a técnica dos quadrados mínimos na Eq. (2), foram obtidos $A = 11,54$ m/s, $B = 8,17$ m/s e $k = 7,98$ s⁻¹. A Eq. (2) com esses valores é apresentada na região 1 da Fig. 4 (curva vermelha). O valor da constante A representa a velocidade terminal, pois $v(t) \rightarrow A$ para $t \rightarrow \infty$ na Eq. (2); portanto, o Mario atinge a velocidade terminal de $11,54$ m/s = $41,54$ km/h na corrida moderada. Em aproximadamente $1,3$ s após o início do movimento, há a mudança discreta para a velocidade máxima (região 2) e ela permanece constante enquanto o personagem permanece correndo. Essa região pode ser simulada pela equação horária da velocidade no MRU:

$$x = x_0 + v_{\max}t \quad (4)$$

em que $x_0 = 12,84$ m e $v_{\max} = 14,31$ m/s = $51,52$ km/h. A curva (em azul) é apresentada na região 2 da Fig. 4. A velocidade experimental foi determinada a partir da derivação dos dados da posição ($v = dx/dt$) e os resultados, comparados com a Eq. (2) e a velocidade máxima, são apresentados na Fig. 5. Os dados experimentais possuem um ruído considerável devido ao processo de derivação [23].

Para investigar a realidade dessas velocidades, comparamos os valores com a velocidade obtida pelo velocista Usain Bolt no Campeonato Mundial de Atletismo de Berlim em 2009 [24]. A física que descreve o movimento do atleta também é dada pela Eq. (1) [22]. Com a aplicação da técnica dos quadrados mínimos nessa equação, em conjunto com os dados de velocidade da Ref. [24], foram obtidos $A = 12,30$ m/s, $B = 147,17$ m/s e $k = 0,73$ s⁻¹; portanto, com uma velocidade terminal de $12,30$ m/s = $44,28$ km/h. Esse valor está entre as velocidades moderada e máxima do Mario. Os dados experimentais e

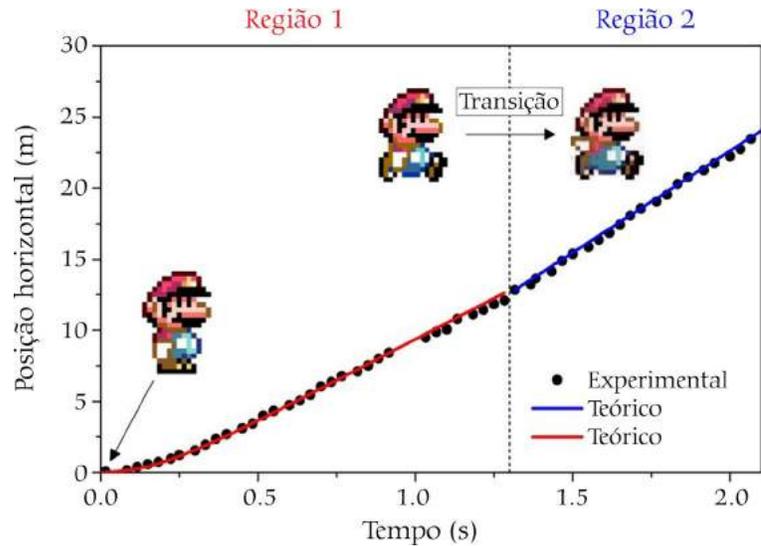


Figura 4 - Posição vertical em função do tempo para o movimento horizontal do Mario.

teóricos para o Usain Bolt são apresentados na Fig. 6. As curvas teóricas foram modeladas com as Eqs. (2) e (3). Os dados experimentais da posição em função do tempo foram calculados a partir da integração dos dados experimentais da velocidade [20]. Assumindo $x_0 = 0$ e os valores calculados para A , B e k na Eq. (2), o atleta atinge 100 m em 9,58 s, em concordância com os dados experimentais.

Com os dados da velocidade, é possível determinar a aceleração do personagem por meio de outra derivação, porém apenas a aceleração teórica será apresentada, uma vez que a segunda derivada da posição do Mario aumentará ainda mais o ruído do sinal experimental. Ao derivar a Eq. (2),

obtemos:

$$a(t) = \frac{k(A+B)(A-v_0)(B+v_0)e^{-kt}}{[v_0 + B + (A-v_0)e^{-kt}]^2} \quad (5)$$

com $a \rightarrow 0$ para $t \rightarrow \infty$ apresentado na Fig. 7 para Mario e Usain Bolt, no intervalo de 10 s. Os resultados indicam que a aceleração máxima do Mario está próxima de 40 m/s² e representa, aproximadamente, quatro vezes mais que a aceleração máxima de Bolt. Além desses valores, Mario também possui aceleração na região de transição. Ele muda de $11,54$ m/s para $14,31$ m/s em um intervalo de $0,033$ s (do instante $1,283$ s para $1,316$ s), o que resulta numa aceleração média de 84 m/s², valor muito maior que o limite de um humano normal para perda de

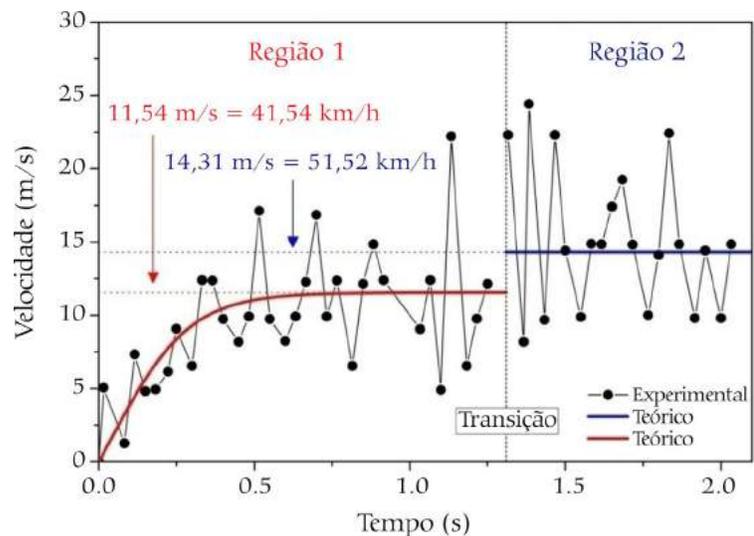


Figura 5 - Velocidade em função do tempo para o movimento horizontal do Mario.

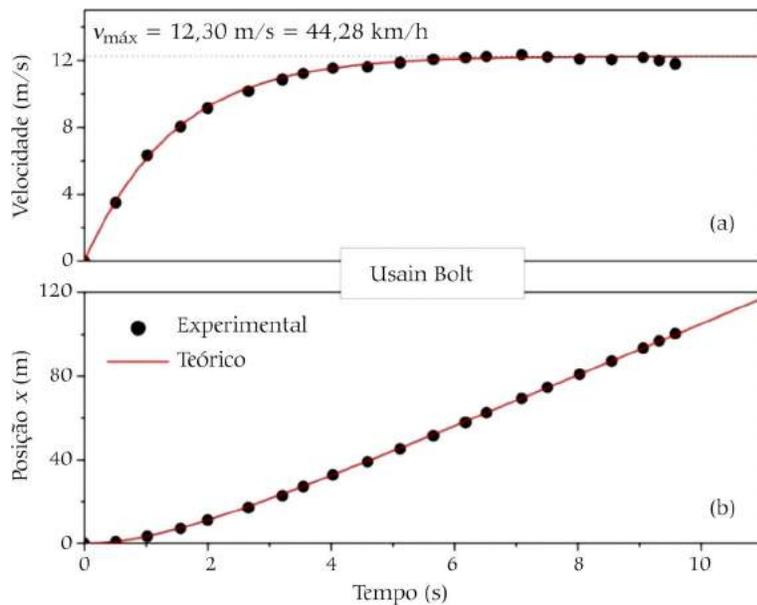


Figura 6 - (a) Velocidade e (b) posição em função do tempo para o velocista Usain Bolt.

consciência (que é de $\sim 6 \text{ g}$) [25]. Porém, essa transição é tão rápida que talvez o personagem não sinta os efeitos. É mais provável que isso ocorra no início do movimento, embora as acelerações sejam menores.

A determinação das constantes A , B e k permitem calcular as forças médias F_0 e os coeficientes de arrasto σ e γ . Considerando que Mario e Bolt possuem 89 [15] e 86 kg [22], respectivamente, obtemos $F_{0(\text{Mario})} = 3397,3 \text{ N}$ e $F_{0(\text{Bolt})} = 712,6 \text{ N}$. Os coeficientes de arrasto turbulento são $\sigma_{\text{Mario}} = 36,0 \text{ kg/m}$ e $\sigma_{\text{Bolt}} = 0,394 \text{ kg/m}$, indicando que o personagem está em um meio denso e complexo, ainda mais porque seu coeficiente de arrasto laminar é negativo ($\gamma_{\text{Mario}} = -121,4 \text{ kg/s}$ e $\gamma_{\text{Bolt}} = 53,1 \text{ kg/s}$). Isso significa que o arrasto em baixas velocidades ajuda a acelerar o personagem com algo, aparentemente empurrando-o ou puxando-o para a frente, gerando um coeficiente de arrasto negativo [26, 27]. Essa estranha e contraditória propriedade, aliada com a maior força F_0 , explicaria o fato de Mario atingir mais de 40 km/h em menos de 1 s após sair do repouso! Em seguida, devido ao elevado arrasto turbulento, ele rapidamente entra na velocidade terminal da corrida moderada (41,54 km/h). Com esses resultados, parece que Mario está em um “mundo excêntrico” onde as leis naturais parecem não respeitar, em sua totalidade, a mecânica newtoniana, o que até faz sentido, considerando toda a fantasia envolvida no enredo do jogo.

Os valores obtidos de F_0 , γ e σ para o Usain Bolt estão em concordância com os obtidos na Ref. [22].

Se os dois corredores disputassem os 100 metros rasos em seus respectivos mundos, Bolt terminaria a corrida em 9,58 s enquanto (Super) Mario terminaria em 7,41 s, conforme ilustra a Fig. 8, com ritmos médios de 1min36s/km e 1min14s/km, respectivamente. Em uma maratona, Mario manteria esse ritmo apenas no primeiro quilômetro, devido ao período de aceleração. Do segundo quilômetro em diante, manteria o ritmo de 1min10s/km, podendo completar a tradicional maratona de Berlim, por exemplo, em 49 minutos. Esse tempo é muito menor que o do atual recordista

Eliud Kipchoge, que concluiu a prova em 2h01min39s, com o ritmo médio de 2min53s/km. Durante essas análises, todas as informações quantitativas foram obtidas em função da régua de calibração do programa Tracker e qualquer alteração na altura do personagem mudará todas as informações aqui apresentadas.

O movimento horizontal da Fig. 4 possui análises mais complexas, como na região 1, e mais simples, como na região 2. A região 2, além de obedecer um MRU e possibilitar a aplicação, também, para alunos do ensino fundamental e médio, permite mostrar que Super Mario é mais veloz que os corredores Usain Bolt e Eliud Kipchoge. Esse contexto é muito importante para o professor aplicar em sala de aula, pois se torna uma ferramenta poderosa para conseguir a atenção dos alunos durante o processo de ensino-aprendizagem e, de certa forma, aliar o estudo proposto com a prática de atividades físicas. A região 1 aborda temas mais elaborados, como forças de arrasto, cálculo diferencial, integral e numérico. Esses conteúdos, de fato, não fazem parte da matriz curricular do ensino básico, sendo um tópico mais adequado para discussão no ensino superior. Por outro lado, é importante que o trabalho não atenda apenas o público regular do ensino básico, mas também um público com habilidades além da regular para o estudo de temas complexos, ampliando, portanto, o espectro de usuários do método proposto. Este último caso inclui alunos de graduação, obviamente, mas também uma minoria de alunos tecnicamente mais desenvolvidos do Ensino Médio. Além disso, alguns

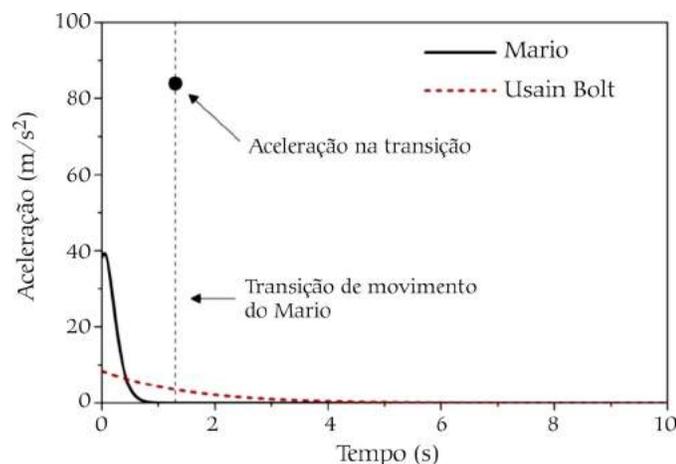


Figura 7 - Aceleração em função do tempo durante o movimento horizontal de Mario e Usain Bolt.

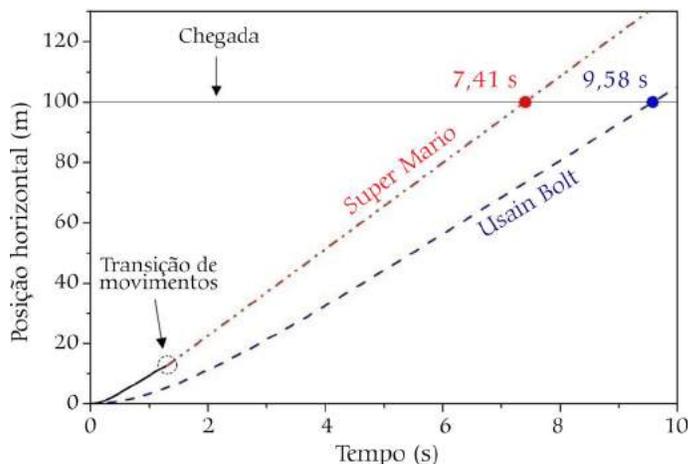


Figura 8 - Comparação dos deslocamentos horizontais entre Mario e Usain Bolt durante uma disputa dos 100 metros rasos. Para simular os dados do Mario foram utilizadas as Eqs. (3) e (4). Para simular os dados do Usain Bolt foi utilizada a Eq. (3).

autores discutem a importância de introduzir o cálculo na matriz curricular do ensino médio para adaptação prévia aos fundamentos e, dessa forma, a melhoria do desempenho no ensino superior [28]. O trabalho apresentado neste artigo pode, inclusive, servir de base para uma atividade multidisciplinar em uma disciplina de matemática

avançada.

4. Conclusões

Este artigo investiga a física do jogo Super Mario World e compara os dados experimentais com a mecânica newtoniana. A análise do movimento vertical indica um MRUV, em que a aceleração local é mais de duas vezes

a aceleração do planeta Júpiter e, mesmo assim, o personagem consegue saltar com uma velocidade inicial maior que 80 km/h e altura máxima de 6,77 m. Ao manter a mesma velocidade inicial na Terra, Mario poderia saltar a aproximadamente 28 m de altura. Por outro lado, o movimento horizontal é complexo; o personagem apresenta duas velocidades terminais e o problema é aparentemente descrito num ambiente com arrasto. A elevada aceleração, ao partir do repouso, pode ser explicada pela soma da força aplicada pelo personagem contra o solo e uma segunda força de natureza desconhecida. A rapidez com a qual ele entra em velocidade terminal pode ser justificada pelo elevado coeficiente de arrasto turbulento. Mesmo com a complexidade e o balanço de diversas propriedades, Mario ainda consegue superar a velocidade do humano mais rápido do mundo e fazer jus ao nome Super Mario.

Agradecimentos

Os autores agradecem à MundoNintendo pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] T. Barnes, E. Powell, A. Chaffin, A. Godwin, H. Richter, in *Anais do 12th Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, Dundee, 2007, editado por J. Hughes (ACM, New York, 2007), p. 121-125.
- [2] M. Rodrigues, P. Simeão Carvalho, *Physics Education* **48**, 431 (2013).
- [3] A.M. Bork, *American Journal of Physics* **43**, 81 (1975).
- [4] F. Esquembre, *Computer Physics Communications* **147**, 13 (2002).
- [5] A.A. Disessa, *Computers and Education* **4**, 67 (1980).
- [6] B.Y. White, *Cognition and Instruction* **1**, 69 (1984).
- [7] D. Zollman, *The Physics Teacher* **22**, 514 (1984).
- [8] C.M. Savage, A. Searle, L. McCalman, *American Journal of Physics* **75**, 791 (2007).
- [9] M. Gordon, G. Gordon, *Physics Education* **47**, 346 (2012).
- [10] D. Croxton, G. Kortemeyer, *Physics Education* **53**, 015012 (2017).
- [11] S.D. Mohanty, S. Cantu, *Physics Education* **46**, 570 (2011).
- [12] D.M. Bourg, *Physics Education* **39**, 401 (2004).
- [13] E. Novak, J. Tassell, *Computers in Human Behavior* **53**, 124 (2015).
- [14] History: Speedrun through video game history and learn about the games that made Mario the superstar he is today. Disponível em <http://mario.nintendo.com/history/>, acessado em 30/11/2018.
- [15] Mario simulator wiki: height and weight guide. Disponível em http://super-mario-luigi-bros.wikia.com/wiki/Height_and_Weight_Guide, acessado em 30/11/2018.
- [16] Fraps. Disponível em www.fraps.com/, acessado em 30/11/2018.
- [17] D. Brown, A.J. Cox, *The Physics Teacher* **47**, 145, (2009).
- [18] Open Source Physics. Disponível em www.compadre.org/OSP/, acessado em 30/11/2018.
- [19] Tracker. Disponível em <https://physlets.org/tracker/>, acessado em 30/11/2018.
- [20] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentos de Física (Mecânica)* (LTC, Rio de Janeiro, 2013), 9^a ed.
- [21] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica (Mecânica)* (Editora Blücher, São Paulo, 2002), 4^a ed.
- [22] J.J.H. Gómez, V. Marquina, R.W. Gómez, *European Journal of Physics* **34**, 1227 (2013).
- [23] F. Jauberteau, J.L. Jauberteau, *Applied Mathematics and Computation* **215**, 2283 (2009).
- [24] Usain Bolt: Berlin 100 m World Record Analysis. Disponível em <https://youtu.be/SyY7RgNLCUk>, acessado em 3/12/2018.
- [25] B. Choi, Y. Lee, T. Cho, H. Koo, D. Kim, in *Anais do 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Milano, 2015, editado por Sergio Cerutti e Paolo Bonato (IEEE, New Jersey, 2015), p. 7001-7010.
- [26] P.E. di Prampero, D.R. Pendergast, D.W. Wilson, D.W. Rennie, *Journal of Applied Physiology* **37**, 1 (1974).
- [27] P. Zamparo, C. Capelli, D.R. Pendergast, *European Journal of Applied Physiology* **111**, 367 (2011).
- [28] J. Molon, E.S. Figueiredo, *Ciência e Natura* **37**, 156 (2015).