

SOFTWARE MODELLUS COMO RECURSO PEDAGÓGICO PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO: ESTUDO DE CASO EM ESCOLA PÚBLICA DE FORTALEZA NO CEARÁ

Gabriel Freitas Cesarino do Santos¹, Emerson Mariano da Silva², Jose Hugo de Aguiar Sousa³, Francisco Wendel Cipriano de Oliveira⁴.

- (1) *Graduado em Licenciatura em Física*. Departamento de Física, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. Av. Silas Munguba, 1700, Campus do Itaperi, CEP: 60.714.903 Fortaleza-CE, Brasil. E-mail: gabriel.fcs12@gmail.com.
- (2) *Doutor em Engenharia Civil. Professor Associado IV do Departamento de Física*, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. Av. Silas Munguba, 1700, Campus do Itaperi, CEP: 60.714.903 Fortaleza-CE, Brasil. E-mail: emerson.mariano@uece.br
- (3) *Doutorando em Física pela Universidade Federal do Ceará*. Departamento de Física, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. *Professor Temporário do Departamento de Física*, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. Campus do Pici-UFC, Bloco 922, CEP: 60.440.900. Fortaleza-CE, Brasil. E-mail: hugoaguiar@fisica.ufc.br.
- (4) *Doutorando em Física pela Universidade Federal do Ceará*. Departamento de Física, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. *Professor da Educação Básica, Secretaria de Educação do Estado do Ceará*, Fortaleza, CE, Brasil. Campus do Pici-UFC, Bloco 922, CEP: 60.440.900. Fortaleza-CE, Brasil. E-mail: wendel@fisica.ufc.br.

Recebido em: 30/08/2023

Aceito em: 04/12/2023

Resumo

O artigo apresenta os resultados da aplicação de uma metodologia ativa que usa simulações dos fenômenos físicos com o software Modellus como uma ferramenta auxiliar no processo de ensino-aprendizagem. A metodologia proposta neste estudo, aplicada em uma classe do primeiro ano do ensino médio para ministrar os conceitos da mecânica clássica (especificamente trabalho e energia), é justificada pelos resultados encontrados em artigos publicados na literatura que usam tecnologias da informação e comunicação como ferramentas pedagógicas auxiliares, capazes de realizar simulações e animações dos fenômenos físicos por meio dos respectivos modelos matemáticos, com alto grau de precisão. Os resultados obtidos foram avaliados através da aplicação de questões para resolução e de uma pergunta sobre a satisfação dos estudantes com a metodologia usada nas aulas. Assim, concluiu-se que a metodologia usada neste estudo contribuiu para a melhoria da compreensão dos conceitos e da modelagem matemática associada aos fenômenos físicos apresentados em sala de aula, e estimulou os estudantes a serem protagonistas do processo educacional, como preconizado nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e na Base Curricular Comum (BNCC). Essas descobertas demonstram o potencial do uso de ferramentas pedagógicas baseadas em tecnologia para melhorar o aprendizado dos estudantes em educação científica.

Palavras-Chaves: Modellus; Ensino de Física; Educação Básica

Abstract

This article presents the results of an active methodology that utilizes simulations of physical phenomena through the Modellus software as an auxiliary tool in the teaching-learning process. The methodology proposed in this study, which was applied in a first-year high school class to teach the concepts of classical mechanics (specifically work and energy), is justified by the results found in the literature that explores the use of information and communication technologies as auxiliary

pedagogical tools, capable of performing simulations and animations of physical phenomena through the respective mathematical models, with a high degree of precision. The results obtained were evaluated through the application of questions for resolution and a survey that assessed student satisfaction with the teaching methodology employed. Thus, it was concluded that this methodology contributed to an improvement in students' understanding of concepts and mathematical modeling associated with the physical phenomena presented in the classroom, as well as encouraged students to become active participants in the educational process, as recommended in the National Curriculum Parameters (PCN) and the Common Curriculum Base (BNCC). These findings demonstrate the potential for using technology-based pedagogical tools to enhance students' learning in science education.

Keywords: Modellus; Physics Teaching; Basic education.

1. Introdução

O ensino de Física pode ser complexo para os estudantes devido ao formalismo matemático indispensável a quantificação dos fenômenos físicos e ao rigor necessário no raciocínio para o entendimento destes fenômenos. Esta situação pode levar ao desânimo e, em consequência, a altos índices de reprovação e desistência na disciplina de Física, em todas as faixas etárias, e em particular no ensino médio. Portanto, é necessário que professores obtenham formação continuada e estejam dispostos a usar metodologias ativas que possam motivar o processo de ensino-aprendizagem destes conteúdos.

Menciona-se que a baixa carga horária destinada às disciplinas de física interfere na promoção das aulas de laboratório e no uso de metodologias ativas, como citado em Moreira (2018). Assim, se observam o uso de metodologia tradicional (quadro e pincel) nestas aulas, associada a resolução excessiva de exercícios-problemas, que se assemelha a um treinamento dos estudantes para provas específicas, como o Exame Nacional do Ensino Médio (Enem), prejudicando-se a essência do ensino desta disciplina e privando os estudantes de um processo de ensino-aprendizado contextualizado e motivador, como indica os documentos normativos da educação brasileira (Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN e a Base Nacional Curricular Comum – BNCC), conforme mencionado em Freire (2019).

Uma das alternativas para enfrentamento deste problema apresentado nas avaliações do processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de física no ensino médio é o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação – TIC (Silva *et al.*, 2012; Santos, 2017; Moreira, 2018; Davi *et al.*, 2020), através de metodologias ativas que usam laboratórios virtuais durante ou complementar as aulas expositivas e que podem motivar os estudantes a buscar suas diversas formas de inteligência, como afirma a Teoria das Inteligências Múltiplas de Howard Gardner (1994).

Neste contexto, o software Modellus surge como potencial ferramenta pedagógica para auxiliar neste processo de ensino-aprendizagem destes conteúdos ministrados nas disciplinas do ensino médio (Betz e Teixeira, 2012; Machado *et al.*, 2015; Reichert e Barcelos, 2019). O software, que pode ser usado como laboratório virtual, apresenta potencialidades que vão desde a modelagem dos fenômenos físicos através de equações matemáticas, até a visualização dos gráficos relativos à variabilidade destes fenômenos, além de promover um processo de ensino-aprendizagem contextualizado e motivador, conforme preconizam os PCN e a BNCC.

Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo que visa avaliar o uso das TDIC no processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de física, em particular o uso do software Modellus como ferramenta pedagógica para o ensino-aprendizagem dos conteúdos de mecânica clássica (trabalho e energia) no primeiro ano do ensino médio em uma escola pública do município de Fortaleza no Estado do Ceará.

2. Tecnologia de informação e comunicação (TDIC) como recurso pedagógico

As Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) estão cada vez mais presentes nas metodologias de ensino nas diversas faixas etárias, em particular após o período de isolamento social devido a pandemia provocada por corona vírus nos anos de 2020 e 2021 (Rocha, 2012; Silva et al., 2022).

Segundo Santos (2017) o uso das TDIC estão cada vez mais presentes nas plataformas educacionais e este crescimento se deve também a expansão da modalidade de ensino a distância (EaD) na educação brasileira. O autor ainda afirma que estas ferramentas pedagógicas possibilitam novas reflexões sobre o processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos ministrados nas disciplinas ofertadas nos diversos níveis educacionais.

O potencial das TDIC como recursos pedagógicos também é evidenciado por Betz e Teixeira (2012) e por Machado et al. (2015). Os autores afirmam que o planejamento correto do uso das TDIC pode contribuir para o aprendizado efetivo dos conteúdos ministrados, em particular a partir de situações-problemas que transformam o ambiente escolar em um ambiente motivador, potencializando competências e habilidades.

Inúmeros estudos são encontrados na literatura que evidenciam este potencial. Dentre esses encontra-se o estudo de Rocha (2012) que usou software Ansys-CFX[®] no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos físicos associados a dinâmica de fluidos. O autor destaca as facilidades que o software apresenta na geração das malhas dos perfis em estudo da solução das equações de conservação e nas animações que facilitam a análises dos fenômenos físicos.

Silva et al. (2012) mostram as vantagens obtidas no processo de ensino-aprendizagem com o uso das TDIC em relação as aulas tradicionais (quadro e pincel). Os autores usaram um ambiente virtual como facilitador do processo de ensino-aprendizagem dos conceitos e teorias físicas associadas aos circuitos elétricos para uma turma em ensino híbrido.

Na sequência, encontram-se os estudos publicados por Ribeiro et al. (2018), por Davi et al. (2020) e Silva et al. (2022), que mostram o avanço do uso das TDIC como ferramentas pedagógicas em metodologias ativas e que ressaltam a importância destas ferramentas na facilitação do entendimento das teorias físicas e da modelagem matemática de fenômenos físicos, tais como os encontrados na ondulatória (comprimento, período frequência, amplitude e velocidade das ondas, ressonância e interferência de ondas) e na eletricidade (tensão e corrente elétrica, resistência).

Ressalta-se que apesar de serem encontrados resultados de estudos publicados que evidenciam o potencial do uso das TDIC como recursos pedagógicos, encontram-se estudos que mostram a preocupação dos professores com a formação continuada nesta área. Nestes estudos é comum encontrar citações da falta de segurança dos profissionais da educação no uso de metodologias ativas, e em particular no uso das TDIC, no processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos ministrados em sala de aula (Araújo, 2021; Silva et al., 2022).

3. Uso do software *Modellus* como facilitador do processo de ensino-aprendizagem

O *Modellus* é um software livre disponível e compatível com todos os sistemas operacionais computacionais. Estudos publicados evidenciam que o uso deste software é interativo e apresenta inúmeras possibilidades de simulações dos fenômenos físicos, que facilitam a compreensão das teorias e da modelagem matemática usada para quantificação destes fenômenos, transformando o processo de ensino-aprendizagem destes conteúdos em um processo motivador e contextualizado, assim como preconizado nos PCN e na BNCC (Heidemann et al., 2012; Betz e Teixeira, 2012; Machado et al., 2015; Reichert e Barcelos, 2019).

Betz e Teixeira (2012) destacam que o uso do *Modellus* como ferramenta pedagógica possibilita a análise de modelos científicos, das respectivas formulações matemáticas associadas a estas representações, além de facilitar a apresentação de tabelas, gráficos e animações, que são obtidos como resultado destas modelagens. Facilitando, assim, a compreensão dos fenômenos físicos pelos estudantes que estão envolvidos neste processo educacional.

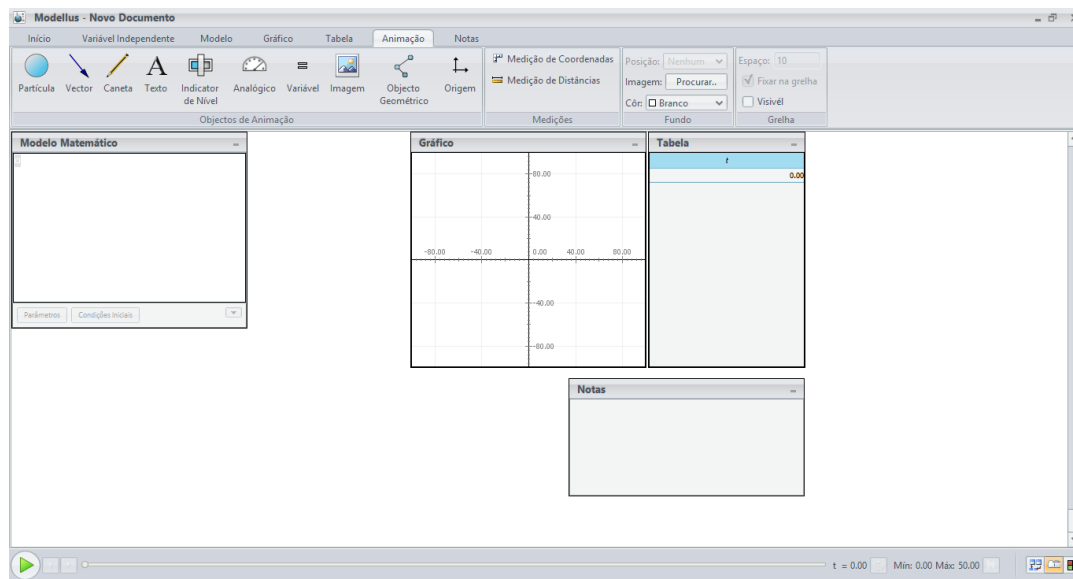
Heidemann et al. (2012) destacam a importância da habilidade de modelagem matemática como facilitadora na compreensão dos fenômenos físicos trabalhados em sala de aula e que o uso do software como ferramenta pedagógica auxiliar, através da utilização das animações, agrega facilitação no processo de ensino-aprendizado dos conteúdos. Pois, as tabelas e gráficos obtidos permitem que os estudantes obtenham as possíveis soluções dos problemas trabalhados em sala de aula, possibilitando o desenvolvimento do raciocínio lógico e da reflexão sobre cada ação, tornando o processo educacional desafiador, provocativo, crítico e inovador, concordando com o descrito em Betz e Teixeira (2012).

Machado et al. (2015) destacam que nas simulações dos fenômenos físicos associados aos estudos de cinemática realizadas como o *Modellus* podem-se controlar as variáveis (intervalo de tempo, distância, velocidade, força, período de oscilação, entre outras), assim, é possível focar a atenção dos estudantes para as características tanto dos fenômenos físicos como dos modelos matemáticos associados a estes fenômenos, ampliando as possibilidades nas dinâmicas do processo de ensino-aprendizagem adotado em sala de aula, concordando com Oliveira Jr. (2015).

Ressalta-se que os estudos encontrados na literatura concordam com as potencialidades do uso do *Modellus* como ferramenta pedagógica no processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos das disciplinas de física ministradas no ensino básico (médio), pois o software apresenta interface de fácil acesso e a capacidade facilitar o entendimento das teorias físicas e matemáticas, necessárias ao entendimento destes fenômenos que são apresentados em sala de aula (Reichert e Barcelos, 2019). E, assim, possibilita o protagonismo estudantil preconizado nos PCN e na BNCC.

4. Materiais e Métodos

Neste trabalho foi usado o software *Modellus* (Figura 1) como ferramenta pedagógica auxiliar no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos de cinemática, através da realização de simulações do movimento de queda de um corpo esférico de massa ' m ' sobre um plano inclinado com atrito. A metodologia foi aplicada aos estudantes do primeiro ano do ensino médio da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Santa Luzia, localizada em Fortaleza no Estado do Ceará.

Figura1: Interface software Modellus.

A estratégia metodológica parte da comparação entre métodos de ensino diferentes, com e sem o uso de simulações computacionais como ferramenta auxiliar para o ensino de física, em duas turmas com vinte estudantes cada uma, em que somente em uma dessas houve o uso das simulações computacionais durante as aulas.

Essas atividades foram planejadas para serem interativas e exploratórias, como recomendado pela teoria da pedagogia de Paulo Freire (2019) e por Araújo et al. (2021), visando representar experiências de aprendizagem estruturadas em torno de tópicos específicos que objetivam promover aprendizagens significativas. Assim, inicialmente foram apresentados para os estudantes das duas turmas os conceitos teóricos, físicos e matemáticos, relativos às grandezas físicas (posição, tempo, velocidade, ...) da mecânica clássica e, em seguida, houve a separação das turmas para o trabalho com o software Modellus.

Para garantir que a metodologia proposta proporcionasse interação entre o professor e os estudantes, visando o desenvolvimento cognitivo destes, a inserção das equações no software foi realizada conjuntamente, seguido de explicações do funcionamento do programa computacional. Assim, foram realizadas as simulações do movimento de queda de um corpo esférico de massa ' m ' sobre um plano inclinado com atrito, considerando somente o movimento translacional da esfera ao deslizar sobre a superfície inclinada, com várias configurações dos parâmetros das simulações (cenários), até o caso limite em que a inclinação do plano atinge o ângulo de 90° com o plano horizontal (queda livre), obtendo-se as respectivas animações, gráficos e tabelas, com dados que foram analisados.

4.1 Modelagem matemática usada nas simulações

Inicialmente, a configuração das medidas dos catetos do plano inclinado fora designada pelas letras ' Y_P ' e ' X_P ', sendo consideradas como variáveis de condição inicial das simulações. A posição inicial do corpo esférico de massa ' m ' será definida em função das medidas ' Y_P ' e ' X_P ', acrescidas de 15,0 cm para adequar o centro de massa da esfera ao topo do plano inclinado, conforme mostra a

Figura 2. Os termos descritos nesta sessão não estão subscritos por deficiência de formatação do software Modellus, mantendo assim um critério de padronização da notação matemática.

O ângulo ‘ θ ’ do plano inclinado foi quantificado em função das dimensões dos catetos do triângulo, segundo a equação abaixo:

$$\theta = -tg^{-1} \left(\frac{Yp}{(YX + \frac{(K-1)}{10000000})} \cdot K \right) + (1 - K) \cdot 90 \quad (1)$$

Em que, o fator K assume valores constantes de 0 ou 1, facilitando a correção para o caso em que seja necessário a análise do movimento em queda livre ($K = 0$).

Para o caso da queda livre K assume o valor 0, fazendo com que o resultado para o ângulo ‘ θ ’ seja de 90° . Em situações de inclinação arbitrárias diferente do ângulo de 90° , a constante K assume o valor de 1 e não ocorre inconsistências matemáticas para o cálculo de ‘ θ ’.

As forças que estão sendo exercidas no corpo de prova são: A força normal (N), força peso (P) e a força de atrito (F_{AT}). Essas forças possuem as seguintes direções respectivamente, sendo 0° para cima segundo a referência do software: ‘ θ ’, ‘ 180° ’ e ‘ $\theta - 90^\circ$ ’.

A partir da decomposição do vetor da força peso em ‘ P_x ’ e ‘ P_y ’, o módulo das forças que deslizam no plano inclinado é configurado no Modellus da seguinte forma:

$$PX = m \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad (2)$$

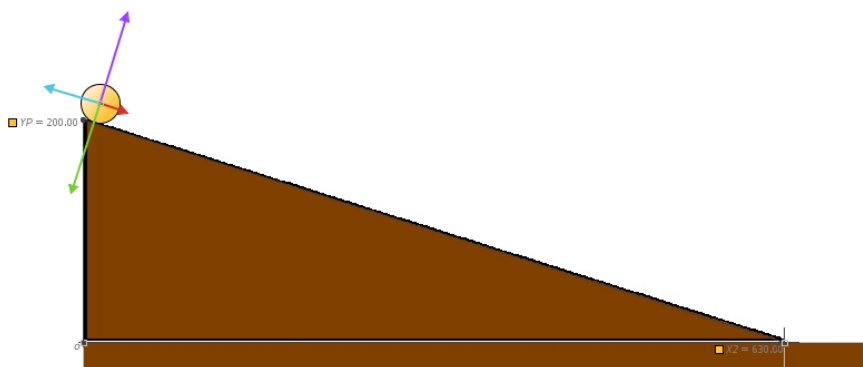
$$PY = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad (3)$$

$$N = PY \quad (4)$$

$$F_{AT} = \mu \cdot PY \quad (5)$$

O esquema usado nas simulações com o plano inclinado e os vetores das forças ‘ P_x ’ (vermelho) e ‘ P_y ’ (verde), ‘ N ’ (roxo) e ‘ F_{AT} ’ (ciano) exercidas na partícula no início do movimento pode ser observado na figura 2.

Figura 2: Corpo sob ação de forças no plano inclinado (software Modellus).



A aceleração da partícula para cada eixo é descrita nas equações abaixo, de acordo com a segunda lei de Newton, $\vec{F}_R = m\vec{a}$, assim tem-se que:

$$ax = \frac{[(PX - F_{AT}) + \sqrt{(PX - F_{AT})^2}]}{2} \cdot \frac{\cos(\theta)}{m} \quad (6)$$

$$ay = \frac{[(PX-F_{AT})+\sqrt{(PX-F_{AT})^2}]}{2} \cdot \frac{\text{sen}(\theta)}{m} \quad (7)$$

Em que, o módulo da resultante das forças corrige o caso em que a força de atrito é maior do que a componente da força peso, anulando, desta forma, a aceleração, e o fator 2 no denominador reestabelece o valor correto caso a componente da força peso seja a maior força na direção do movimento.

As coordenadas do movimento são divididas em duas partes: a primeira contendo a descida sobre o plano inclinado e a segunda contendo o movimento horizontal uniforme sobre a superfície lisa. Para o movimento sobre o plano, a equação: $\vec{S} = \vec{S}_0 + \vec{v}_0 + \vec{a} \frac{t^2}{2}$ (função horária do Movimento Retilíneo Uniformemente Variado) é aplicada a representação geométrica, descrita como as equações 8 e 10, e o segundo movimento é aplicação direta da equação: $\vec{S} = \vec{S}_0 + \vec{v}t$, a representação proposta é descrita nas equações 9 e 10:

$$X = XP + 15 + \frac{ax}{2} \cdot t^2, \text{ para } t < t_2 \quad (8)$$

$$X = 15 + V_{TERMINAL} \cdot (t - t_2), \text{ para } t \geq t_2 \quad (9)$$

$$Y = YP + 15 + \frac{ay}{2} \cdot t^2, \text{ para } t < t_2 \quad (10)$$

$$Y = 15, \text{ para } t \geq t_2 \quad (11)$$

Em que, 't₂' é o tempo para que o corpo esteja na iminência de iniciar o movimento sobre a superfície horizontal lisa. Esse tempo é calculado em função da equação: $\vec{S} = \vec{S}_0 + \vec{v}_0 + \vec{a} \frac{t^2}{2}$ no eixo vertical da seguinte maneira:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot YP}{-ay}} \quad (12)$$

A velocidade terminal é a velocidade para o qual o corpo se encontra na posição de transição de superfícies e a partir desse momento torna-se constante até o fim do movimento. A equação que descreve o módulo dessa velocidade bem como suas projeções estão descritas nas equações abaixo:

$$V_{2X} = ax \cdot t_2 \quad (13)$$

$$V_{2Y} = -ay \cdot t_2 \quad (14)$$

$$V_{TERMINAL} = \sqrt{(V_{2X}^2 + V_{2Y}^2)} \quad (15)$$

As equações abaixo, deduzidas a partir da equação: $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ descrevem as velocidades em cada um dos eixos para os instantes antes e após a transição de superfície:

$$V_X = ax \cdot t, \text{ para } t < t_2 \quad (16)$$

$$V_X = V_{TERMINAL}, \text{ para } t \geq t_2 \quad (17)$$

$$V_Y = -ay \cdot t, \text{ para } t < t_2 \quad (18)$$

$$V_Y = 0, \text{ para } t \geq t_2 \quad (19)$$

Portanto, a partir das equações acima, o módulo da velocidade pode ser calculado e consequentemente a energia cinética para cada instante de tempo decorrido, conforme consta nas equações a seguir.

$$V = \sqrt{(VX^2 + VY^2)} \quad (20)$$

$$E_C = \frac{m.V^2}{2} \quad (21)$$

Tomando-se o nível de referência como a altura em relação ao solo do centro de massa da esfera no ponto mais baixo de sua trajetória, a energia potencial gravitacional, partindo da equação $W = \Delta E_c$ é descrita como:

$$E_P = m.g.(Y - 15) \quad (22)$$

As equações $\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$ e $\mu_E > \mu_C$ aplicadas ao vínculo geométrico do plano inclinado (Figura 1) resulta na expressão para o trabalho da força de atrito sobre o corpo esférico durante o contato com a superfície rugosa, equações abaixo:

$$W_{FAT} = -\mu . m . g . \frac{\sqrt{(X-15-XP)^2}}{\cos(\theta)}, \text{ para } t < t_2 \quad (23)$$

$$W_{FAT} = 0, \text{ para } t \geq t_2 \quad (24)$$

A soma das energias cinética (equação 21) e potencial gravitacional (equação 22) resulta na energia mecânica. A variação da energia mecânica pode ser descrita de acordo com a expressão abaixo, partindo da energia mecânica no início do movimento que inicia do repouso.

$$\Delta E_M = E_P + E_C - m.g(YP) \quad (25)$$

A variável 'Rend' será utilizada para a demonstração da lei da conservação descrita na equação: $E_{M0} + W_{DISSIPATIVA} = E_M$ e pode ser escrita de acordo com a seguinte expressão:

$$Rend = \Delta E_M - W_{FAT} \quad (26)$$

3.2 Avaliação dos resultados obtidos

Para a avaliação do trabalho realizado com a metodologia proposta foi aplicado nas duas turmas participantes da pesquisa um questionário eletrônico usando a ferramenta Google Forms[®], com questões em que é necessário mostrar as habilidades e competências sobre os conceitos teóricos das grandezas físicas, bem como o domínio das teorias matemáticas necessárias a quantificação das variáveis físicas mostradas nas aulas, além do raciocínio lógico dos estudantes.

Neste contexto, a avaliação possui oito questões (Quadro 1), com múltiplas escolhas, sendo quatro destas relativas aos conceitos teóricos, três associadas a modelagem matemático e uma para investigar a livre expressão dos estudantes quanto a satisfação com o processo de ensino-aprendizagem adotado nas aulas. As questões propostas abordam grandezas físicas da mecânica clássica (trabalho e energia).

No Quadro 1: descrição das questões propostas e das alternativas de respostas apresentadas aos estudantes participantes da pesquisa.

Questões Propostas	Alternativas de Respostas
<p>Considere para as questões de 1 a 4 a situação em que um bloco de massa 'm' desce sobre um plano inclinado de um ângulo 'θ' com a horizontal e coeficiente de atrito cinético 'μ'.</p>	
<p>1. Quando o bloco desce o plano inclinado com uma taxa constante de energia cinética, podemos afirmar que:</p>	<p>a. O movimento é acelerado, pois o trabalho da força de atrito é insuficiente para retardá-lo. b. O movimento ocorre em equilíbrio dinâmico. c. O atrito desempenha uma função dissipativa de energia mecânica, sendo impossível a energia cinética se manter constante. d. Nada se pode afirmar corretamente sem os parâmetros iniciais do problema.</p>
<p>2. A energia mecânica do sistema se mantém conservada apenas no caso em que a inclinação do plano se encontra a uma angulação de:</p>	<p>a. 30°. b. 45°. c. 60°. d. 90°.</p>
<p>3. O aumento da massa do bloco não acarreta mudanças em quais grandezas físicas necessariamente?</p>	<p>a. Energia cinética. b. Energia potencial gravitacional. c. Trabalho da força de atrito. d. A porcentagem de perda de energia mecânica.</p>
<p>4. Considerando a situação descrita acima, porém com o bloco descendo em um movimento retardado, é possível afirmar que:</p>	<p>a. A taxa de perda de energia cinética é igual ao trabalho da força de atrito. b. A taxa de perda de energia potencial gravitacional é igual ao trabalho da força de atrito. c. A perda de energia mecânica do sistema é igual ao trabalho da força de atrito. d. A taxa de perda de energia cinética é igual a taxa de perda da energia potencial gravitacional.</p>
<p>5. Um bloco parte da base de um plano inclinado cujo a superfície possui coeficiente de atrito cinético "μ" de 0,6. Qual a velocidade inicial o bloco deve ter para que esteja em repouso a uma altura "h" de 12,5m. Considere a aceleração da gravidade "g" = 10m/s^2 e "θ" = 45°.</p>	<p>a. 10 m/s b. 15 m/s c. 20 m/s. d. 25 m/s.</p>
<p>6. De forma semelhante a questão anterior, imagine um bloco descendo através de um plano inclinado 30° com a horizontal. Ao descer uma certa altura "h" referente ao</p>	<p>a. 4 m. b. 5 m. c. 6 m. d. 7 m.</p>

<p>solo, o bloco que partiu com uma velocidade "v" de 6 m/s passa para o estado de repouso. O coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a superfície do plano vale 0,8. Qual a altura onde foi iniciado o movimento? Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\sqrt{3} = 1,7$.</p>	
<p>7. Uma bolinha com massa de 2 kg é liberta do repouso a uma altura de 7,2 m e descreve um movimento vertical de queda livre. Qual a energia cinética e a velocidade respectivamente da bolinha ao tocar o solo?</p>	<p>a. 121 J e 6 m/s. b. 144 J e 6 m/s. c. 121 J e 12 m/s. d. 144 J e 12 m/s.</p>
<p>8. Na sua opinião o quanto o software Modellus colabora para as aulas de física?</p>	<p>a. Muito chato e monótono, por isso não ajuda na compreensão dos conceitos físicos. b. É chamativo e interessante, porém não compreendo os conceitos pela complexidade das ferramentas. c. É chamativo e interessante e colabora de forma muito positiva para a compreensão dos conceitos físicos estudados. d. Não tenho opinião formada a respeito do software.</p>

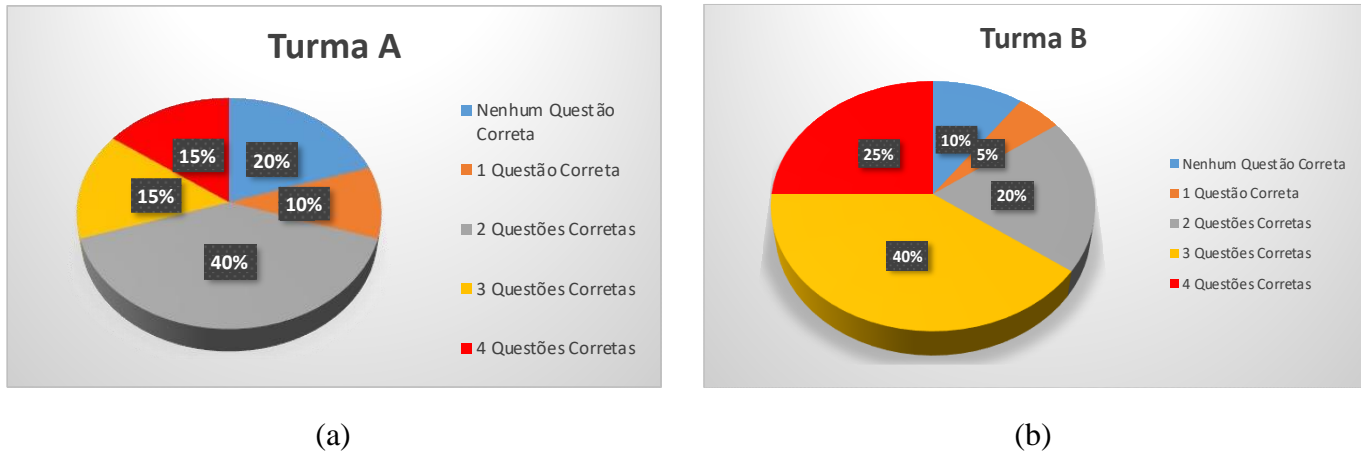
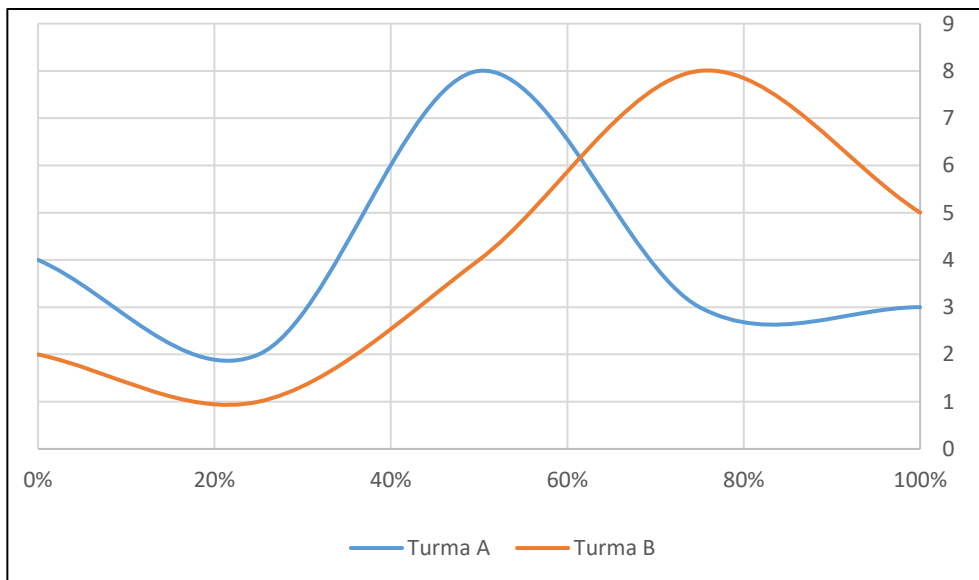
4. Resultados e discussões

Os gráficos apresentados nas Figuras 3(a) e 3(b) apresentam as porcentagens de acertos obtidas pelos estudantes das turmas A (controle) e B (Turma submetida a metodologia proposta) na resolução das quatro questões iniciais do questionário avaliativo.

Assim, observa-se que o desempenho dos estudantes da Turma B obteve maiores índices de acertos das questões propostas, sendo na primeira questão de 20% de acertos que corresponde ao dobro do percentual alcançado pelos estudantes da Turma A (controle). Outro destaque é o desempenho dos estudantes que acertaram todas as quatro primeiras questões que na turma A foi de 15% e na Turma B de 25%.

Estes resultados sugerem que o uso do Modellus como a ferramenta pedagógica pode ter auxiliado os estudantes na compreensão dos fenômenos físicos e da modelagem matemática associada e estes fenômenos. As melhorias na porcentagem de desempenho dos estudantes nas 4 questões teóricas iniciais da turma B também pode ser evidenciado através da média de acertos que são de 2,65 questões, contra 1,95 atingido pela turma A. Portanto, a turma B, considerando esta etapa inicial da avaliação, obteve uma pontuação média superior de aproximadamente 35%.

O desempenho superior obtido pelos estudantes da Turma B também pode ser observado no gráfico de dispersão das notas obtidas com a resolução das questões propostas, mostrado na Figura 4. Observa-se que o pico de uma da curva (laranja) está mais à direita em relação a curva azul, mostrando que a maior quantidade de estudantes da Turma B obtiveram melhor aproveitamento que os estudantes da Turma A.

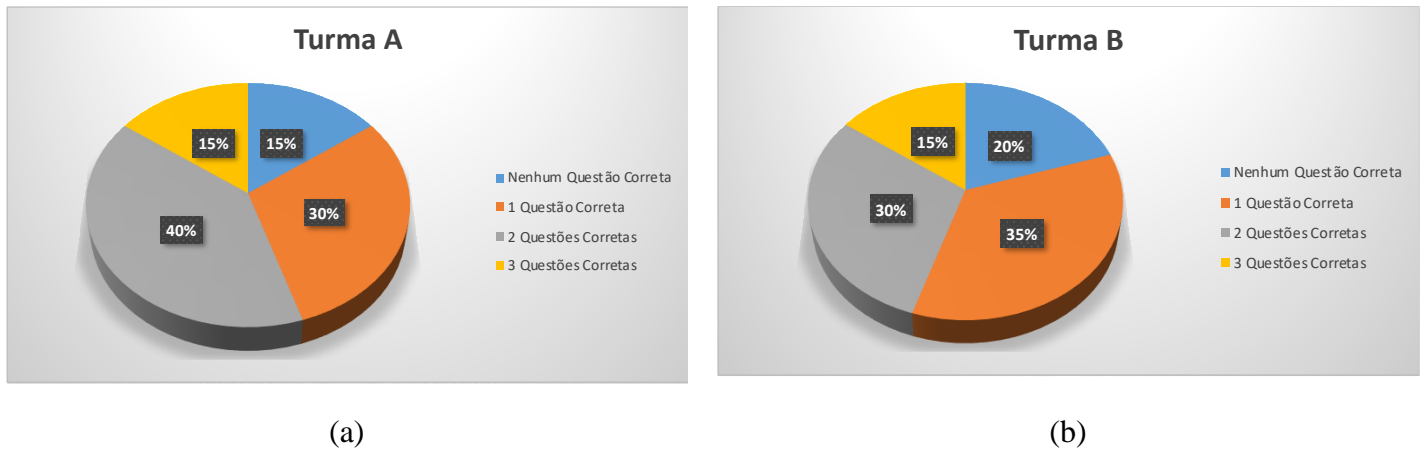
Figura 3: Rendimento percentual dos estudantes nas quatro primeiras questões propostas.**Figura 4:** Gráfico de dispersão das notas obtidas pelos estudantes das turmas A e B.

As próximas três questões propostas aos estudantes participantes da pesquisa buscam além da compreensão da formulação matemática, a compreensão do conceito de movimento e de energia, bem como o entendimento dos fenômenos físicos descritos nos enunciados.

Os resultados obtidos são apresentados nos gráficos das Figuras 5(a) e 5(b). Assim, observa-se que o percentual dos estudantes que não acertaram todas as questões da Turma A (15%) é menor do que os estudantes da Turma B. Apesar de observar rendimento aproximadamente igual entre os estudantes das duas turmas, pois na primeira questão os estudantes da Turma B obtiveram rendimento ligeiramente superior, situação que se inverte na segunda questão, e um empate no percentual de acertos da terceira questão.

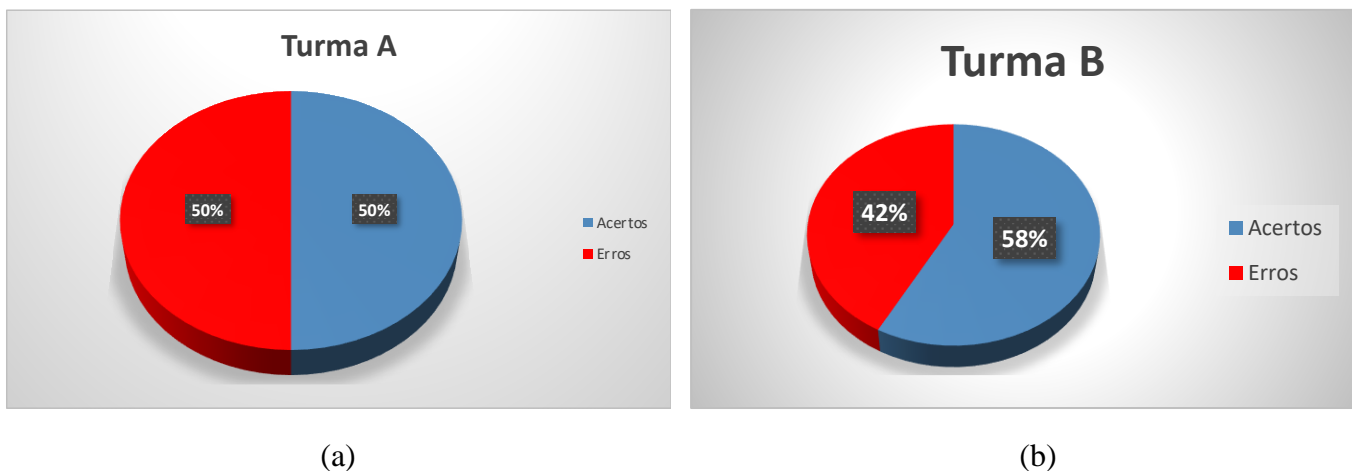
Esta constatação também se torna evidente pela média de questões acertadas pelos estudantes de cada turma, que foi de 1,55 na turma A e 1,4 na turma B. Portanto, apesar do desempenho ligeiramente superior obtido pelos estudantes da turma A, em geral, pode-se afirmar que os estudantes das duas turmas obtiveram rendimentos aproximados.

Figura 5: Rendimento percentual dos estudantes da quinta a sétima questão propostas.



Os gráficos mostrados na Figura 6 mostram os percentuais totais de acertos e erros das primeiras sete questões propostas, obtidos pelos estudantes das turmas A e B. observa-se que os estudantes da Turma B obtiveram melhor desempenho geral em relação aos estudantes da Turma A, com uma porcentagem de 8% cima do rendimento alcançado pelos estudantes da Turma A. Estes resultados evidenciam que o uso do Modellus como ferramenta pedagógica auxiliar no processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de física pode contribuir com a melhoria do rendimento dos estudantes.

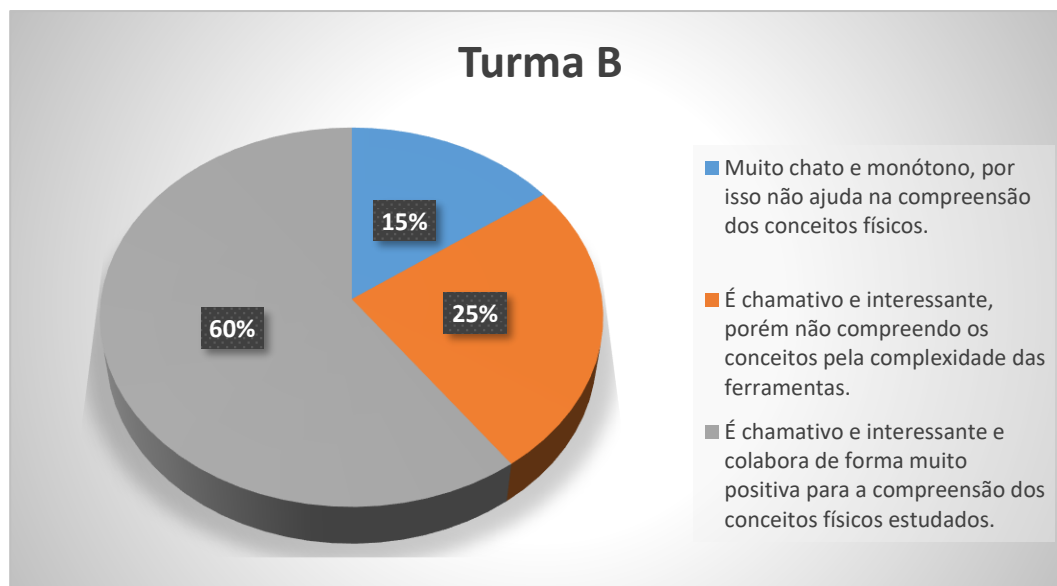
Figura 6: Rendimento total dos estudantes das Turmas A e B.



A última questão (oitava) proposta foi respondida somente pelos estudantes da Turma B, como objetivo de se investigar o grau de satisfação dos estudantes com a metodologia proposta. Os resultados obtidos mostram que 15% dos estudantes não se adaptaram ao uso do software, alegam que o uso é monótono. A maioria dos estudantes (85%) afirmam que o uso do Modellus é interessante, sendo que 25% destes estudantes ressaltam a complexidade dos conteúdos apresentados em sala de

(figura 7). O resultado mais expressivo obtido neste estudo mostra que 60% dos estudantes afirmam ter obtido compreensão dos conceitos físicos e da modelagem matemática associada a estes fenômenos apresentados em sala de aula com auxílio da metodologia aplicada no estudo.

Figura 7: Satisfação com a metodologia empregada em sala de aula.



5. Conclusões

O processo de ensino-aprendizado dos conteúdos das disciplinas de física no ensino fundamental, em particular no ensino médio brasileiro, enfrenta inúmeras dificuldades que vão desde a baixa carga horária dispensada a estas disciplinas até domínio pelos estudantes das teorias matemáticas necessárias a modelagem e a quantificação dos fenômenos físicos apresentados e discutidos em sala de aula. Isto ainda compromete o raciocínio lógicos dos estudantes que estão nesta faixa etária.

O uso de metodologias ativas através das TDIC, em particular do software Modellus nas aulas das disciplinas de física, e neste caso em aulas que são trabalhados os conteúdos de mecânica básica, apresenta potencial para motivar os estudantes na construção do conhecimento e no entendimento dos fenômenos físicos e da modelagem matemática usada para quantificar estes fenômenos, concordando com os estudos citados anteriormente (seções 2 e 3), além de provocar o raciocínio lógico e o protagonismo dos estudantes, conforme indica os documentos normativos da educação brasileira.

Foram observadas algumas limitações no processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos trabalhados em sala de aula, em particular nas questões propostas que exigem além do conhecimento das teorias físicas, ou seja, naquelas questões que exigem também o conhecimento das teorias matemáticas para a resolução. Assim, menciona-se que uma das hipóteses para obtenção deste resultado é a dificuldade recorrente do domínio pelos estudantes das teorias matemáticas necessárias a quantificação dos fenômenos físicos apresentados em sala de aula, concordando com os resultados publicados por Melo e Moita (2013) e Lima e Arins (2017).

Outro ponto positivo observado com a adoção da metodologia proposta neste trabalho é a possibilidade de se discutir e contextualizar o comportamento de várias variáveis associadas a mecânica clássica, através das tabelas, gráficos e simulações, obtidas com o uso do Modellus,

concordando com o descrito em trabalhos publicados na literatura (Heidemann et al., 2012; Betz e Teixeira, 2012; Machado et al., 2015; Reichert e Barcelos, 2019).

Por fim, é importante mencionar que a metodologia proposta neste estudo contribuiu para a melhoria da compreensão dos conceitos e da modelagem matemática associada a fenômenos físicos apresentados em sala de aula, assim, os estudantes se sentiram motivados a pensar e estimulados a fazer, conforme indicam Howard Gardner (1994) e Paulo Freire (2019).

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Estadual do Ceará (UECE), em especial ao Programa de Monitoria Acadêmica (PROMAC) da PROGRAD. Ao Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Ceará. A CAPES pelo apoio financeiro. A Secretaria de Educação do Estado do Ceará, em especial a CREDE 1. E agradecem a Escola de Ensino Fundamental e Médio Santa Luzia, Fortaleza-Ce, pelo apoio a esse trabalho.

Referências

- ARAÚJO, M.L.A; PONTES, R.J.A.; SILVA, E.M. O Ensino de climatologia como componente curricular no ensino fundamental: estudo de caso em escolas públicas da Rede Municipal de Maracanaú/Ce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.36, n.4, p.767, 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-7786360045>.
- BETZ, M. E. M.; TEIXEIRA, R. M. R. Conteúdos de métodos computacionais em material instrucional para o ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n.1, p.787–811, 2012. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp2p787>.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.
- DAVI, E. F. C. et al. FyKs: Software de simulação gráfica com programação orientada a objetos como ferramenta didática no Ensino Médio e fundamental. **A Física na Escola**, v. 18, n. 2, p. 25–28, fev. 2020.
- FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 68ª edição ed. [s.l.] Paz & Terra, 2019.
- GARDNER, H. **Estruturas Da Mente**. 2ª edição ed. Porto Alegre: Penso, 1994.
- HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Ciclos de Modelagem: uma alternativa para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 0, p. 965–1007, 2012. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp2p965>.
- HEWITT, P. G.; GRAVINA, M. H. **Física Conceitual**. 12ª edição ed. [s.l.] Bookman, 2015.
- LIMA, F.N.A.; ARINS, A.W. Uso do Programa Modellus na Modalidade de Laboratório Virtual no Ensino de Física. In: EDUCERE Congresso Nacional de Educação, 13., 2017, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba, 2017. v. 1, p. 16798-16813.

MACHADO, A.F.; MOURA, D.B.; LIMA, S.F.L. O Uso do Modells em Sala de Aula como Instrumento Motivacional para o Estudo de Óptica Geométrica — Um Estudo de Caso. **Revista Sustinere**, v. 3, n. 2, p. 144–152, 21 dez. 2015. <https://doi.org/10.12957/sustinere.2015.19629>.

MELO, Ruth Brito de Figueiredo; MOITA, Filomena Maria Gonçalves da Silva Cordeiro. O Software Modells e suas contribuições no processo de ensino e aprendizagem no movimento retilíneo uniforme e do movimento retilíneo uniforme variado. **Educação & Tecnologia**, [S.1], v.17, n.2, maio 2013. ISSN 2317-7756. <https://seer.dppg.cefetmg.br/index.php/revista-et/article/view/442>.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 73–80, dez. 2018. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>.

NEVES, R. G. M.; NEVES, M. C.; TEODORO, V. D. Modells: Interactive computational modelling to improve teaching of physics in the geosciences. **Computers & Geosciences**, v. 56, p. 119–126, jul. 2013. [10.1016/j.cageo.2013.03.010](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.03.010).

OLIVEIRA JR., R. L. DE. Introduzindo problemas e curvas de perseguição no Ensino Médio e universitário. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4502-1-4502–6, dez. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173741987>.

PASTANA, C. DE O. A Utilização do Software Modells para o Ensino de Funções Trigonômicas por Meio do Movimento Harmônico Simples. **Desenvolvimento em Ensino de Física • Rev. Bras. Ens. Fis.** 37 (4), p. 4502(1-6), 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173741987>.

RAMALHO, J. F.; SOARES, P. T.; FERRARO, N. G. **Os Fundamentos da Física. Mecânica - Volume 1**. 9ª edição ed. São Paulo: Moderna, 2007.

REICHERT, J. T.; BARCELOS, S. R. SOFTWARE MODELLUS E MODELAGEM MATEMÁTICA: RELACIONANDO CONCEITOS MATEMÁTICOS COM FENÔMENOS DA FÍSICA. **Em Teia | Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana**, v. 10, n. 2, p.1-24, 2019. <https://doi.org/10.36397/emteia.v10i2.239878>.

RIBEIRO, T. G.; SENRA, C. P.; RESENDE, M. A. Utilização do software Audacity com recurso didático no ensino de ondas. **A Física na Escola**, v. 16, n. 1, p. 43–50, maio 2018.

ROCHA, P.A.C.; SILVEIRA, J.V.P. Estudo e Aplicação de Simulação Computacional em Problemas Simples de Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, p. 4306(1-8), dez. 2012 <https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000400006>.

SANTOS, R. A. Construção de Conteúdos Digitais Interativos a partir da Teoria das Inteligências Múltiplas de Gardner. **EaD & Tecnologias Digitais na Educação**, v. 5, n. 7, p. 05, 15 dez. 2017. <https://doi.org/10.30612/eadtde.v5i7.5971>.

SILVA, H. C. DA et al. Produção de conhecimentos sobre ensino de física na modalidade a distância: tendências, lacunas, novas questões. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 21, out. 2012. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp2p708>.

SILVA, E.M.; SILVA, F.B.S.; ARAÚJO, L.M.M., SILVA, L.L.; BARBOSA, W.A. Uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TDIC) como Recursos Pedagógicos para o Ensino de Climatologia: Estudo de caso na Região Metropolitana de Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 2, p. 157-165. 2022. <https://doi.org/10.1590/0102-77863710025>.