

Robô Sniper como ferramenta de ensino para as aulas de física no tiro parabólico

Claudenir Rocha Alves Filho

Departamento de Eletrônica e Computação
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - RS, BRASIL
email: claudenir.filho@acad.ufsm.br

Gustavo Arthur Dutra

Departamento de Eletrônica e Computação
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - RS, BRASIL
email: gustavo.dutra@acad.ufsm.br

Ricardo Dias Schirmer

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - RS, BRASIL
email: ricardo.schirmer@gmail.com

Anselmo R. Cukla

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria - RS, BRASIL
email: anselmo.cukla@ufsm.br

Fernanda Pinto Mota

Universidade Católica de Pelotas
Universidade Federal de Santa Maria
Pelotas - RS, BRASIL
email: fernanda.mota@ucpel.edu.br

Solon Bevilacqua

Universidade Federal de Goiás
Goiás, BRASIL
email: solbev@gmail.com

Abstract—The integration of robotics into education is becoming increasingly widespread, offering effective tools for teaching. Extensive literature highlights the potential of robotics in programming education and in enhancing problem-solving skills through competitions. Educational games are also effective in improving memorization and analytical skills in mathematics and physics. This study utilizes a sniper robot to teach physics, focusing on projectile motion with and without air resistance. The robot's mechanical, electrical, and software components enable practical learning. The methodology includes theoretical classes, tests, and hands-on experiments. The results present a teaching plan and suggested exercises, emphasizing the robot's effectiveness in classroom settings. The conclusion underscores the educational benefits of utilizing the launch robot in physics instruction.

I. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, a robótica tem se tornado uma ferramenta cada vez mais acessível e eficaz no aprendizado de crianças e jovens. A literatura sobre o ensino de robótica, na sua forma mais simples, como o desenvolvimento de software para o ensino de programação de computadores [1] é vasta [2] [3]. Competições de robótica, por exemplo, incentivam os estudantes a desenvolverem novas habilidades, como a resolução de problemas e a criatividade [4].

Além da robótica educacional, o uso de jogos como ferramenta de aprendizagem tem se mostrado eficaz na melhoria das capacidades de memorização e análise dos alunos, especialmente na área de matemática [5]. Jogos voltados para o ensino de física, em particular, se apresentam eficazes em aumentar o interesse e a motivação dos jovens [6], conceitos físicos, que são por vezes invísíveis e abstratos, são facilitados a partir da conexão com a sua parte matemática utilizando simulações [7].

No campo de robótica na educação, [8] apresentam a construção de um robô quadrúpede de baixo custo, com o

objetivo de promover o ensino de robótica. [9] são utilizados robôs de LEGO EV3 para o aprendizado de física newtoniana, programando-os por meio da plataforma Scratch. No presente trabalho, a construção do robô não é necessária, e sua programação é realizada em alto nível, dispensando o conhecimento prévio de lógica de programação dos alunos.

O objetivo deste trabalho é utilizar o robô sniper [10] como uma ferramenta educacional, explorando sua estrutura mecânica e seu sistema computacional para auxiliar no aprendizado de conceitos de física, especificamente relacionados ao tiro parabólico. Diferente de simulações virtuais, o robô Sniper oferece uma experiência prática e realista, onde os alunos podem interagir diretamente com o equipamento e observar o comportamento físico real do projétil em tempo real. A proposta é que os alunos resolvam exercícios considerando tanto a presença quanto a ausência do atrito do ar. Dessa forma, pretende-se ensinar e aplicar conceitos físicos de forma prática e interativa, promovendo uma experiência de aprendizado imersiva que combina experimentação física real com a análise de fenômenos complexos, o que diferencia essa abordagem de métodos puramente teóricos ou simulados.

A construção do robô de lançamento é dividida em três áreas principais: mecânica, elétrica e software. O sistema mecânico é composto por três estruturas fundamentais: a base do robô, que proporciona sustentação e movimentação no eixo horizontal; o corpo, responsável por conectar todas as partes do robô; e a estrutura superior, que incorpora o sistema de lançamento de projéteis. Este projeto não caracteriza-se como uma ferramenta open-source, visto que seu código é fechado. O robô, e seus módulos são mostrados na Figura 1, que apresenta uma visualização do projeto em CAD e da estrutura real.

Este trabalho está dividido em quatro partes principais: fundamentação teórica, metodologia, resultados e conclusão. Na fundamentação teórica, são abordados os novos métodos de ensino e se explica a física envolvida no cálculo da trajetória de

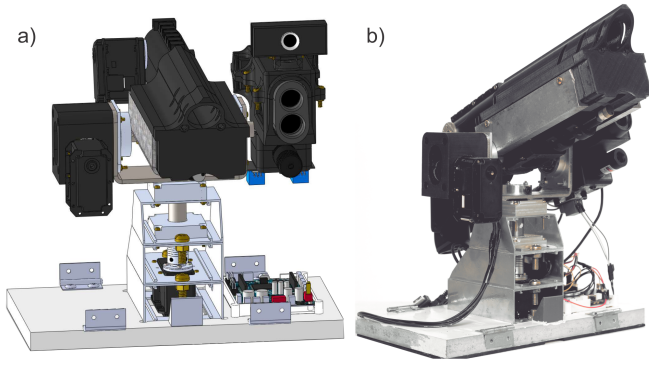


Fig. 1. (a) Estrutura em CAD, e; (b) Estrutura real.

lançamento de um projétil, considerando a resistência do ar. Na metodologia, é descrita a abordagem didática que utiliza um robô lançador, iniciando com aulas teóricas, seguidas por pré-testes para avaliar os alunos, culminando na aula experimental com o robô. Em seguida, são apresentados os resultados, que trazem um plano de ensino para a aplicabilidade do robô em sala de aula e uma lista de exercícios sugeridos aos professores para a aplicação dos pré-testes. Por fim, na conclusão, sintetizam-se os achados do trabalho, destacando as contribuições e implicações do uso do robô lançador no ensino da física.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Fundamentação educacional:

O cenário educacional está passando por profundas transformações impulsionadas pelas revoluções digitais, o que evidencia a obsolescência do método tradicional de ensino amplamente utilizado em todos os níveis educacionais. Nesse modelo, o educador atua predominantemente como um transmissor de informações, resultando frequentemente em uma abordagem que favorece a memorização superficial de conteúdos, em detrimento de um aprendizado mais significativo e crítico [11]. Neste contexto, a experimentação em sala de aula se destaca como uma prática essencial para a fixação e compreensão dos temas abordados. A experimentação permite que os alunos interajam diretamente com o conteúdo, desenvolvendo habilidades práticas e promovendo um entendimento mais profundo dos conceitos. Um exemplo disso pode ser observado no ensino de outro problema físico, como a condução de calor, onde a interação dos alunos com atividades práticas revela aspectos do fenômeno que muitas vezes não podem ser visualizados a olho nu [12].

Além disso, o Ministério da Educação (MEC) destaca a importância das metodologias ativas no processo de ensino-aprendizagem. Segundo as Diretrizes Curriculares Nacionais, a aplicação de metodologias ativas, como a aprendizagem baseada em problemas e a pesquisa experimental, é essencial para a formação de estudantes críticos e autônomos [13]. Essas abordagens não apenas facilitam a aplicação prática dos conhecimentos teóricos, mas também incentivam a construção do saber de forma mais significativa e engajadora.

Visando mitigar essa problemática, existem modos de ensino que buscam atualizar a educação com base na realidade tecnológica atual, como o aprendizado ubíquo. O aprendizado ubíquo refere-se à aquisição contínua e fluida de conhecimento e habilidades em diversos ambientes, possibilitada por tecnologias onipresentes [14]. Esse conceito é caracterizado por criar ambientes de aprendizagem que apoiam atividades educacionais a qualquer hora e lugar, visando melhorar o desempenho dos alunos. Recentemente, a robótica tem avançado significativamente, e a integração de aprendizado ubíquo com robótica tem se mostrado um paradigma promissor [15], oferecendo novas oportunidades para melhorar o desempenho acadêmico e facilitar a aprendizagem. Dessa forma, o robô lançador pode ser introduzido como uma grande ferramenta pedagógica para o ensino de física, utilizado com base no aprendizado ubíquo.

B. Fundamentação técnica:

Um dos conceitos que pode ser explorado com o uso desse robô é o movimento balístico, que é um tipo de movimento bidimensional que ocorre quando um objeto é lançado ao ar e segue uma trajetória curva chamada parábola [16]. Esse movimento é a combinação de dois movimentos: um movimento horizontal com velocidade constante e um movimento vertical com aceleração constante devido à gravidade.

A trajetória do objeto pode ser descrita pelas seguintes equações:

a) Equações da Posição desprezando a resistência do ar:

As posições horizontal (x) e vertical (y) do objeto em função do tempo são dadas pelas equações 1 e 2.

$$x = v_0 \cos(\theta)t \quad (1)$$

$$y = v_0 \sin(\theta)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

, onde v_0 é a velocidade inicial, θ é o ângulo de lançamento, t é o tempo e g é a aceleração da gravidade.

b) Equações da Posição considerando a resistência do ar: As Equações 3, 4 e 5 consideram os cálculos de posição no movimento balístico com resistência do ar, desconsiderando outros fatores externos que possam alterar a trajetória do projétil. A Equação 3 representa a força de arrasto, mas a velocidade foi decomposta em suas componentes nas Equações 4 e 5, as quais representam a posição dividida na componente horizontal (x) e componente vertical (y). A fim de apresentar os cálculos de acordo com informações do robô, as equações foram alteradas para fazer parte de ciclos computacionais, a partir do método de Euler [17], de forma que a posição e a velocidade do projétil são atualizadas iterativamente usando pequenos incrementos de tempo formando integrais.

$$k = \frac{1}{2} \rho c_d \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

$$x = x_0 + \int_0^t \left(v_{0,x} - \left(\frac{k}{m} \right) \sqrt{v_x^2 + v_y^2} v_x \right) dt \quad (4)$$

$$y = y_0 + \int_0^t \left(v_{0,y} - g - \left(\frac{k}{m} \right) \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \right) dt \quad (5)$$

. A posição inicial é dada por x_0 e y_0 . O tempo transcorrido desde o lançamento é representado por t e g representa a aceleração da gravidade. A densidade do fluido, que neste caso é o ar, é denotada por ρ . A velocidade inicial do projétil é dividida em seus componentes $v_{0,x}$ e $v_{0,y}$, enquanto v_x e v_y são os componentes da velocidade do projétil em cada eixo.

A constante de arrasto k depende do meio e das dimensões do projétil. A massa do projétil é representada por m , c_d é o coeficiente de arrasto e D é o diâmetro.

Os parâmetros do projétil, como densidade do ar (ρ), coeficiente de arrasto (c_d), e o diâmetro (D), são essenciais para calcular a constante k da força de arrasto, conforme a Equação 3. Esta constante é usada nas Equações 4 e 5 para ajustar a aceleração em função da resistência do ar. A massa (m) do projétil também é crucial, pois influencia a forma como a força de arrasto afeta a velocidade nas componentes horizontal e vertical. A cada passo de tempo, essas variáveis são usadas para recalcular as velocidades e posições do projétil, levando em conta a resistência do ar.

III. METODOLOGIA

Neste capítulo, detalharemos a metodologia empregada para o ensino de física com o uso do robô sniper. A metodologia de aplicação em sala de aula consiste em três etapas distintas que estão evidenciadas no diagrama abaixo:

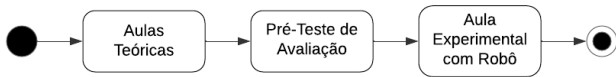


Fig. 2. Diagrama de blocos da metodologia aplicada.

Na primeira etapa, são ministradas aulas teóricas que fornecem a base conceitual sobre movimento retilíneo uniforme e movimento retilíneo uniformemente variado, com o objetivo de unir estes fenômenos físicos e abordar o movimento balístico e suas equações desprezando e considerando a resistência do ar para calcular a trajetória percorrida pelo objeto lançado. Essas aulas iniciais são essenciais para preparar os alunos para o experimento prático subsequente.

Em seguida, é aplicado um teste para avaliar o conhecimento prévio dos alunos, estabelecendo um ponto de referência para medir seu progresso ao longo do estudo e realizar projeções da trajetória do projétil com base nas informações fornecidas. O teste é composto por quatro exercícios que abrangem tanto conhecimentos teóricos sobre o fenômeno estudado quanto a capacidade de realizar projeções utilizando as equações do movimento balístico. Esta avaliação inicial é crucial para entender o nível de compreensão dos estudantes antes da intervenção prática.

Na terceira etapa, é realizada uma aula experimental utilizando um robô lançador. Durante esta sessão prática, os alunos interagem diretamente com o robô, ajustando

parâmetros de lançamento como ângulo, velocidade inicial, e considerando ou não a resistência do ar nos cálculos do projétil, entre outras variáveis. Os alunos observam as alterações nos gráficos gerados através da interface e são questionados sobre a proximidade entre os valores obtidos experimentalmente e os valores teóricos calculados. Essa comparação proporciona uma oportunidade para discutir os fatores que possam influenciar os resultados e a magnitude de seu impacto. O envolvimento direto visa despertar a curiosidade e o interesse dos estudantes pelo fenômeno estudado.

Considerando que o ensino de conceitos abstratos pode ser desafiador, a introdução de um experimento prático e envolvente pode significativamente melhorar a compreensão dos estudantes. Além disso, a utilização de gráficos em tempo real auxilia na compreensão dos conceitos teóricos, tornando o aprendizado mais interativo e dinâmico. Esta abordagem prática não apenas facilita a compreensão dos princípios físicos envolvidos, mas também aumenta o engajamento e o interesse dos alunos pela disciplina.

IV. RESULTADOS

Os resultados deste artigo são a formulação de um plano de aula em conjunto com uma lista de exercícios, que visam promover a interação dos alunos com o robô. Embora a metodologia ainda não tenha sido aplicada em sala de aula, o plano de aula foi elaborado para garantir que, quando implementado, proporcione uma experiência educacional rica e prática. A estrutura do plano foi concebida da seguinte forma:

Assunto da aula:

Conceitos sobre movimento balístico.

Objetivo geral:

Desenvolver, juntamente com os alunos, o conhecimento acerca do movimento balístico levando em consideração ou não a resistência do ar.

Objetivos específicos:

Fortalecer os conceitos de movimento retilíneo uniforme, movimento retilíneo uniformemente variado e movimento com resistência do ar, além de incentivar a construção do conhecimento com perguntas e análise dos exemplos ilustrados.

Metodologia:

Exposição oral do conteúdo pelo professor, apresentação de material com recurso multimídia, demonstração de exemplos com uma proposta de atividade (lista de exercícios). Finalizando com experimentos utilizando o robô, envolvendo o conteúdo exposto, instruindo os alunos para interagirem e modificarem os parâmetros de lançamento.

Recursos educacionais:

Será utilizado o quadro, caneta, projetor multimídia, computador e o robô lançador para a ilustração dos exemplos.

Avaliação:

Será feita no decorrer da aula, de forma contínua, envolvendo a participação durante os experimentos, o interesse e também a discussão dos exercícios propostos.

Referências:

Bibliografia: “DE FÍSICA, Fundamentos. Halliday & Resnick. Livros Técnicos e Científicos Editora” e “Taylor, John R. Mecânica clássica. Bookman Editora, 2013”.

Para a criação das atividades de teste foi abordado conceitos e cálculos de diferentes níveis de complexidade. A primeira questão explora teoricamente a força de arrasto e sua dependência da velocidade, densidade do ar, coeficiente de arrasto e área frontal do projétil. A segunda e a terceira questões, focadas em MRU sem resistência do ar, pedem a determinação das componentes da velocidade inicial e a posição do projétil após um tempo específico, respectivamente. A quarta questão, mais avançada, integra o efeito da resistência do ar para calcular a posição do projétil após 1 segundo, considerando fatores como densidade do ar, coeficiente de arrasto, diâmetro, massa e aceleração da gravidade. A seguir, são apresentadas as questões detalhadamente:

Questão 1: Nível Básico (Teórica)

Explique o conceito de força de arrasto e como ela afeta o movimento de um projétil no ar. Discuta a dependência da força de arrasto com a velocidade do projétil, a densidade do ar, o coeficiente de arrasto e a área frontal.

Questão 2: Nível Intermediário (MRU sem atrito do ar)

Um projétil é lançado com uma velocidade inicial de 30 m/s em um ângulo de 60° com a horizontal. Determine as componentes horizontal ($v_{0,x}$) e vertical ($v_{0,y}$) da velocidade inicial.

Questão 3: Nível Avançado (MRU sem atrito do ar)

Um projétil é lançado com uma velocidade inicial de 40 m/s em um ângulo de 45° com a horizontal. Determine a posição do projétil após 2 segundos de voo, ignorando a resistência do ar.

Questão 3: Nível Avançado

Para um projétil com massa de 0,15 kg e velocidade inicial de 30 m/s lançado a um ângulo de 60° com a horizontal, determine a força de arrasto F_{ar} após 0,5 segundos de voo. Considere a densidade do ar (ρ) de $1,2 \text{ kg/m}^3$, o coeficiente de arrasto (c_d) de 0,47 e o diâmetro do projétil (D) de 0,1 m.

Questão 4: Nível Avançado com Integração

Um projétil é lançado com uma velocidade inicial de 50 m/s em um ângulo de 45° com a horizontal. A densidade do ar (ρ) é de $1,2 \text{ kg/m}^3$, o coeficiente de arrasto (c_d) é 0,47, e o diâmetro do projétil (D) é 0,1 m. A massa do projétil (m) é 0,145 kg e a aceleração da gravidade (g) é $9,81 \text{ m/s}^2$. Calcule a posição x e y do projétil após 1 segundo de voo.

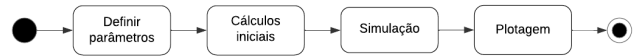


Fig. 3. Diagrama de fluxo do algoritmo.

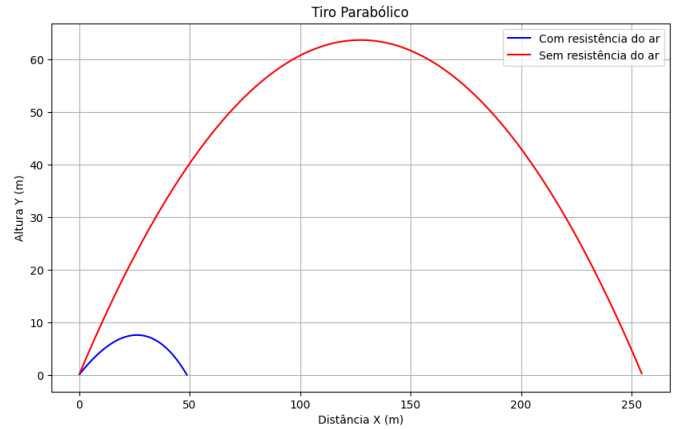


Fig. 4. Simulação com e sem a resistência do ar.

O diagrama de fluxo apresentado na Figura 3 ilustra o processo de simulação e visualização do tiro parabólico, considerando as condições com e sem resistência do ar. O processo inicia-se com a definição dos parâmetros de entrada, como a velocidade inicial, o ângulo de lançamento, e as condições ambientais. Em seguida, são realizados os cálculos preliminares para determinar as componentes da velocidade e a constante de resistência do ar, caso esta seja incluída na simulação. A simulação é então conduzida em duas fases: uma que considera a resistência do ar, onde a trajetória do projétil é calculada e registrada, e outra que a ignora, permitindo a comparação entre as duas situações. O diagrama culmina com a etapa de plotagem, onde ambas as trajetórias são visualizadas em um único gráfico, possibilitando a análise dos efeitos da resistência do ar sobre o movimento do projétil ou a visualização isolada de uma das simulações, conforme a necessidade do estudo.

Um exemplo prático discutido em uma aula anterior é ilustrado na Figura 4, onde a trajetória de um projétil foi calculada em intervalos de 0,01 segundos. As posições horizontais e verticais foram atualizadas tanto para o cenário com resistência do ar quanto para o sem resistência, permitindo a geração de um gráfico comparativo das duas trajetórias. No cálculo da resistência do ar é levado em consideração o formato e as características físicas do projétil, demonstrando como o arrasto afeta a distância percorrida e a altura atingida. Na simulação, a bolinha utilizada possui uma massa de 0,145 kg, equivalente à de uma bola de beisebol, um diâmetro de 0,073 metros (7,3 cm) e um coeficiente de arrasto (c_d) de 0,47, típico para esferas.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho explorou a viabilidade do uso do robô Sniper no ensino de conteúdos de física, especificamente relacionados ao tiro parabólico. O robô Sniper pode atuar tanto como simulador quanto como ferramenta prática, permitindo que os alunos complementem o aprendizado teórico por meio de experimentos e simulações. Embora a metodologia proposta ainda não tenha sido aplicada em sala de aula, foi elaborado um plano de ensino detalhado, cuja implementação será realizada em trabalhos futuros. A aplicação de pré-testes e a avaliação da eficácia das atividades práticas também estão previstas como etapas subsequentes. Com base no planejamento apresentado, conclui-se que o uso do robô Sniper como ferramenta educacional é viável e possui potencial para aumentar a motivação dos alunos, contribuindo para um aprendizado mais envolvente e eficaz.

REFERENCES

- [1] João Piedade et al. “On Teaching Programming Fundamentals and Computational Thinking with Educational Robotics: A Didactic Experience with Pre-Service Teachers”. en. In: *Education Sciences* 10.9 (Aug. 2020), p. 214. ISSN: 2227-7102. DOI: 10.3390/educsci10090214. URL: <https://www.mdpi.com/2227-7102/10/9/214> (visited on 07/28/2024).
- [2] Charoula Angeli. “The effects of scaffolded programming scripts on pre-service teachers’ computational thinking: Developing algorithmic thinking through programming robots”. en. In: *International Journal of Child-Computer Interaction* 31 (Mar. 2022), p. 100329. ISSN: 22128689. DOI: 10.1016/j.ijcci.2021.100329. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212868921000519> (visited on 07/30/2024).
- [3] Kanika, Shampa Chakraverty, and Pinaki Chakraborty. “Tools and Techniques for Teaching Computer Programming: A Review”. In: *Journal of Educational Technology Systems* 49.2 (Dec. 2020). Publisher: SAGE Publications Inc, pp. 170–198. ISSN: 0047-2395. DOI: 10.1177/0047239520926971. URL: <https://doi.org/10.1177/0047239520926971> (visited on 07/30/2024).
- [4] Salomi Evripidou et al. “Educational Robotics: Platforms, Competitions and Expected Learning Outcomes”. en. In: *IEEE Access* 8 (2020), pp. 219534–219562. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3042555. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9281039/> (visited on 07/28/2024).
- [5] Giuseppina Gerarda Barbieri, Rosa Barbieri, and Roberto Capone. “Serious Games in High School Mathematics Lessons: An Embedded Case Study in Europe”. en. In: *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 17.5 (Apr. 2021), em1963. ISSN: 13058215, 13058223. DOI: 10.29333/ejmste/10857. URL: <https://www.ejmste.com/article/serious-games-in-high-school-mathematics-lessons-an-embedded-case-study-in-europe-10857> (visited on 07/28/2024).
- [6] Suliyanah et al. “Literature Review on The Use of Educational Physics Games in Improving Learning Outcomes”. en. In: *Journal of Physics: Conference Series* 1805.1 (Mar. 2021), p. 012038. ISSN: 1742-6588, 1742-6596. DOI: 10.1088/1742-6596/1805/1/012038. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1805/1/012038> (visited on 07/28/2024).
- [7] Edward Chi-Ping Lin. “High school students’ perceptions about the helpfulness of PhET simulations for learning physics”. en. Master of Philosophy. Queensland University of Technology, 2020. DOI: 10.5204/thesis.eprints.201913. URL: <https://eprints.qut.edu.au/201913> (visited on 07/28/2024).
- [8] Y. N. Zhang and M. Q. An. “Structure and software architecture design of an extremely low-cost quadruped robot for education”. In: *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1931. ICAIE 2021: IOP Publishing, 2021, p. 012007. DOI: 10.1088/1742-6596/1931/1/012007.
- [9] Johannes Addido, Andrea C. Borowczak, and Godfrey B. Walwema. “Teaching Newtonian physics with LEGO EV3 robots: An integrated STEM approach”. In: *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 19.6 (2023), em2280. DOI: 10.29333/ejmste/13232. URL: <https://doi.org/10.29333/ejmste/13232>.
- [10] Ricardo Dias Schirmer et al. “Project of a Sentinel Robot Controlled with a Tracking Algorithm”. In: *2022 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2022 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2022 Workshop on Robotics in Education (WRE)*. 2022, pp. 241–246. DOI: 10.1109/LARS/SBR/WRE56824.2022.9995943.
- [11] Michel Corci Batista, Polônia Altoé Fusinato, and Ricardo Brugnolle Bliini. “Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de Física”. In: *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences* 31.1 (2009), pp. 43–49.
- [12] Marcelo Lacortt, Alexandre Pitol Boeira, and Anselmo Rafael Cukla. “Uma prática de laboratório para equações diferenciais parciais: condução de calor em uma barra de cobre”. pt. In: *Revista Educar Mais* 5.4 (July 2021). Number: 4, pp. 839–848. ISSN: 2237-9185. DOI: 10.15536/reducarmais.5.2021.2404. URL: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/educarmais/article/view/2404> (visited on 08/13/2024).
- [13] Ministério da Educação. *Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica*. 2013. URL: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192 (visited on 07/31/2024).
- [14] Saadiah Yahya, Erny Ahmad, and Kamarularifin Abd Jalil. “The definition and characteristics of ubiquitous learning: A discussion”. In: *International Journal of Education and Development using ICT* 6.1 (2010).

- [15] Nian-Shing Chen, I-Chun Hung, and Chun-Wang Wei. “Developing ubiquitous learning system with robots for children’s learning”. In: *2010 Third IEEE international conference on digital game and intelligent toy enhanced learning*. IEEE. 2010, pp. 61–68.
- [16] David Halliday, Robert Resnick, and Jearl Walker. “Fundamentos de física, volume 1: mecânica”. In: *Rio de Janeiro, LTC* (2008).
- [17] Karine Nayara Faria do Valle et al. “Métodos Numéricos de Euler e Runge-Kutta”. In: (2012).