

A CURVA BRAQUISTÓCRONA: UM EXPERIMENTO IMPRESSO EM 3D PARA O ESTUDO DO MOVIMENTO NA FÍSICA

LETICIA GASIGLIA SERRADAS¹, LIVIA JENIFFER FARIA DA SILVA², ALEX LINO³

¹ Discente do curso de Licenciatura em Física e bolsista do Programa Institucional de Iniciação à Docência (Pibid/CNPq), IFSP, Campus Caraguatatuba, livia.faria@aluno.ifsp.edu.br.

² Discente do curso de Licenciatura em Física e bolsista do Programa Institucional de Iniciação à Docência (Pibid/CNPq), IFSP, Campus Caraguatatuba, leticia.gasiglia@aluno.ifsp.edu.br.

³ Doutor em Educação pela UEM e docente do IFSP, Campus Caraguatatuba, alex.lino@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 7.08.04.02-8 Métodos e Técnicas de Ensino

RESUMO: Este trabalho apresenta a aplicação de uma proposta experimental intitulada Pista 3D, desenvolvida com alunos do Ensino Médio, com o objetivo de promover a compreensão dos conceitos de cinemática, dinâmica e energia mecânica a partir da observação e análise do movimento em diferentes rampas. Uma das curvas estudadas é a braquistócrona, que tem a propriedade de ser o caminho mais rápido entre dois pontos. A atividade foi elaborada a partir de uma abordagem investigativa, que visa aproximar os estudantes do processo de construção do conhecimento científico. O experimento baseia-se no uso de uma pista tridimensional impressa em 3D, na qual esferas de pequenas massas percorrem trajetórias de alturas variadas, permitindo observar a conversão entre energia potencial gravitacional e energia cinética, bem como as perdas de energia por atrito, e ainda, verificar qual dos caminhos é o mais rápido. Os resultados evidenciaram que a atividade não apenas aumentou o engajamento e a interação entre os alunos, mas também contribuiu de forma significativa para a compreensão dos princípios fundamentais da mecânica clássica.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Física; Braquistócrona; Energia; Movimento; Impressão 3D

THE BRACHYSTOCHRON CURVE: A 3D PRINTED EXPERIMENT FOR STUDYING MOTION IN PHYSICS.

ABSTRACT: This work presents the application of an experimental proposal entitled 3D Track, developed with high school students. Its objective is to promote understanding of the concepts of kinematics, dynamics, and mechanical energy through the observation and analysis of motion on different slopes. One of the curves studied is the brachistochrone, which has the property of being the fastest path between two points. The activity was designed using an investigative approach, aiming to bring students closer to the process of constructing scientific knowledge. The experiment uses a 3D-printed three-dimensional track, on which spheres of small mass travel along paths of varying heights, allowing observation of the conversion between gravitational potential energy and kinetic energy, as well as energy losses due to friction, and also to determine which path is the fastest. The results showed that the activity not only increased student engagement and interaction but also significantly contributed to their understanding of the fundamental principles of classical mechanics.

KEYWORDS: Teaching; Physics; Energy; Movement; Experiment.

INTRODUÇÃO

O ensino de Física no Ensino Médio ainda enfrenta obstáculos significativos, sobretudo pela abstração dos conceitos e pela dificuldade dos estudantes em estabelecer relações entre teoria e fenômenos reais (Machado, 2014). Essa distância entre o conteúdo formal e o cotidiano do aluno costuma gerar desinteresse e comprometer a aprendizagem significativa,

frequentemente substituída pela memorização de fórmulas e pela resolução mecânica de exercícios.

Nesse contexto, atividades experimentais assumem papel essencial como recurso pedagógico que possibilita a concretização de conceitos e o desenvolvimento de habilidades investigativas (Araújo, 2003).

A proposta Pista 3D foi concebida como uma ferramenta didática voltada à exploração dos conceitos de cinemática, dinâmica e energia mecânica, articulando a experimentação com uma abordagem investigativa. O trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) e aplicado durante as intervenções realizadas na escola campo, possibilitando a integração entre teoria e prática no contexto da formação docente e do ensino de Física.

O ensino por investigação baseia-se na ideia de que o conhecimento científico é construído ativamente pelo estudante a partir de problemas, observações e hipóteses, em um processo semelhante à prática científica (Carvalho, 2018). Essa perspectiva rompe com o modelo transmissivo de ensino e promove o protagonismo discente, estimulando a curiosidade, o raciocínio lógico e a argumentação científica (Zômpero, 2011).

A curva braquistócrona, do grego brachistos (mais curto) e chronos (tempo), é o caminho de menor tempo percorrido por um corpo em queda sob a ação da gravidade entre dois pontos distintos. Diferente do que se poderia supor intuitivamente, o trajeto mais rápido não é a linha reta, mas sim uma curva denominada cicloide, cuja forma permite que o corpo adquira maior velocidade inicial devido a um trecho mais inclinado. Esse problema clássico foi proposto por Johann Bernoulli em 1696 e solucionado por cientistas como Isaac Newton e Gottfried Leibniz, tornando-se um marco histórico no desenvolvimento do cálculo variacional. No ensino de Física, a braquistócrona representa uma oportunidade didática de articular conceitos de energia, movimento e tempo de percurso, demonstrando de forma concreta a relação entre teoria matemática e fenômeno físico observável.

O ensino por investigação, baseia-se na ideia de que o conhecimento científico é construído ativamente pelo estudante a partir de problemas, observações e hipóteses, em um processo semelhante à prática científica (Carvalho, 2018). Essa perspectiva rompe com o modelo transmissivo de ensino e promove o protagonismo discente, estimulando a curiosidade, o raciocínio lógico e a argumentação científica (Zômpero, 2011).

De acordo com Freire (1996), ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as condições para que o aluno o produza e o reconstrua. Nessa perspectiva, o professor torna-se mediador do processo de aprendizagem, conduzindo a investigação e incentivando o diálogo crítico e reflexivo. Essa concepção se alinha à aprendizagem significativa defendida por Ausubel, na qual os novos conhecimentos adquirem sentido à medida que são relacionados a experiências prévias e situações concretas.

No contexto do ensino de Física, essa abordagem investigativa se revela especialmente potente. Segundo Carvalho (2018), o estudante deve ser levado a observar fenômenos, levantar hipóteses, testar ideias e discutir resultados, de modo a compreender a natureza da ciência e o papel das evidências na construção do saber. Assim, a experimentação não deve ser tratada apenas como demonstração, mas como uma situação-problema que desafia o aluno a refletir sobre o porquê dos fenômenos observados (Araújo, 2003).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018) reforça esse movimento ao destacar que o ensino de Ciências da Natureza deve favorecer a formação de competências científicas por meio da investigação, análise e interpretação de fenômenos físicos. As habilidades EM13CNT204 e EM13CNT205 orientam que o estudante deve ser capaz de elaborar explicações e previsões sobre movimentos e interações entre corpos, considerando as incertezas

e as limitações experimentais. Isso evidencia a importância de práticas que aproximem o aluno da ciência como processo, e não apenas como produto.

A atividade Pista 3D atende a essas diretrizes ao propor uma experimentação prática com uma pista tridimensional impressa, na qual pequenas esferas percorrem trajetórias com diferentes alturas e curvaturas. O experimento permite observar de forma concreta a conversão entre energia potencial gravitacional e energia cinética, além das perdas de energia por atrito e da ação da força centrípeta nas curvas (Tipler, 2009). A análise desses fenômenos possibilita ao aluno compreender as leis da mecânica clássica de maneira ativa e contextualizada.

Dessa forma, a proposta busca mais do que ilustrar conceitos físicos: pretende aproximar o estudante da natureza investigativa da ciência, promovendo uma aprendizagem autônoma e reflexiva.

METODOLOGIA

A proposta Pista 3D foi desenvolvida com uma turma do primeiro ano do Ensino Médio, durante duas aulas de cinquenta minutos cada, no componente curricular de Física. O experimento teve como finalidade explorar conceitos de cinemática, dinâmica e energia mecânica por meio da observação do movimento de esferas em rampas e curvas tridimensionais.

A atividade foi planejada a partir de uma abordagem investigativa mediada, em que o professor atua como orientador e o aluno participa ativamente da observação e da formulação de explicações. O experimento foi realizado utilizando uma pista impressa em 3D, com diferentes trajetórias e alturas, e pequenas esferas de massas variadas. A estrutura permitiu observar a conversão entre energia potencial gravitacional e energia cinética, bem como as perdas de energia por atrito e a ação da força centrípeta nas curvas.

No início da aula, o professor apresentou o experimento e levantou questões norteadoras, como “Por que a esfera não retorna à mesma altura após descer a rampa?” e “O que acontece com a velocidade da esfera nas curvas?”. Essas perguntas tiveram o propósito de instigar a curiosidade e conectar os fenômenos observados aos princípios da mecânica clássica.

Os alunos se reuniram em torno da mesa onde o experimento estava montado e acompanharam as demonstrações realizadas pelos professores. Não houve coleta de dados quantitativos pelos estudantes; a atividade teve caráter observacional e conceitual, priorizando a discussão coletiva e a interpretação qualitativa dos fenômenos. Durante a execução, os alunos observaram o comportamento das esferas em diferentes trilhas (reta, curva suave e curva braquistócrona), analisando visualmente as variações de velocidade e tempo de descida.

Ao final da observação, os alunos responderam a um questionário com quatro questões abertas, elaborado para avaliar a compreensão conceitual e estimular a reflexão sobre o fenômeno. As perguntas abordaram: (1) qual trajetória proporcionou menor tempo de percurso; (2) como a velocidade variou ao longo da curva; (3) quais leis da Física explicam o movimento observado; e (4) qual foi a principal conclusão extraída da experiência.

As respostas foram analisadas qualitativamente, buscando identificar a capacidade dos estudantes em relacionar os conceitos de energia potencial e cinética, as forças envolvidas e as perdas por atrito. Essa metodologia buscou favorecer a aprendizagem ativa e significativa dos conceitos de movimento e energia, aproximando a prática experimental da construção do conhecimento científico em sala de aula.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O questionário aplicado após a realização da experimentação buscou explorar os conceitos físicos envolvidos no movimento das esferas na pista braquistócrona e nas outras curvas. Ao todo, foram elaboradas quatro questões abertas, com o intuito de investigar o nível de

compreensão conceitual dos estudantes e seus pontos de vista sobre os fenômenos observados, tanto do ponto de vista teórico quanto prático. As perguntas buscaram verificar se os alunos foram capazes de relacionar as observações experimentais com as leis da Física discutidas em sala, especialmente no que diz respeito à influência da forma da trajetória no tempo de descida e na aceleração do movimento.

Na primeira questão, que teve como objetivo analisar a percepção dos alunos quanto a velocidade das diferentes pistas e identificar qual delas permitia que a esfera completasse o trajeto em menos tempo, todos os estudantes identificaram a pista braquistócrona como a mais rápida, demonstrando consenso em relação ao comportamento observado. As justificativas indicaram que os alunos compreenderam a relação entre a curvatura da pista e o aumento da velocidade, associando intuitivamente o formato da trilha ao ganho de velocidade. Esse resultado evidencia o envolvimento dos estudantes com o experimento e o potencial da atividade em despertar a curiosidade científica (Alves Silva *et al.*, 2020), favorecendo a compreensão de conceitos relacionados ao movimento e à ação da gravidade.

Na segunda questão, que investigava se a velocidade da esfera variava ao longo da curva braquistócrona, a maioria dos alunos afirmaram que sim, a velocidade da esfera aumenta ao longo percurso, especialmente na parte inicial da curva, onde ocorre maior aceleração. Essa compreensão demonstra que os alunos compreenderam corretamente a influência da inclinação da pista na aceleração causada pela gravidade, reconhecendo que o corpo adquire velocidade à medida que avança pela trajetória curva (Vieira, 2023).

Na terceira questão, que indagava quais leis da Física se relacionam ao experimento, as respostas mencionaram a “ação da gravidade” e as “leis da dinâmica”, o que demonstra que os estudantes reconheceram a presença das leis de Newton no experimento. Embora poucos tenham citado o princípio da conservação da energia, é possível observar uma compreensão inicial da ideia de que a forma da curva influencia o tempo total do percurso, ou seja, uma aproximação intuitiva ao problema da braquistócrona (Dos Santos, 2022).

Por fim, na quarta questão, os alunos foram questionados sobre suas conclusões em relação ao experimento. As respostas evidenciam que os estudantes compreenderam que o formato da trilha influencia diretamente o tempo e a velocidade da esfera, percebendo que uma curva mais acentuada no início favorece maior ganho de velocidade e, por consequência, um tempo total menor de descida. Essa percepção mostra que os alunos conseguiram relacionar a geometria da trajetória ao comportamento dinâmico do corpo em movimento, revelando uma compreensão qualitativa consistente do princípio físico envolvido.

De modo geral, as respostas apresentadas demonstram uma boa assimilação dos conceitos pretendidos com a intervenção. A experimentação prática se mostrou eficaz para consolidar o aprendizado, permitindo que os alunos relacionassem a teoria à observação direta de um fenômeno físico real. Entretanto, percebe-se a necessidade de aprofundar discussões teóricas, especialmente no que diz respeito à distinção entre velocidade, aceleração e tempo mínimo de descida.

Em suma, o experimento com a pista 3D foi uma ferramenta pedagógica eficiente para promover a compreensão dos conceitos de movimento, aceleração e energia, além de estimular o raciocínio científico e o aprendizado ativo dos estudantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da proposta experimental Pista 3D demonstrou-se uma estratégia didática eficaz para o ensino dos conceitos de movimento, energia e dinâmica no Ensino Médio. A utilização de uma pista tridimensional impressa em 3D possibilitou aos estudantes observar

de forma concreta fenômenos frequentemente abordados apenas de maneira teórica, favorecendo a aprendizagem significativa e o engajamento nas aulas de Física.

Os resultados indicaram que os alunos compreenderam a relação entre a forma da trajetória e o comportamento do movimento, identificando corretamente aspectos como a variação da velocidade, a ação da gravidade e as perdas de energia por atrito. A atividade estimulou o raciocínio lógico, a curiosidade e a discussão científica, reforçando o potencial das abordagens investigativas como mediadoras da construção do conhecimento.

Observou-se também que a experimentação despertou nos estudantes o interesse pela interpretação dos fenômenos e pelo papel da ciência na explicação do mundo físico. No entanto, verificou-se a necessidade de ampliar momentos de sistematização teórica para consolidar os conceitos de aceleração, velocidade média e energia mecânica total.

Em síntese, a Pista 3D contribuiu significativamente para aproximar o ensino de Física da realidade dos alunos, evidenciando que práticas experimentais simples, quando articuladas a metodologias investigativas, podem promover o protagonismo discente e o pensamento científico crítico. Trabalhos futuros podem explorar o uso de sensores e recursos digitais para coleta de dados quantitativos, ampliando as possibilidades de análise e aprofundamento dos conceitos abordados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio concedido por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho e a realização das atividades de ensino e pesquisa junto às escolas públicas.

REFERÊNCIAS

ALVES SILVA, J. N.; VASCONCELOS NETO, J. A. D.; XIMENES, C. A. P.; MORAIS, A. C. S. **A experimentação como ferramenta motivacional no ensino de física / Experimentation as a motivational method in physics teaching.** Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 6, n. 12, p. 102473–102485, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/22232>.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. **Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2, p. 176–194, 2003.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva.** Lisboa: Plátano, 2003.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília: MEC, 2018.

CARVALHO, A. M. P. de. **Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula.** São Paulo: Cengage Learning, 2018.

DOS SANTOS, Luan Leite. **A CICLOIDE: BREVE HISTÓRICO E ESTUDO DA braquistócrona.** Orientadora: Prof. Dr. Sharon Dantas da Cunha. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Pau de Ferros, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/5cb3e926-6ffa-451a-8e49-52e272629fdb/content>.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa.** São Paulo: Paz e Terra, 1996.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Mecânica.** 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. A. **O ensino de ciências: desafios e perspectivas.** Educação & Sociedade, v. 35, n. 127, p. 15–31, 2014.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

VIEIRA, C. C.; BARRETO, D. L.; GEVU, G.; MOTA, L. **A braquistócrona, o tracker e a impressão 3D.** X Congresso de Ensino Pesquisa Extensão, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/conepe/article/view/23345/20703>.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. **Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens.** Ciência & Educação, v. 17, n. 3, p. 599–611, 2011.