

USO DA PLATAFORMA ARDUINO NA CONSTRUÇÃO DE UM TRILHO DE AR DE FÁCIL ACESSO PARA EXPERIMENTAÇÃO EM FÍSICA

USE OF THE ARDUINO PLATFORM IN THE CONSTRUCTION OF AN ACCESSIBLE AIR TRACK FOR PHYSICS EXPERIMENTATION

Vivian Machado de Menezes¹, João Felipe Onetta², Vitor Augusto Costa e Souza³,
Wanderson Gonçalves Wanzeller⁴ e Andresa Freitas⁵

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo didático de trilho de ar desenvolvido com materiais de fácil acesso, visando facilitar a compreensão de conceitos teóricos de física e tornando a educação mais acessível, engajadora e eficaz. O artigo descreve a construção dos sistemas mecânico e eletrônico do modelo que utiliza a plataforma Arduino para aquisição de dados, tendo notável importância no ensino de física, pois permite a aprendizagem de conceitos teóricos através de experimentos práticos. O trilho de ar foi desenvolvido para a investigação prática de fenômenos físicos relacionados à mecânica, como o MRU e o MRUV. Os testes realizados demonstraram sua eficácia na simulação de ambos os movimentos, com resultados quantitativos satisfatórios e desempenho compatível com equipamentos comerciais. No MRU, a relação linear entre distância e tempo foi confirmada, indicando uma velocidade constante; no MRUV, a relação parabólica entre distância e tempo validou a aceleração constante do carrinho. Assim, comprova-se o potencial educacional do projeto para o ensino prático em contextos com recursos limitados, demonstrando que é viável proporcionar uma experiência de aprendizado enriquecedora e acessível, tornando o ensino mais dinâmico e atrativo para os estudantes.

Palavras-chave: Modelo didático; mecânica; sensor óptico reflexivo; movimento sem atrito.

ABSTRACT

This work presents a didactic air track model developed with easily accessible materials, aimed at facilitating the understanding of theoretical physics concepts and making education more accessible, engaging, and effective. The article describes the construction of the mechanical and electronic systems of the model, which uses the Arduino platform for data acquisition and plays a notable role in physics education, as it enables the learning of theoretical concepts through hands-on experimentation. The air track was developed for the practical investigation of mechanical phenomena such as uniform motion (UM) and uniformly accelerated motion (UAM). The tests demonstrated its effectiveness in simulating both types of motion, yielding satisfactory quantitative results and performance comparable to that of commercial equipment. In UM, the linear relationship between distance and time was confirmed, indicating constant velocity; in UAM, the parabolic relationship between distance and time validated the constant acceleration of the cart. These findings demonstrate the educational potential of the project for practical instruction in resource-limited

1 Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) - campus Itaqui. E-mail: demenezes.vivian@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7331-4583>

2 Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - campus Laranjeiras do Sul. E-mail: joao.onetta@estudante.uffs.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0093-2641>

3 Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). E-mail: costavitoraugusto@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8888-5529>

4 Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - campus Laranjeiras do Sul. E-mail: wanderson@uffs.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4371-0777>

5 Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - campus Laranjeiras do Sul. E-mail: andresa.freitas@uffs.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6186-6839>

contexts, showing that it is feasible to provide an enriching and accessible learning experience, thereby making physics teaching more dynamic and appealing to students.

Keywords: *Didactic model; mechanics; reflective optical sensor; frictionless motion.*

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais obstáculos encontrados no ensino de física está relacionado à dificuldade do educando em relacionar a teoria científica aprendida em sala de aula com a realidade que está a sua volta, muitas vezes devido às abstrações dos conteúdos (Serafim, 2001). Nesse contexto, Medeiros e Medeiros (2002) destacam diversas vantagens do uso de simulações no ensino de física, o que permite a testagem de hipóteses, tornando conceitos abstratos mais concretos, facilitando a aprendizagem dos estudantes.

Entretanto, muitos equipamentos específicos para o estudo de fenômenos físicos apresentam alto custo, dificultando a aquisição pelas escolas. Como consequência, os estudantes acabam tendo contato apenas com a teoria em detrimento das atividades experimentais, o que prejudica seu processo de aprendizagem (Alves; Medeiros, 2023; Miranda Filho *et al.*, 2023). Nesse sentido, a democratização do acesso a laboratórios de ciências em escolas públicas torna-se uma medida fundamental para garantir a equidade no ensino experimental e promover uma aprendizagem mais significativa.

Assim, sabendo-se da importância que tem a interação do educando com a prática, a utilização de materiais acessíveis e/ou de baixo custo na realização de experimentos físicos torna-se uma atitude vantajosa, auxiliando na compreensão de conceitos e despertando o interesse dos estudantes. Além disso, com esses materiais é possível ter maior flexibilidade na adaptação dos experimentos de acordo com os recursos disponíveis, o que promove um ensino mais inclusivo, estimulante e inovador (Medeiros Junior; Nascimento, 2025; Silva; 2025).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento, empregando materiais de baixo custo e fácil acesso, para o aprendizado de fenômenos e demonstrações de mecânica, a fim de estudar o movimento retilíneo de corpos com atrito praticamente nulo, com resultados tão precisos quanto os dos equipamentos disponíveis no mercado.

O estudo da cinemática é um conceito abordado durante o ensino médio e muitas vezes é apresentado para o educando apenas de maneira teórica, com o repasse de fórmulas que os alunos decoram para o momento e depois esquecem, o que dificulta a aprendizagem significativa do conteúdo pelos estudantes (Macêdo, 2010). A seguir, são apresentados trabalhos que desenvolveram experimentos com um trilho de ar para o estudo da cinemática, equipamento que minimiza o atrito entre o objeto (carrinho) e a superfície percorrida por ele (trilho), servindo para observar o movimento descrito pelo carrinho, isento de forças externas resultantes, através de medidas temporais. Para isso, utiliza-se um gerador de fluxo de ar conectado ao trilho, cuja superfície superior apresenta pequenos orifícios, gerando uma fina camada de ar que faz o carrinho flutuar.

Silva e Cavalcanti (2022) produziram um trilho de ar a partir de uma base de madeira móvel e uma fixa, um cano de PVC com pequenos orifícios simetricamente dispostos, um aspirador de pó (adaptado como gerador de fluxo de ar), LEDs, sensores LDR, placa Arduino e carrinhos de PVC. As medidas temporais foram registradas pelos sensores, conectados à placa Arduino.

Santos (2019) construiu um trilho de ar de PVC para ensino de estudo de funções afins e quadráticas, utilizando sensor ultrassônico e micro-controlador Arduino para a programação do sensor.

Laudares, Lopes e Cruz (2004) construíram um trilho de ar com tubos e conexões de PVC. O trilho ficava apoiado sobre uma base de madeira, um pouco acima e paralelo a um perfil de alumínio em U, onde foram fixados os sensores de posição (um conjunto de chaves magnéticas chamadas de reed-switch ou reed-relay), sendo que os detectores eram ligados a dois bornes e o ar era injetado no trilho por um aspirador de pó doméstico. O reed-relay é uma pequena ampola de vidro que contém duas lâminas de material ferromagnético bem próximas uma da outra, que se fecham quando são aproximadas a um ímã, mostrando o tempo exato que o carrinho passa em determinada posição.

Diante do apresentado acima, percebe-se que há diferentes abordagens para a implementação do trilho de ar na análise do movimento de um corpo. Neste artigo, propõe-se o desenvolvimento de um protótipo de trilho de ar, cujo diferencial está na integração entre baixo custo, modularidade e aquisição de dados via Arduino, integrando peças modeladas em impressão 3D, conectores P2 e canos PVC. Além disso, o uso de sensores ópticos reflexivos, móveis e precisos, permite maior flexibilidade experimental em comparação com trabalhos que utilizam sensores fixos. Pode-se observar que os resultados encontrados são compatíveis com os adquiridos de equipamentos comerciais, o que corrobora com a proposta do projeto.

A proposta da construção do trilho de ar é uma inovação tanto técnica quanto pedagógica. Tecnicamente, a inovação está na utilização de sensores ópticos reflexivos com conexões embutidas P2 e caixas de controle impressas em 3D para a construção de um sistema funcional de aquisição de dados com sensores e Arduino. Do ponto de vista pedagógico, o protótipo favorece a aprendizagem ativa, em que o aluno participa do processo de construção do conhecimento, possibilitando-o compreender tanto o fenômeno físico quanto a instrumentação necessária para medi-lo.

Este trabalho se alinha à perspectiva da aprendizagem significativa, uma vez que promove a articulação entre conceitos teóricos de cinemática e sua aplicação prática por meio da experimentação. Além disso, o experimento apresenta características típicas do ensino investigativo, pois permite a formulação de hipóteses, a coleta e análise de dados de grandezas físicas (como posição, tempo, velocidade e aceleração), e a comparação entre resultados experimentais e modelos teóricos. A possibilidade de modificar variáveis do sistema, como posição dos sensores e massas envolvidas, amplia o potencial investigativo da proposta. Adicionalmente, o protótipo permite que os estudantes também participem da própria construção, calibração, programação e análise do equipamento.

2 REVISÃO TEÓRICA

A cinemática é o ramo da mecânica clássica que estuda os movimentos dos corpos sem considerar as forças que os causam, mas descrevendo sua trajetória, velocidade e aceleração. Denomina-se movimento retilíneo aquele que tem por trajetória uma linha reta (Sales; Maia, 2011), por exemplo, o movimento retilíneo uniforme (MRU) e o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV).

Quando a velocidade de um móvel se mantém constante dentro de certo intervalo de tempo, ou seja, com aceleração nula, diz-se que o movimento é uniforme e, caso ele ocorra em uma única direção, tem-se um MRU (Bernardo, 2011). O caso em que o movimento de corpos é retilíneo, com aceleração constante e diferente de zero, é denominado MRUV (Sales; Maia, 2011). Desta forma, como o MRUV é um movimento que possui aceleração constante, a velocidade varia de maneira uniforme.

O MRU pode ser descrito pela função (Equação (1)):

$$x(t) = x_0 + v \cdot t, \quad (1)$$

sendo $x(t)$ a posição de um objeto (medida em m , no SI) no instante de tempo t (medido em s , no SI). Esse objeto inicia o seu movimento na posição x_0 com uma velocidade constante v (medida em m/s , no SI), o que implica que o objeto não tem uma aceleração (medida em m/s^2 , no SI), pois a definição de aceleração é a variação da velocidade (Δv) ocorrida em um intervalo de tempo (Δt), definida pela Equação (2):

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \quad (2)$$

Sendo assim, quando o objeto tem aceleração constante, a sua velocidade se modifica com o tempo e a posição é dada por uma equação quadrática, Equação (3):

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2, \quad (3)$$

na qual v_0 é a velocidade inicial. Nesse caso, tem-se um MRUV. Outra função importante que relaciona a velocidade com o tempo é dada pela Equação (4):

$$v(t) = v_0 + a \cdot t. \quad (4)$$

A característica mais evidente entre as Equações (1) e (3) é que elas representam, respectivamente, uma função polinomial do primeiro e do segundo grau para descrever a posição do objeto em função do tempo.

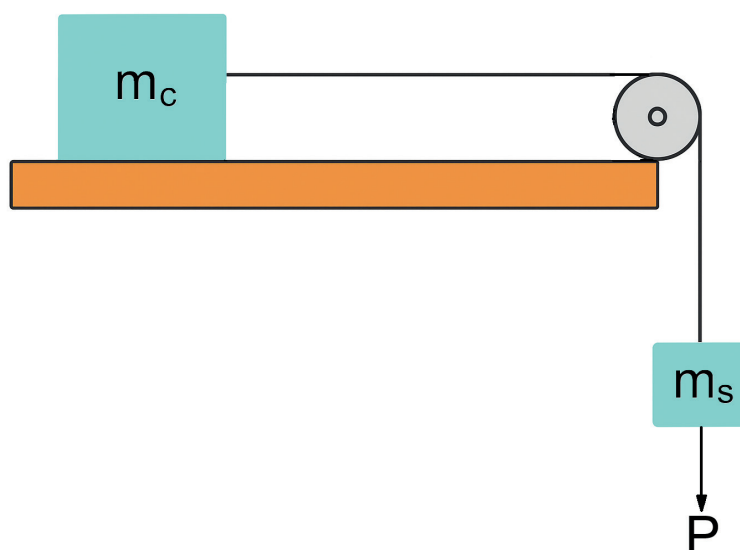
A segunda lei de Newton afirma que a força resultante que age sobre um corpo é igual ao produto da massa do corpo pela sua aceleração. Se os corpos pertencentes a um sistema estão rigidamente ligados uns aos outros, pode-se tratá-los como um único corpo, e a força resultante a que este corpo está submetido é a soma vetorial das forças externas. Assim, pode-se relacionar a força resultante externa que age sobre um sistema à sua aceleração, através da segunda lei de Newton (Halliday; Resnick; Walker, 2009).

Para o caso de um trilho de ar, onde uma massa suspensa puxa o carrinho, desprezando o atrito entre o carrinho e o trilho (Figura 1), tem-se as seguintes equações:

$$\begin{aligned}F_R &= M \cdot a = (m_c + m_s) \cdot a, \\F_R &= P, \\(m_c + m_s) \cdot a &= m_s \cdot g, \\a &= \frac{m_s \cdot g}{(m_c + m_s)},\end{aligned}\tag{5}$$

onde F_R é a força resultante do sistema (medida em N , no SI), M é a massa total do sistema (medida em kg , no SI), m_c é a massa do carrinho (medida em kg , no SI), m_s é a massa suspensa (medida em kg , no SI), P é a força peso da massa suspensa (medida em N , no SI) e g é aceleração gravitacional (que vale, aproximadamente, $9,81 \text{ m/s}^2$).

Figura 1 - Simulação de um trilho de ar, onde uma massa suspensa puxa o carrinho, desprezando o atrito entre o carrinho e o trilho.



Fonte: Construção dos autores.

A massa suspensa atua até certo ponto, acelerando o carrinho por uma distância Δx . Durante o trecho em que há aceleração, temos um MRUV, onde a velocidade pode ser descrita por (Halliday; Resnick; Walker, 2009):

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x.$$

Considerando o carrinho partindo do repouso ($v_0=0$), obtém-se:

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot \Delta x}. \quad (6)$$

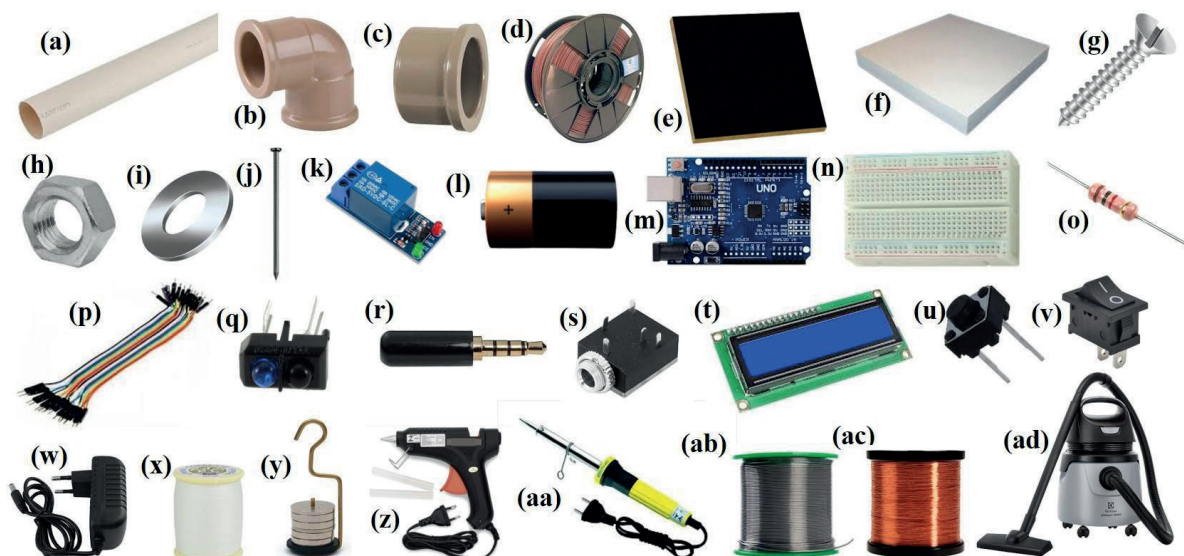
3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trilho de ar foi construído utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso, com o objetivo de facilitar a execução de experimentos e tornar as aulas de física do ensino médio mais dinâmicas, despertando a curiosidade dos alunos. Utilizando a plataforma Arduino e criatividade foi possível criar um equipamento funcional e preciso. O código escrito e utilizado no projeto está disponível em um arquivo de acesso público no Google Drive (Menezes *et al.*, 2025).

3.1 CONSTRUÇÃO DO TRILHO DE AR

A Figura 2 ilustra os materiais utilizados para o desenvolvimento do trilho. Em seguida, são explicitados os passos da montagem do sistema.

Figura 2 - Materiais utilizados para a confecção do trilho (imagens fora de escala): (a) canos, (b) joelhos e (c) cap de PVC, (d) filamentos PLA para impressão 3D, (e) madeira MDF reutilizada, (f) isopor, (g) parafusos, (h) porcas, (i) aruelas, (j) prego, (k) relé, (l) pilhas D, (m) Arduino UNO, (n) protoboard, (o) resistores, (p) jumpers, (q) sensores óptico reflexivo TCRT5000, (r) plug P2 macho e (s) fêmea, (t) display LCD, (u) botões chave táctil, (v) interruptor, (w) fonte, (x) linha de algodão, (y) massas de metal e suporte, (z) pistola de cola quente, (aa) ferro de solda, (ab) estanho, (ac) fio de cobre esmaltado, (ad) aspirador de pó.

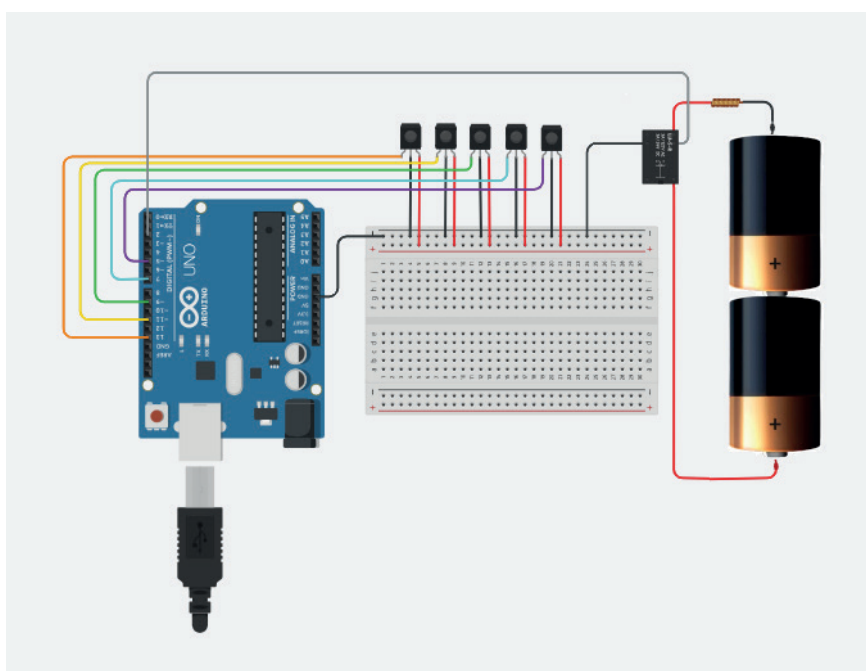


Fonte: Construção dos autores.

3.1.1 Sistema elétrico

Para a montagem do sistema elétrico, foram utilizados os seguintes componentes: Arduino UNO, mini protoboard; resistores de $300\ \Omega$ e $10\ k\Omega$; fios de conexão; cinco sensores ópticos reflexivos TCRT5000, relé e eletroímã. Estes componentes são os necessários para a determinação do tempo levado pelo objeto para cada variação de espaço percorrido. O esquema da Figura 3 ilustra as conexões realizadas.

Figura 3 - Conexões realizadas para a montagem do sistema elétrico.



Fonte: Construção dos autores.

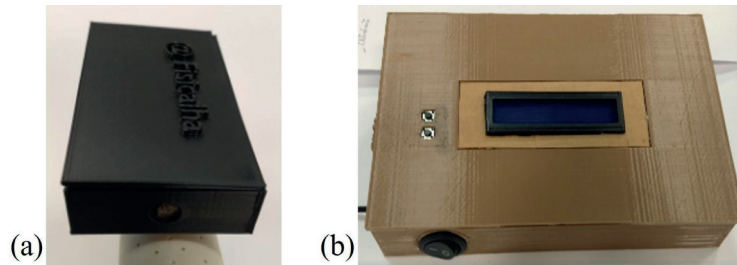
Um componente essencial para o funcionamento do equipamento foi o sensor óptico reflexivo, que detecta a passagem do objeto sobre o trilho. Ele funciona com um par emissor-receptor composto por um LED infravermelho e um fototransistor que detecta objetos através da reflexão do feixe de luz infravermelha. No aparato utilizou-se sensores deste tipo e alguns cabos para conectá-los ao Arduino, por meio de ligações do tipo P2 (macho/fêmea estéreo), dando maior mobilidade e organização ao sistema. Este tipo de sensor também foi utilizado no trabalho de Almeida (2021), para o desenvolvimento de um pêndulo.

O eletroímã foi construído com um fio de cobre esmaltado enrolado em um prego, como uma bobina. A finalidade do eletroímã era controlar o início do deslocamento do carrinho sobre o trilho de ar, sendo sua liberação realizada por meio do acionamento de um botão, operado por um relé integrado ao circuito.

Duas caixas foram modeladas, sob medidas, para comportar os equipamentos do sistema elétrico, sendo impressas em 3D com filamento PLA. O eletroímã e o relé foram colocados na caixa

da Figura 4(a). A Figura 4(b) ilustra a caixa na qual ficaram armazenados o Arduino, a protoboard, fiações, P2 fêmea, um display LCD, dois botões seletores de funções e um interruptor.

Figura 4 - Caixas onde foram armazenados (a) o eletroímã e o relé e (b) o Arduino, a protoboard, fiações, P2 fêmea, o display LCD, botões seletores de funções e o interruptor.



Fonte: Construção dos autores.

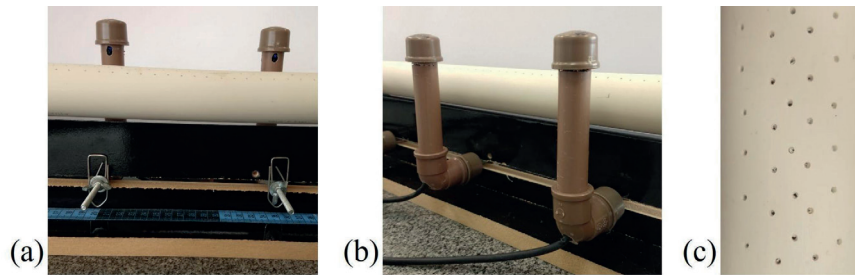
Para calibração dos sensores ópticos reflexivos, foram realizados repetidos testes de passagem do carrinho, onde a confiabilidade da calibração foi verificada pela repetibilidade dos tempos medidos e pela baixa dispersão dos dados obtidos.

3.1.2 Sistema mecânico

O suporte do sistema mecânico foi elaborado com duas tábuas de madeira, medindo 110 cm por 10 cm, conectadas em formato de “T”, contando com uma fita métrica acoplada à base para o posicionamento preciso dos sensores. Na tábua vertical foi feito um corte de 104 cm de largura e 0,5 cm de altura, onde foram posicionados os sensores acoplados em um cano PVC de 20 mm e fixados com parafusos, arruelas e porcas. Os suportes dos sensores foram construídos de modo que ficassem móveis (Figura 5(a), 5(b)), permitindo a variação de suas posições (distância entre eles), possibilitando o registro de diferentes localizações do objeto (carrinho).

Para a construção do trilho, que funcionou como a trajetória do carrinho, foi utilizado um cano PVC de 140 cm de comprimento e 40 mm de diâmetro, com orifícios simetricamente dispostos ao longo da parte superior do cano, para saída de ar (Figura 5(c)). No sentido transversal do cano, a distância entre os orifícios era de 5 mm e no sentido longitudinal, 1 cm, totalizando 5 carreiras. Esse processo foi realizado a fim de minimizar o atrito do carrinho com o trilho, utilizando-se uma broca de 1,5 mm de diâmetro.

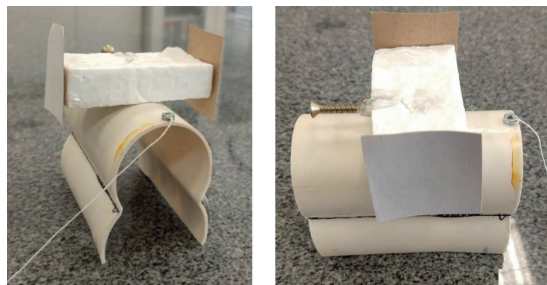
Figura 5 - Fixação dos suportes dos sensores: (a) vista frontal e (b) vista posterior; (c) orifícios no cano PVC.



Fonte: Construção dos autores.

O carrinho foi construído com um cano PVC de 9,2 cm de comprimento por 40 mm de diâmetro. Para encaixá-lo no trilho, foi feito um corte na parte inferior do cano, dobrando-o em ambos os lados. Na parte superior do cano foi colado um isopor de 7 cm x 3,5 cm x 1,7 cm, no qual fixou-se um parafuso, com o objetivo de atração com o eletroímã, e dois retângulos de papel cartão de 3,7 cm x 4,1 cm para dar equilíbrio ao carrinho, conforme a Figura 6. Também foi fixada uma linha na parte frontal do carrinho, conectando-o a uma massa de metal. Ao final do trilho, foi fixada uma roldana plástica de 4,3 cm de diâmetro, na qual a linha deslizava, movimentando o carrinho com a ação da massa que ficava suspensa. Para fixar a roldana ao trilho, utilizou-se um suporte, projetado conforme as medidas do cano e da roldana, produzido com filamento PLA na impressora 3D.

Figura 6 - Vista frontal e lateral do carrinho.

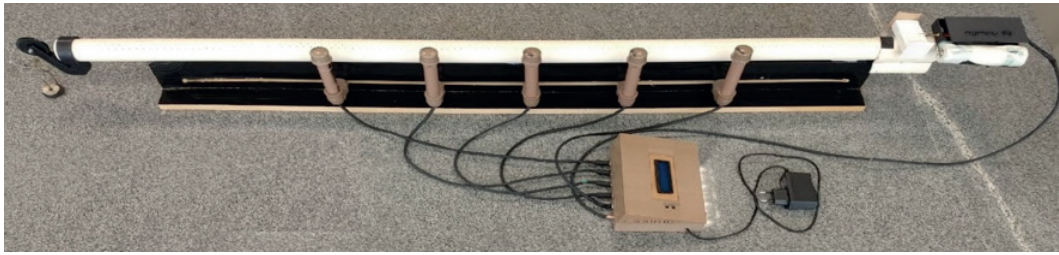


Fonte: Construção dos autores.

O fluxo de ar do sistema, necessário para retirar ao máximo o atrito entre o carrinho e o trilho, foi obtido por meio de um aspirador de pó doméstico, na função soprar.

3.1.3 Montagem do experimento

Após o desenvolvimento dos sistemas elétrico e mecânico, o trilho de ar foi montado conforme a Figura 7.

Figura 7 - Trilho de ar completo.

Fonte: Construção dos autores.

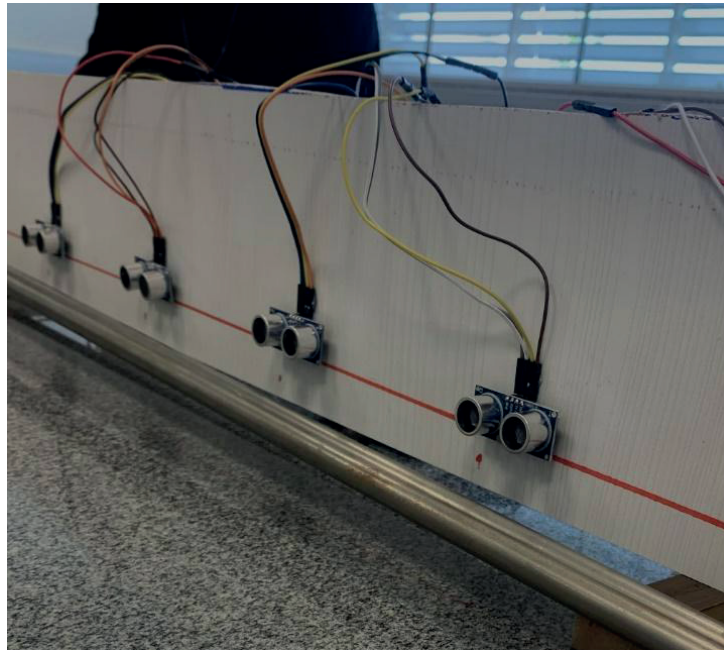
A caixa contendo o eletroímã e o relé foi acoplada à direita do trilho e duas pilhas alcalinas D, associadas em série, foram utilizadas para gerar o campo magnético do eletroímã. Na mesma extremidade uma fonte de ar (aspirador de pó) foi acoplada ao cano. Na outra extremidade foi colocado um tampo dentro do cano (não visível), para forçar o ar a sair apenas pelos orifícios, e uma roldana para a passagem da linha conectada ao carrinho e à massa suspensa.

A plataforma Arduino foi utilizada para fazer a comunicação entre os sensores, o relé e o display LCD. Foi utilizada uma fonte de 9 V para alimentar o Arduino e um interruptor para acionar o sistema. Com o acionamento do sistema, o eletroímã segurava o carrinho por meio do parafuso acoplado nele. A programação permitia escolher entre o experimento com o MRU e o MRUV, através do display e do acionamento dos botões, na caixa marrom (Figura 4(b)). O aparato experimental construído, assim como o código utilizado, foram validados para operar sob diferentes condições experimentais, incluindo experimentos com aceleração nula (MRU) e com aceleração constante (MRUV), variando-se as fontes de ar, as massas suspensas no sistema, a massa do carrinho e as posições dos sensores, obtendo-se resultados consistentes e com baixa dispersão.

Acionado o fluxo de ar, o movimento (MRU ou MRUV) era escolhido e o relé desativava o eletroímã, dando início ao movimento do carrinho, que era puxado pela massa suspensa para direcionar o movimento. O eletroímã era reativado em seguida. No display eram mostrados os tempos em que o carrinho passava por cada sensor.

3.2 EXPERIMENTO INICIAL

Inicialmente, o aparato experimental foi construído com sensores ultrassônicos colados em uma madeira, na qual foram fixados dois cilindros metálicos para a rolagem de uma esfera de aço (Figura 8). Após alguns testes, foi perceptível uma elevada taxa de erro relacionada tanto ao tempo de resposta do sensor ultrassônico, que utiliza ondas sonoras para medir distâncias, quanto ao atrito entre o cilindro e a esfera, tornando os cálculos imprecisos. A partir disso, o sensor ultrassônico foi substituído pelo sensor óptico reflexivo (TCRT5000), dando mais sensibilidade ao sistema, e os dois cilindros pelo trilho de ar feito com cano PVC.

Figura 8 - Protótipo inicial.

Fonte: Construção dos autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o protótipo desenvolvido, foram realizados experimentos tanto para o MRU, quanto para o MRUV, utilizando-se diferentes fontes de ar, sendo um aspirador de pó na função soprar e um gerador de fluxo de ar de um trilho de ar comercial da marca Azeheb (Azeheb, 2025). Além do experimento com o protótipo, também foi utilizado o trilho da Azeheb para simular a mesma situação, a fim de comparação e verificação da eficiência do protótipo.

4.1 MRU

Para a realização do experimento do MRU, primeiramente, foi verificado (com um nível de bolha) se o trilho estava totalmente horizontal (sem inclinação). Em seguida, os sensores foram dispostos com uma distância de 15 cm entre eles e o carrinho foi preso ao eletroímã. Ao ser selecionada a função MRU, o relé era desligado, liberando o carrinho, e o peso da massa suspensa puxava-o iniciando o movimento. Neste caso, o tempo começava a contar a partir do instante em que o carrinho passava pelo primeiro sensor, onde sua posição inicial era nula. A estrutura na parte superior do carrinho acionava os sensores ao passar por eles, registrando o tempo no cronômetro digital. Vale ressaltar que a massa suspensa atuava no movimento do carrinho acelerando o sistema, mas parava de interferir antes de chegar ao primeiro sensor, quando o cronômetro iniciava a contagem do tempo e o movimento não era mais acelerado, descrevendo um MRU.

Primeiramente, o experimento foi realizado com o trilho de ar comercial da Azeheb, cuja massa do carrinho era de 219 g e a massa suspensa de 29 g. Foram realizados três testes e os tempos de passagem do carrinho pelos sensores podem ser visualizados na Tabela 1.

Em seguida, realizou-se dois experimentos com o protótipo, utilizando-se um carrinho de massa igual a 217 g, com massa suspensa de 30 g. Para cada experimento foram realizados três testes e foi empregada uma fonte de ar diferente, o gerador de fluxo de ar de um trilho de ar comercial da Azeheb e um aspirador de pó na função soprar, cujos tempos de passagem do carrinho pelos sensores podem ser visualizados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Nas tabelas, a velocidade foi obtida por meio da Equação (1), utilizando-se as diferentes posições dos sensores com seus respectivos tempos médios para a passagem do carrinho.

Tabela 1 - Resultados obtidos pelo trilho de ar Azeheb.

Sensor	Posição do sensor (m)	Tempo (s)				Velocidade (m/s)
		Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo médio	
1	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	-
2	0,15	0,229	0,229	0,230	0,229	0,655
3	0,30	0,458	0,457	0,458	0,458	0,655
4	0,45	0,689	0,687	0,687	0,688	0,654
5	0,60	0,919	0,915	0,916	0,917	0,654

Fonte: Construção dos autores.

Tabela 2 - Resultados obtidos pelo protótipo e soprador Azeheb.

Sensor	Posição do sensor (m)	Tempo (s)				Velocidade (m/s)
		Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo médio	
1	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	-
2	0,15	0,222	0,221	0,219	0,221	0,679
3	0,30	0,445	0,440	0,440	0,442	0,679
4	0,45	0,673	0,666	0,665	0,668	0,674
5	0,60	0,903	0,896	0,893	0,897	0,669

Fonte: Construção dos autores.

Tabela 3 - Resultados obtidos pelo protótipo e aspirador de pó.

Sensor	Posição do sensor (m)	Tempo (s)				Velocidade (m/s)
		Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo médio	
1	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	-
2	0,15	0,223	0,221	0,220	0,221	0,679
3	0,30	0,440	0,439	0,439	0,439	0,683
4	0,45	0,680	0,679	0,680	0,680	0,662
5	0,60	0,906	0,904	0,905	0,905	0,663

Fonte: Construção dos autores.

Após a realização dos testes acima, foi calculada também a velocidade média do carrinho para os três experimentos. Na Tabela 1, a velocidade média foi de 0,6550(5) m/s (com desvio padrão de

5×10^{-4} m/s), na Tabela 2 obteve-se 0,675(4) m/s (com desvio padrão de $4,15 \times 10^{-3}$ m/s) e na Tabela 3 o resultado foi 0,672(9) m/s (com desvio padrão de $9,37 \times 10^{-3}$ m/s). De acordo com os resultados obtidos, foi possível observar que os três experimentos apresentaram velocidades muito próximas, variando entre 0,6550(5) m/s e 0,675(4) m/s. Esse comportamento era esperado, pois os sistemas possuíam massas muito parecidas (tanto a do carrinho quanto a suspensão), fazendo com que eles apresentassem acelerações muito próximas enquanto os carrinhos percorriam a mesma distância (21 cm) até o primeiro sensor, adquirindo, praticamente, a mesma velocidade.

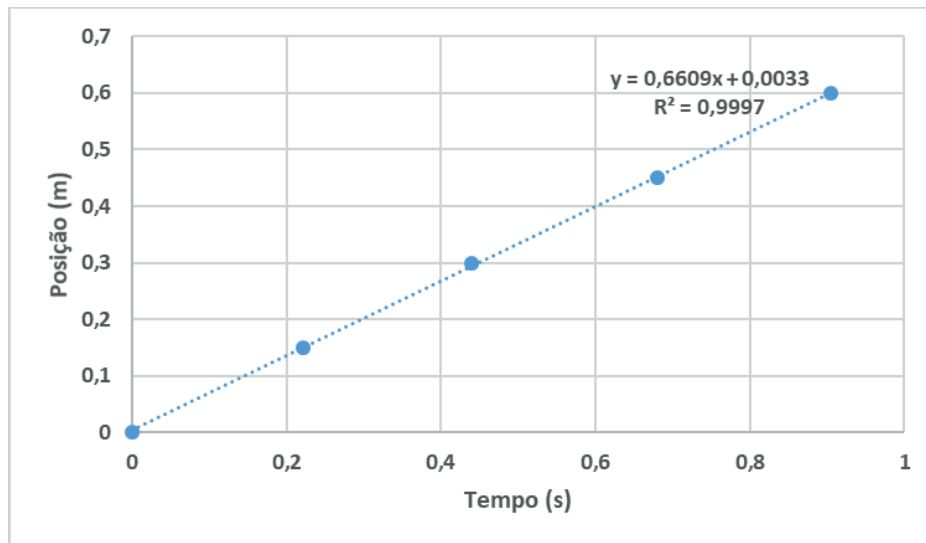
Os desvios padrão obtidos para os conjuntos de velocidades indicam baixa dispersão entre as medidas, com coeficientes de variação inferiores a 1,4 %. Esses valores mostram que o sistema apresentou boa repetibilidade e estabilidade operacional, mesmo no caso do protótipo de baixo custo.

A velocidade teórica do MRU foi estimada para fins de comparação, utilizando-se as Equações (5) e (6). Para o trilho de ar Azeheb, obteve-se uma aceleração de $1,147 \text{ m/s}^2$ e velocidade de 0,694 m/s no fim do movimento acelerado. Para o protótipo, obteve-se uma aceleração de $1,191 \text{ m/s}^2$ e velocidade de 0,707 m/s. Os valores médios experimentais de velocidade diferem dos teóricos em 5,62 % para o caso do trilho Azeheb e 4,53 % e 4,95 % para os dois estudos com o protótipo. Além disso, os dados experimentais estão em concordância com a previsão teórica de que a velocidade no protótipo deveria ser ligeiramente maior que a velocidade no trilho Azeheb.

Percebe-se que os desvios dos valores experimentais em relação aos teóricos são bastante similares, em torno de 5 %, com o resultado do protótipo utilizando o fluxo de ar da Azeheb sendo o mais preciso. Variações nos fluxos de ar e atrito residual podem causar essas discrepâncias, mas pode-se considerar o resultado bastante satisfatório, com margens de erros pequenas, mostrando que o protótipo de baixo custo tem uma precisão comparável ao trilho de ar de laboratório de alto custo.

Analisando-se o gráfico de posição versus tempo dos resultados obtidos pelo protótipo com o aspirador de pó (Figura 9), verifica-se um comportamento típico do MRU, cuja função posição é descrita por uma equação de primeiro grau e cujo gráfico é uma reta. A velocidade experimental também pode ser obtida através da inclinação da reta, que resulta em 0,6609 m/s.

Figura 9 - Gráfico de posição versus tempo para os resultados obtidos pelo protótipo com o aspirador de pó.



Fonte: Construção dos autores.

4.2 MRUV

No experimento para o MRUV, os sensores foram dispostos com uma distância de 15 cm entre eles e o primeiro sensor foi posicionado à 24 cm do carrinho. Com a seleção da função MRUV, o relé desligava, liberando o carrinho do eletroímã. A posição inicial do carrinho (junto ao eletroímã) era nula e o carrinho partiu do repouso, com velocidade inicial igual a zero. O peso da massa suspensa puxava o carrinho iniciando o movimento e a contagem do tempo. A estrutura na parte superior do carrinho acionava os sensores ao passar por eles, registrando o tempo no cronômetro digital. Vale ressaltar que o peso da massa suspensa atuava no movimento do carrinho acelerando o sistema durante todo o percurso, descrevendo um MRUV.

Primeiramente, o experimento foi realizado com o trilho de ar comercial da Azeheb, cuja massa do carrinho era de 219 g e a massa suspensa de 29 g. Foram realizados três testes e os tempos de passagem do carrinho pelos sensores podem ser visualizados na Tabela 4.

Assim como para o MRU, foram realizados dois experimentos com o protótipo e para cada experimento foram realizados três testes, utilizando-se os dois sopradores diferentes, com o carrinho (carrinho 1) de massa igual a 217 g e a massa suspensa de 30 g. Os tempos de passagem do carrinho pelos sensores podem ser visualizados nas Tabelas 5 e 6. Neste caso, foram utilizados somente quatro sensores, a fim de igualar o número de sensores do trilho de ar comercial. Nas tabelas, a aceleração foi obtida por meio da Equação (3), utilizando-se as diferentes posições dos sensores com seus respectivos tempos médios para a passagem do carrinho. Tendo o valor da aceleração, a velocidade de cada trecho foi calculada, utilizando-se a Equação (4).

Tabela 4 - Resultados obtidos pelo trilho de ar Azeheb (carrinho 1).

Sensor	Posição do sensor (m)	Tempo (s)				Aceleração (m/s ²)	Velocidade (m/s)
		Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo médio		
1	0,24	0,675	0,673	0,675	0,674	1,057	0,712
2	0,39	0,858	0,861	0,857	0,859	1,057	0,908
3	0,54	1,008	1,011	1,007	1,009	1,061	1,070
4	0,69	1,139	1,142	1,138	1,140	1,062	1,211

Fonte: Construção dos autores.

Tabela 5 - Resultados obtidos pelo protótipo e soprador Azeheb (carrinho 1).

Sensor	Posição do sensor (m)	Tempo (s)				Aceleração (m/s ²)	Velocidade (m/s)
		Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo médio		
1	0,24	0,721	0,722	0,713	0,719	0,929	0,668
2	0,39	0,908	0,909	0,901	0,906	0,950	0,861
3	0,54	1,061	1,060	1,051	1,057	0,967	1,022
4	0,69	1,200	1,200	1,190	1,197	0,963	1,153

Fonte: Construção dos autores.

Tabela 6 - Resultados obtidos pelo protótipo e aspirador de pó (carrinho 1).

Sensor	Posição do sensor (m)	Tempo (s)				Aceleração (m/s ²)	Velocidade (m/s)
		Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo médio		
1	0,24	0,705	0,712	0,712	0,710	0,952	0,676
2	0,39	0,892	0,900	0,899	0,897	0,969	0,870
3	0,54	1,043	1,050	1,050	1,048	0,983	1,031
4	0,69	1,180	1,190	1,190	1,187	0,979	1,163

Fonte: Construção dos autores.

Após a realização dos testes acima, foi calculada também a aceleração média do carrinho para os três experimentos. Na Tabela 4, a aceleração média foi de 1,060(2) m/s² (com desvio padrão de 2,28 x 10⁻³ m/s²), na Tabela 5 obteve-se 0,95(1) m/s² (com desvio padrão de 1,48 x 10⁻² m/s²) e na Tabela 6 o resultado foi 0,97(1) m/s² (com desvio padrão de 1,17 x 10⁻² m/s²). De acordo com os resultados obtidos, foi possível observar que os três experimentos apresentaram acelerações muito próximas, variando entre 0,95(1) m/s² e 1,060(2) m/s². Como discutido anteriormente, os sistemas tinham massas muito parecidas (tanto a do carrinho quanto a suspensa) e isso fez com que eles tivessem acelerações muito próximas. Os desvios padrão obtidos para as acelerações variaram entre 2,28 x 10⁻³ m/s² e 1,48 x 10⁻² m/s², correspondendo a coeficientes de variação entre 0,21 % e 1,56 %. Esses valores são considerados baixos para experimentos usando trilho de ar, indicando alta repetibilidade e estabilidade nas medições tanto do equipamento comercial quanto do protótipo desenvolvido.

A aceleração teórica já havia sido estimada para o cálculo da velocidade no experimento do MRU, utilizando-se a Equação (5), obtendo-se uma aceleração de 1,147 m/s² para o trilho de ar Azeheb e 1,191 m/s² para o protótipo. Os valores médios experimentais das acelerações diferem destes

valores teóricos em 7,59 % para o caso do trilho Azeheb e 20,07 % e 18,47 % para os dois estudos com o protótipo, respectivamente.

Essas diferenças podem ser consideradas aceitáveis no contexto de experimentos didáticos, especialmente ao se comparar um equipamento comercial calibrado com um protótipo de baixo custo. Fatores como atrito residual entre o trilho e o carrinho, desalinhamento do trilho, tempo de resposta do Arduino, incertezas nas medidas de massa, posição dos sensores e atrito na roldana poderiam contribuir para a redução da aceleração observada. Outro possível fator relacionado ao aumento dos desvios experimentais no MRUV em relação ao MRU pode ser explicado pela maior sensibilidade do movimento acelerado a pequenas incertezas experimentais. Uma vez que, no MRUV, a posição depende quadraticamente do tempo, erros na medição temporal impactam mais significativamente o cálculo da aceleração.

Diante desses aspectos, realizou-se um experimento com um carrinho de menor massa (carrinho 2), acreditando-se que a maior fonte de erro dos testes com o protótipo poderia ser o atrito entre o trilho de ar e o carrinho. Para isso, utilizou-se o fluxo de ar da Azeheb e um carrinho com 39 g de massa, obtendo-se uma aceleração teórica de $4,179 \text{ m/s}^2$. Após a realização dos testes (Tabela 7), foi calculada a aceleração média do carrinho, obtendo-se $3,683 \text{ m/s}^2$, que difere do valor teórico em 11,80 %. Com esse resultado, verifica-se a queda de 8,27 % na diferença entre os valores teóricos e experimentais, obtidos em relação ao experimento realizado com os dois carrinhos de massas distintas, o que valida a suposição mencionada anteriormente.

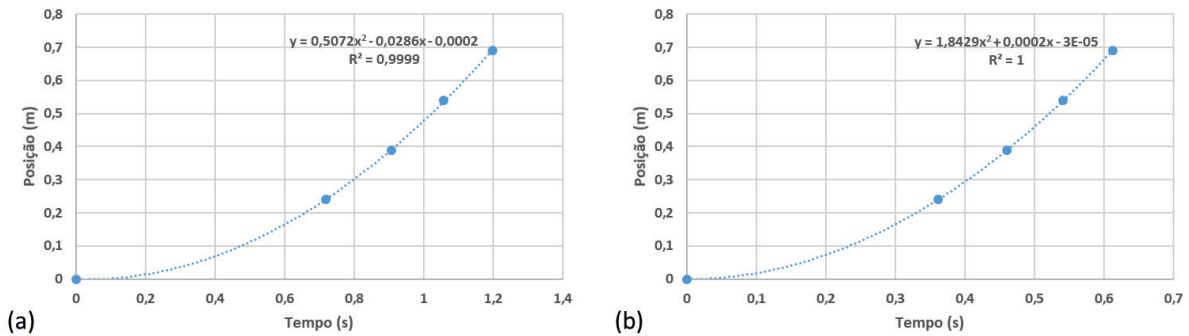
Tabela 7 - Resultados obtidos pelo protótipo e soprador Azeheb (carrinho 2).

Sensor	Posição do sensor (m)	Tempo (s)				Aceleração (m/s^2)	Velocidade (m/s)
		Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo médio		
1	0,24	0,360	0,360	0,362	0,361	3,683	1,330
2	0,39	0,459	0,460	0,462	0,460	3,686	1,696
3	0,54	0,540	0,539	0,543	0,541	3,690	1,996
4	0,69	0,611	0,611	0,614	0,612	3,684	2,255

Fonte: Construção dos autores.

Analisando-se o gráfico de posição versus tempo dos resultados obtidos nas Tabelas 65 e 7, (Figura 10(a) e (b), respectivamente), verifica-se um comportamento típico do MRUV, cuja função posição é descrita por uma equação de segundo grau e cujo gráfico é uma parábola. No MRUV, a função velocidade é descrita por uma equação de primeiro grau, cujo gráfico é uma reta, como pode ser observado na Figura 11. A aceleração experimental também pode ser obtida através da inclinação da reta, que resulta em $0,9643 \text{ m/s}^2$ para o carrinho 1 e $3,6866 \text{ m/s}^2$ para o carrinho 2, diferindo do valor teórico em 19,03% e 11,78%, respectivamente.

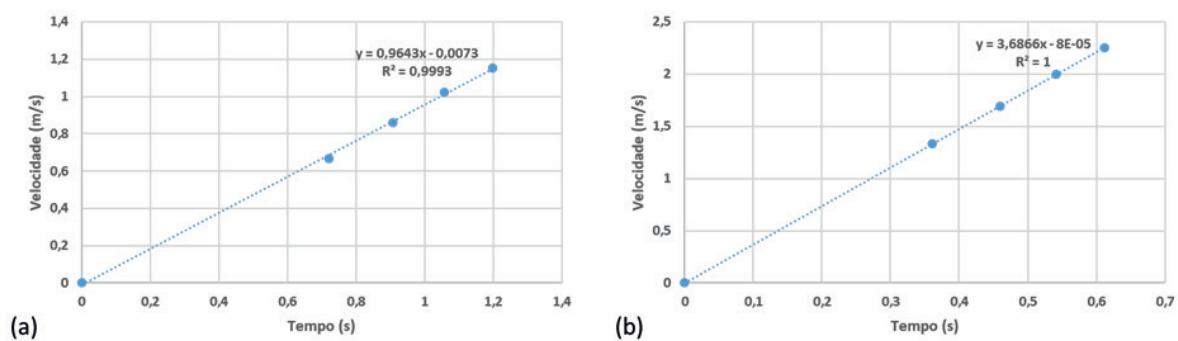
Figura 10 - Gráfico de posição versus tempo para os resultados obtidos pelo fluxo de ar da Azeheb com o (a) carrinho 1 e o (b) carrinho 2.



Fonte: Construção dos autores.

Diante desses resultados, conclui-se que as discrepâncias entre os valores experimentais e teóricos estão dentro do esperado para esse tipo de montagem, considerando-se que o protótipo demonstrou desempenho satisfatório para fins educacionais, reproduzindo qualitativamente o comportamento do MRUV e fornecendo valores quantitativos compatíveis, dentro da margem de erro inerente à sua construção.

Figura 11 - Gráfico de velocidade versus tempo para os resultados obtidos pelo protótipo usando o fluxo de ar da Azeheb com o (a) carrinho 1 e o (b) carrinho 2.



Fonte: Construção dos autores.

Todos os dados dos gráficos apresentados foram ajustados por regressão linear (MRU e MRUV) e quadrática (MRUV), obtendo-se coeficientes de determinação próximos de 1, o que demonstra a concordância entre os resultados experimentais e os modelos teóricos.

A Tabela 8 apresenta uma comparação entre o desempenho do protótipo desenvolvido e do equipamento comercial utilizado, evidenciando sua viabilidade como alternativa de baixo custo.

Tabela 8 - Comparação entre os dados experimentais do protótipo construído e do trilho de ar comercial.

Parâmetro	Trilho Comercial	Protótipo + soprador comercial	Protótipo + aspirador	Protótipo + soprador comercial
Massa do carrinho	219 g	217 g	217 g	39 g
Velocidade média (MRU)	0,655 m/s	0,675 m/s	0,672 m/s	-
Desvio (MRU)	5,62%	4,53%	4,95%	-
Aceleração média (MRUV)	1,060 m/s ²	0,95 m/s ²	0,97 m/s ²	3,683 m/s ²
Desvio (MRUV)	7,59%	20,07%	18,47%	11,80 %

Fonte: Construção dos autores.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um protótipo de trilho de ar que demonstrou ser uma alternativa viável e acessível para o estudo experimental da cinemática no ensino de física. O equipamento foi desenvolvido com materiais de fácil acesso, para o estudo do movimento retilíneo de corpos com o mínimo de atrito, obtendo precisão nos resultados que se equiparam a dos equipamentos comerciais. A utilização de materiais de baixo custo, como canos PVC e sensores ópticos, integrada com a plataforma Arduino, permitiu construir um aparato experimental capaz de registrar com precisão os tempos de passagem do carrinho por cada sensor, possibilitando a análise quantitativa dos movimentos estudados.

Os testes realizados comprovaram que o protótipo reproduziu adequadamente os comportamentos previstos teoricamente para o MRU e o MRUV, sendo que no MRU as velocidades experimentais apresentaram boa concordância com os valores teóricos e com os resultados obtidos utilizando-se o kit (trilho e fluxo de ar) Azeheb. No caso do MRUV, embora tenham sido observados desvios experimentais maiores para os valores das acelerações, as medidas podem ser consideradas aceitáveis no contexto de experimentos didáticos, especialmente ao se comparar o equipamento comercial calibrado com o protótipo alternativo de baixo custo, que possui certas limitações inerentes ao processo de construção.

Esta proximidade entre os resultados do protótipo e do trilho comercial demonstra que pode-se construir um trilho de ar alternativo e econômico, em escolas que não possuem laboratórios equipados, capaz de obter resultados confiáveis e consistentes. Além disso, o projeto apresenta potencial pedagógico, pois permite que estudantes participem da construção, calibração, programação e análise do experimento, favorecendo a aprendizagem significativa dos conceitos de cinemática por meio da relação entre teoria e prática.

Embora o presente trabalho tenha focado no desenvolvimento, montagem e validação do protótipo do trilho de ar, a aplicação dele em sala de aula constitui a próxima etapa da pesquisa, com o intuito de desenvolvê-lo em turmas de ensino médio para avaliar o seu impacto na aprendizagem e engajamento dos estudantes. Para a implementação deste aparato experimental nas escolas, sugere-se a adoção de uma abordagem baseada na cultura *maker* (Silva, 2026), envolvendo os estudantes desde o processo de construção da estrutura até a coleta de dados e análise dos fenômenos físicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Unipampa, UFFS e Fundação Araucária pelo auxílio financeiro com bolsas de iniciação científica (Chamada Interna PROPPI N° 03/2025 - PRO-IC - Modalidade Incentivo à Pesquisa; Chamada Interna PROPPI N° 06/2025 - PRO-IC - Modalidade Mulheres na Ciência, projeto sob registro 2025.PE.IT.4084; EDITAL N° 153/GR/UFFS/2024, projetos sob registro PRISMA PES-2024-0326 e PES-2024-0327; EDITAL N° 154/GR/UFFS/2024, projeto sob registro PRISMA PES-2024-0366; EDITAL N° 72/GR/UFFS/2025, projetos sob registro PRISMA PES-2025-0197, PES-2025-0198).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. de. Experimento de baixo custo para medição da dissipação da energia em um pêndulo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20200360 2021.

ALVES, L. V. S.; MEDEIROS, L. da S. O uso de materiais de baixo custo no ensino da física: uma alternativa para a recomposição e compreensão do ensino de física na EEMTI Luíza Távora. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2023, João Pessoa. **Anais IX CONEDU**. Campina Grande: Realize Editora, 2023.

AZEHEB. **Trilho de Ar Linear**. [s.d.]. Disponível em: <https://azeheb.com.br/produto/trilho-de-ar-linear/>. Acesso em: 11 fev. 2026.

BERNARDO, N. **Vamos estudar física: introdução à física**. 2 ed. Recife: Livro Rápido, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: mecânica**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LAUDARES, F.; LOPES, M. C. S. M.; CRUZ, F. A. O. Usando sensores magnéticos em um trilho de ar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 3, p. 233 - 236, 2004.

MACÊDO, M. A. R. A Equação de Torricelli e o estudo do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 4, e4401, 2010.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p.77 - 86, 2002.

MEDEIROS JUNIOR, L. G. de; NASCIMENTO, G. L. do. Experimentação numa aula de física: kits didáticos ou experimentos simples de baixo custo? **APEduc Revista**, v. 6, n. 2, p. 148-163, 2025.

MENEZES, V. M. de; ONETTA, J. P.; COSTA E SOUZA, V. A.; WANZELLER, W. G.; FREITAS, A. **Código do experimento: trilho de ar**. [S. l.: s. n.], 2025. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1ShYeHbgy6lBUtfrRuwyUw_U_UzjrOo3i/view. Acesso em: 11 fev. 2026.

MIRANDA FILHO, A. M.; OLIVEIRA, E. S. de; SILVA, N. L.; SILVA, F. S. da; SILVA, K. M. da; LEMOS, J. F. F.; MACHADO, F. T. C. V.; SANTOS, I. de B. O ensino de física através de simulações e experimentações de baixo custo. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 9, e494019, 2023.

SALES, G. L.; MAIA, M. C. **Licenciatura em Matemática - Física Básica I**. Fortaleza: UAB/IFCE, 2011.

SANTOS, V. C. **Construção de um trilho de ar com o uso do Arduino: Uma proposta para o ensino de função afim e quadrática**. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional - PROFMAT) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

SERAFIM, M. C. A falácia da dicotomia Teoria - Prática. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 1, n. 1, 2001.

SILVA, A. L.; Cavalcanti, D. R. C. Análise do movimento do móvel usando o trilho de ar e a placa arduino como aquisição de dados. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 2, e321302, 2022.

SILVA, L. B. da. Cultura *maker* no ambiente escolar: criatividade e aprendizagem ativa. **Revista Parcerias Digitais**, v. 8, 2026.

SILVA, Y. T. Metodologias alternativas no ensino de Física: a eficácia de práticas experimentais de baixo custo em contextos educacionais vulneráveis. **Revista Campo Da História**, v. 10, n. 2, e449, 2025.