

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (2024.3)

PLANO INCLINADO: O USO DO TRACKER PARA O ESTUDO DE
ROLAMENTO DE TUBOS

João Victor Medeiros Oliveira
Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças
Jusciane da Costa e Silva

RESUMO

Estudar e entender o momento de inércia é fundamental para a compreensão dos fenômenos mecânicos observáveis no cotidiano, porém a abordagem de ensino tradicional adotada no Ensino Médio pode apresentar limitações ao aprendizado dos alunos no que se refere à exploração de conceitos da transformação da energia potencial gravitacional em energia cinética translacional e rotacional. Particularmente em sistemas como plano inclinado (PI). Um dos aspectos que merece destaque é a visão contraintuitiva de que corpos de massas maiores tendem a rolar ou “descer” mais rápido em um plano inclinado. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo testar e mostrar experimentalmente como o momento de inércia influencia no movimento de rolamento de corpos cilíndricos em plano inclinado, considerando ângulos de inclinação de 10° e 15° graus. Para isso, será utilizado o software *Tracker Video Analysis and Modeling Tool*, que é uma ferramenta de videoanálise, que possibilita a medição de parâmetros mecânicos como posição, velocidade e aceleração. A metodologia empregada consistiu na análise de cilindros ocos fabricados com o mesmo material, porém comprimentos e massas diferentes, comparando os dados experimentais obtidos com as previsões teóricas estabelecidas.

PALAVRAS-CHAVE: Tracker; Plano Inclinado; Momento de Inércia; Ensino da física; Tubos

1.INTRODUÇÃO

O ensino da Física no Ensino Médio enfrenta desafios consideráveis, principalmente no que se refere ao entendimento dos princípios básicos das leis de conservação de energia e do momento de inércia. Esses princípios são fundamentais para entender o comportamento de sistemas mecânicos, como por exemplo, objetos em movimento de rolamento em um plano inclinado (PI). Contudo, muitos alunos apresentam dificuldades para visualizar e assimilar tais conceitos em situações reais, o que pode ser atribuído, dentre outros fatores, à metodologia convencional predominantemente teórica abordada em sala de aula. O processo de aprendizagem demanda mais do que uma simples transmissão de conhecimentos teóricos, necessita de uma conexão entre o conteúdo acadêmico e a realidade vivida pelos estudantes. Quando a abordagem tradicional ignora essa relação, falha em seu propósito fundamental, pois reduz o ensino a um exercício de memorização mecânica, carente de exemplos práticos. Essa fragmentação entre o saber escolar e a experiência cotidiana não apenas limita a assimilação do conhecimento, mas também compromete o desenvolvimento das capacidades cognitivas e da criatividade inerente dos jovens, que são habilidades indispensáveis para a resolução de problemáticas da vida real.

Entender como o momento de inércia e as leis de conservação de energia funcionam constitui uns dos conceitos fundamentais da Física, com aplicações que abrangem desde a construção de rampas para cadeirantes até a construção de rodovias e estradas. No contexto de movimento de rolamento em um PI, há a conversão da energia potencial gravitacional em energia cinética translacional e de rolamento, proporcionando uma excelente oportunidade didática para demonstrar esses conceitos.

Sabe-se que, a dificuldade em entender as equações em uma questão e a ausência de prática experimental em ambiente escolar, são uns dos fatores que influenciam negativamente o aprendizado dos estudantes de Física. Ainda sob esse viés, é comum começar o ensino da Física com situações que não fazem sentido para os alunos e, muitas vezes, em níveis de abstração e complexidade acima de suas capacidades cognitivas (MOREIRA, 2021). Diante disso entende-se que situações puramente abstratas ou que fogem da realidade dos alunos, podem não ser adequadas para uma compreensão aprofundada dos princípios físicos. Neste cenário a aplicação de tecnologias interativas, como o software Tracker, surge como uma

alternativa inovadora a ser utilizada em sala de aula. O Tracker permite a análise de movimento através de vídeos, possibilitando observar a conservação de energia em experimentos reais ou simulados. Dessa maneira, o software contribui para uma melhor compreensão dos conceitos físicos por partes dos alunos.

Portanto este trabalho tem como objetivo investigar o deslocamento de um objeto em movimento de rolamento, considerando o momento de inércia em sistemas que envolvem um PI. Além disso, busca-se demonstrar que o uso do Tracker, através de suas ferramentas ofertadas, permite analisar, exibir e comparar com os resultados experimentais com as previsões teóricas, além disso, explorar o momento de inércia em PI, avaliar a eficiência do Tracker como ferramenta didática e demonstrar que esse software possui potencial para ser utilizado como ferramenta inovadora de ensino da Física.

Ao analisar um corpo descendo um plano inclinado, podemos aplicar a conservação da energia mecânica, onde a energia potencial gravitacional é convertida em energia cinética, desde que não haja dissipação significativa de energia (ANDRADE-NETO; LEYVA-CRUZ, 2015). A conservação da energia mecânica ocorre até um ângulo limite no plano inclinado, a partir do qual o escorregamento começa a afetar o movimento do corpo, resultando em perdas de energia (SILVA et al., 2003). Portanto, neste artigo serão utilizados Pis com inclinações de 10° e 15° . Dessa forma, serão observados objetos cilíndricos em movimento de descida no plano inclinado e posteriormente, o programa Tracker será utilizado para extrair dados como a posição (x) e a velocidade (v) do centro de massa dos objetos em função do tempo (t). Esses dados serão reproduzidos em programas gráficos externos, a fim de verificar a eficácia do Tracker em comparação com os dados teóricos. Por fim, busca-se determinar se o uso dessa ferramenta contribui para o melhor entendimento dos fenômenos físicos por parte dos alunos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Momento de inércia no plano inclinado

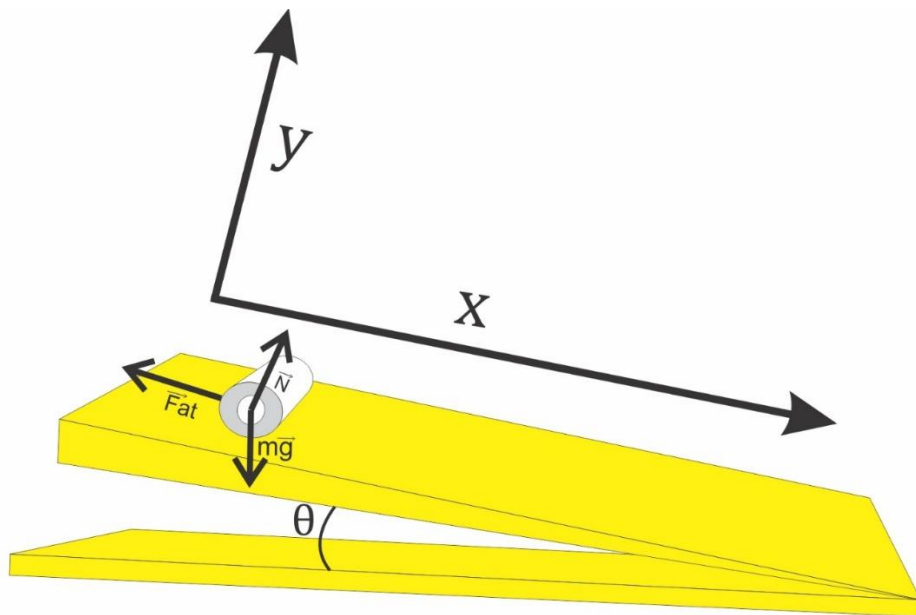
O momento de inércia é uma grandeza física que quantifica a resistência de um corpo à aceleração angular, dependendo da distribuição de sua massa em relação ao

eixo de rotação. Para um tubo oco, o momento de inércia é dado pela equação $I = \frac{1}{2}m(R^2 + R_{int}^2)$, onde m representa a massa do cilindro, R_{int} seu raio interno e R seu raio externo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2023). Essa grandeza é fundamental para compreender o comportamento de objetos em movimento de rotação, como tubos que descem um plano inclinado.

2.2 Rolamento de tubos ocos em plano inclinado

A Figura 1 exibe as forças que atuam sobre o objeto, como a força de atrito ($\vec{F}_{at}$), a força gravitacional ($\vec{F}_g$), e a força normal ($\vec{N}$). A força de atrito existe durante o movimento, sendo ela responsável pelo rolamento do objeto, uma vez que não há rolamento sem ela, e aplicada no ponto de contato entre o cilindro e a superfície do PI (SILVA; MENDES; REBOUÇAS, 2023).

Figura 1- Plano inclinado e as forças atuantes



Fonte: Autoria própria (2025)

O movimento de rotação em torno do diâmetro do tubo oco ocorre devido ao torque externo gerado pela força de atrito $\vec{F}_{at}$ presente na superfície do plano inclinado. Esse torque responsável pela rotação pode ser expresso pela seguinte equação:

$$\vec{F}_{at}R = I \frac{\vec{a}_x}{R} \quad (1)$$

Onde I é o momento de inércia do tubo oco, $\vec{a}_x$ é o modulo de aceleração do centro de massa do objeto ao longo do eixo x e o R é o raio externo do objeto. A segunda lei de Newton, aplicada a um tubo de massa m ao longo do eixo x , pode ser escrita como:

$$m \sin \theta \vec{g} + \vec{F}_{at} = m \vec{a}_x \quad (2)$$

Onde g é o módulo de aceleração da gravidade, adotado como $9,81 \text{ m/s}^2$ e θ o ângulo de inclinação do PI.

Associando as equações (1) e (2) com o momento de inércia do tubo citado anteriormente obtém-se:

$$a_x = \frac{g \sin \theta}{1 + \frac{\frac{1}{2} m (R^2 + R_{int}^2)}{m R^2}} \quad (3)$$

Com a_x é a aceleração do objeto ao longo do eixo x . A equação (3) descreve o cálculo da aceleração na ausência de atrito, neste estudo o atrito de rotação gerado pela deformação do tubo e da superfície de contato será desconsiderado.

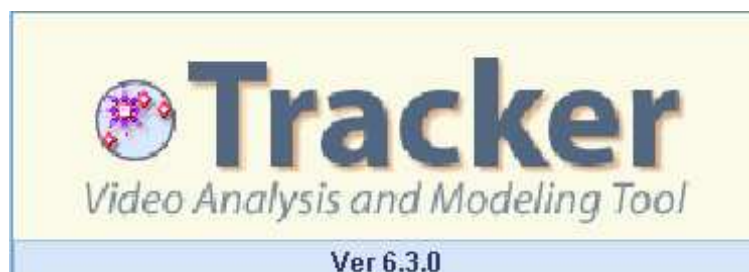
Considerando a rotação do objeto, introduz-se o fator $f = (1 + \frac{I}{m R^2})^{-1}$ que denominaremos de fator de correção da aceleração (f) na direção x para o rolamento. (SILVA; MENDES; REBOUÇAS, 2023). A equação (3) demonstra que aceleração de um tubo em rolamento em um PI não depende do comprimento do tubo e nem de sua massa.

3. TRACKER

Como é exibido na Figura 2, o Tracker, é um software para videoanálise e modelagem frequentemente utilizado no ensino de Física. Ele possibilita que alunos e docentes analisem movimentos reais, como o de objetos em PI e contrastem os resultados experimentais com as previsões teóricas. O recurso da videoanálise pode favorecer uma aproximação com o fazer científico. Nesse sentido, o software Tracker se apresenta como uma ferramenta que viabiliza essa aproximação a partir de um computador de baixa configuração (BEZERRA JR, OLIVEIRA e LENZ, 2012). Sua relevância está na capacidade de integrar prática e teoria, facilitando a compreensão de conceitos abstratos e incentivando um aprendizado mais dinâmico e envolvente. Desenvolvido na linguagem de programação Java, o Tracker é uma ferramenta gratuita e de código aberto.

A modelagem de vídeo no Tracker é uma maneira poderosa de combinar vídeos com modelagem computacional (PHYPHYSLETS, 2009). O formato de vídeo familiar aos alunos, contém uma riqueza de dados espaciais e temporais, servindo como uma ponte entre observações diretas e representações abstratas de fenômenos físicos (BROWN; CHRISTIAN, 2011, tradução própria).

Figura 2- Identidade do Tracker



Fonte: PHYPHYSLETS, 2009.

O Tracker destaca-se também por sua interface simples e intuitiva, projetada para ser acessível tanto para iniciantes quanto para usuários avançados. Com menus bem organizados e ferramentas de fácil compreensão, o software permite que os usuários iniciem a análise de movimentos rapidamente, sem a necessidade de um treinamento extensivo. Por meio do uso do programa é possível analisar um vídeo do movimento e identificar de forma manual ou automaticamente a posição de um objeto em cada quadro do vídeo. O rastreamento da posição de um objeto, gráficos e dados de velocidade e aceleração de corpos em movimento, calibração de medidas, divisão do vídeo, quadro a quadro, rotação de posição do vídeo, indicação de grandezas vetoriais, trajetórias e coordenadas. (NUNES, 2020). O Tracker gera dados precisos sobre deslocamento, velocidade e aceleração em função do tempo, essa capacidade de transformar vídeos em dados quantitativos é de extrema relevância para o estudo do movimento por meio de análise de vídeo, utilizando celular ou câmeras convencionais. Segundo Nunes (2020, p. 27)

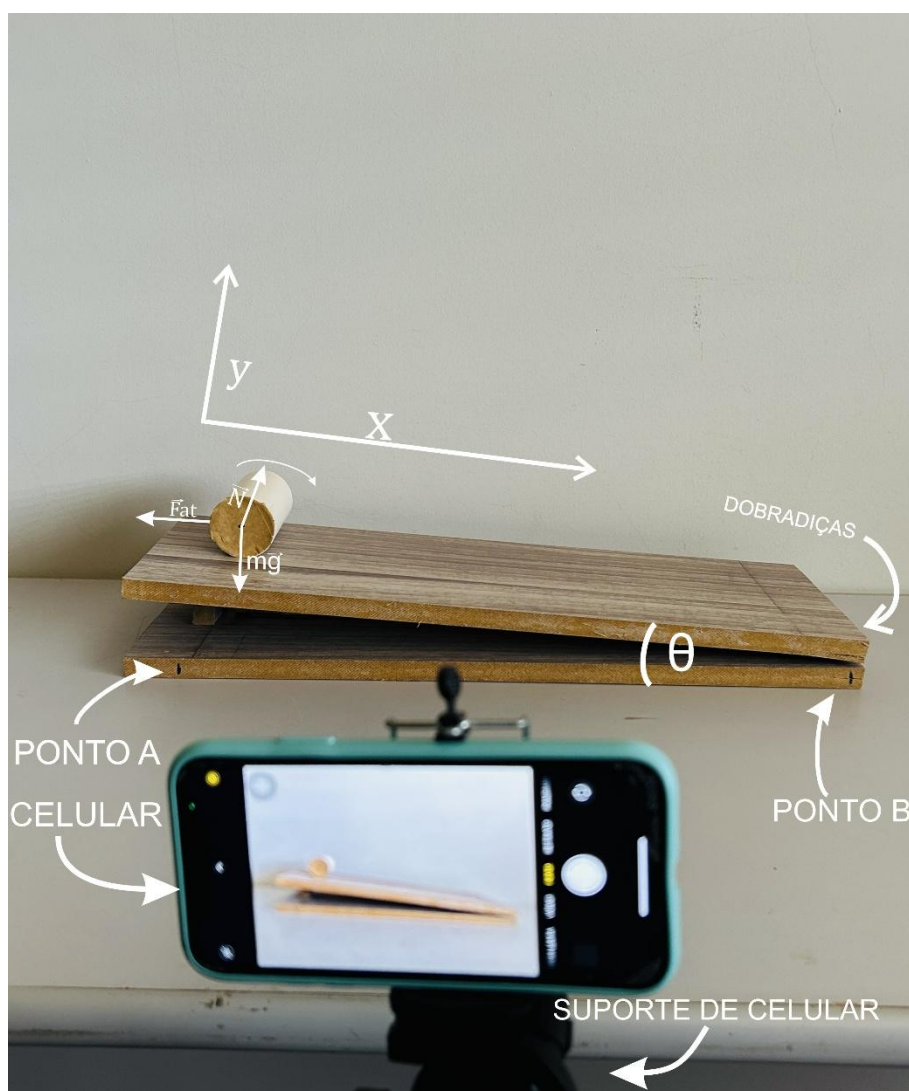
A videoanálise, desse modo, se constitui em uma metodologia de grande potencial para construção de conceitos científicos, sendo os estudantes protagonistas no processo de aprendizagem, permitindo que possam escolher o fenômeno da sua realidade e analisá-lo.

4. METODOLOGIA

O PI foi construído utilizando duas tábuas de madeira fixadas por duas dobradiças, permitindo o ajuste e controlar o ângulo de inclinação. O movimento de

rolamento dos objetos foi gravado por meio da câmera de um celular posicionado em um tripé e alinhado horizontalmente com o plano conforme pode ser visto na Figura 3.

Figura 3- Estrutura de Gravação



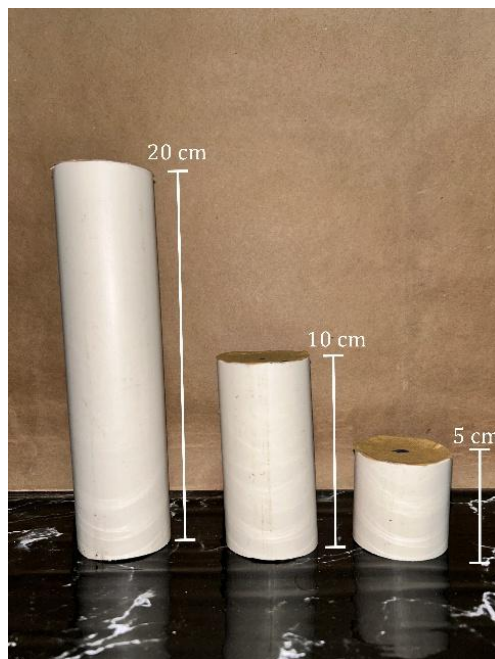
Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 3 mostra a montagem utilizada para filmar e realizar os experimentos. Essa estrutura foi projetada com a finalidade de facilitar a reprodução do experimento em outros ambientes, como escolas ou laboratórios, promovendo, assim, uma melhor assimilação entre a teoria e a prática.

Os pontos A e B foram utilizados para informar ao software que entre eles há uma distância de 50 centímetros (cm), como o Tracker mede a distância percorrida dos objetos com base nos pixels do vídeo, ao informar a distância conhecida entre os dois pontos o programa consegue analisar com precisão os dados referentes ao deslocamento do objeto.

Para otimizar o reconhecimento dos pontos durante a utilização do Tracker foi necessário aplicar fita crepe em um dos lados do tubo que foi gravado e marcar um ponto no “centro” do objeto representando o centro de massa do corpo.

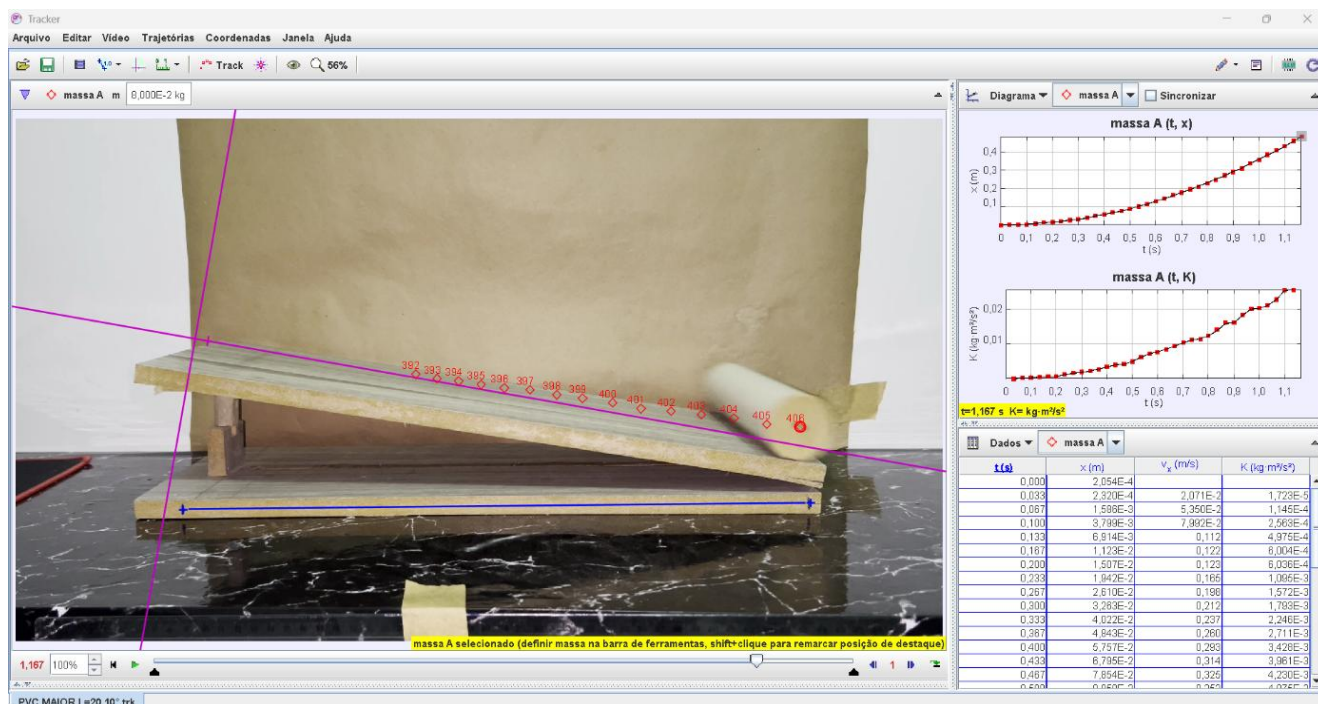
Figura 4- Tubos de PVC com 50 mm de diâmetro externo e 47 mm de diâmetro interno



Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 4 mostra os tubos que foram utilizados no PI. Os tubos, fabricados em PVC, possuem um diâmetro externo de 50 milímetros e um diâmetro interno de 47 mm. Eles foram cortados em três tamanhos distintos: 20 cm, 10 cm e 5 cm com massas de 80 g, 40 g e 20 g, respectivamente. É importante destacar que conforme a Equação (3), todos os tubos, independente de seu comprimento, apresentam o mesmo fator f , logo espera-se que eles exibam o mesmo deslocamento em função do tempo.

Figura 5- Interface do Tracker



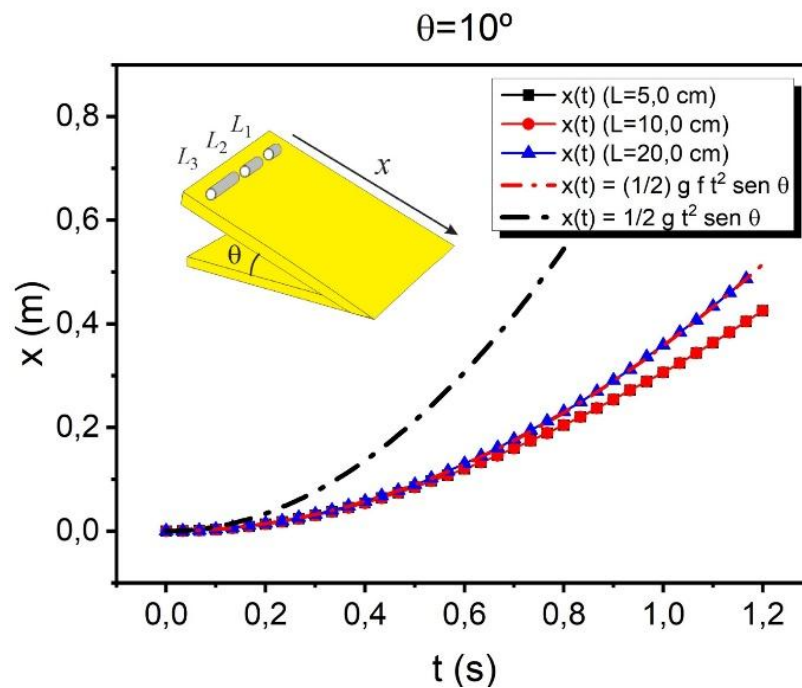
Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 5 apresenta a interface do Tracker e o tubo ao final do percurso no PI. O objeto foi liberado do repouso a partir da origem do eixo indicado pela cor roxa. Neste exemplo em questão o Tracker capturou 37 pontos ao longo do trajeto. O número de pontos registrados pode aumentar ou diminuir dependendo ângulo de inclinação escolhido, quanto maior o ângulo θ , menor será a quantidade de pontos capturados. Como pode ser observado, o programa oferece a possibilidade de analisar outras grandezas além da posição e do tempo, como energia cinética, velocidade angular, entre outras. Após a coleta dos dados de posição e tempo pelo Tracker utilizou-se um software gráfico externo para expressar os resultados.

5. RESULTADOS

Com base no presente estudo, foram obtidos e analisados os resultados referentes ao movimento dos tubos com massas e comprimentos diferentes. Os gráficos apresentados demonstram a relação entre a posição dos tubos e o tempo, permitindo uma avaliação detalhada do momento de inércia durante o movimento. Nas Figuras 6 e 7 as linhas tracejadas vermelhas indicam o resultado teórico e as linhas tracejadas pretas indicam o movimento dos corpos desconsiderando o momento de inércia.

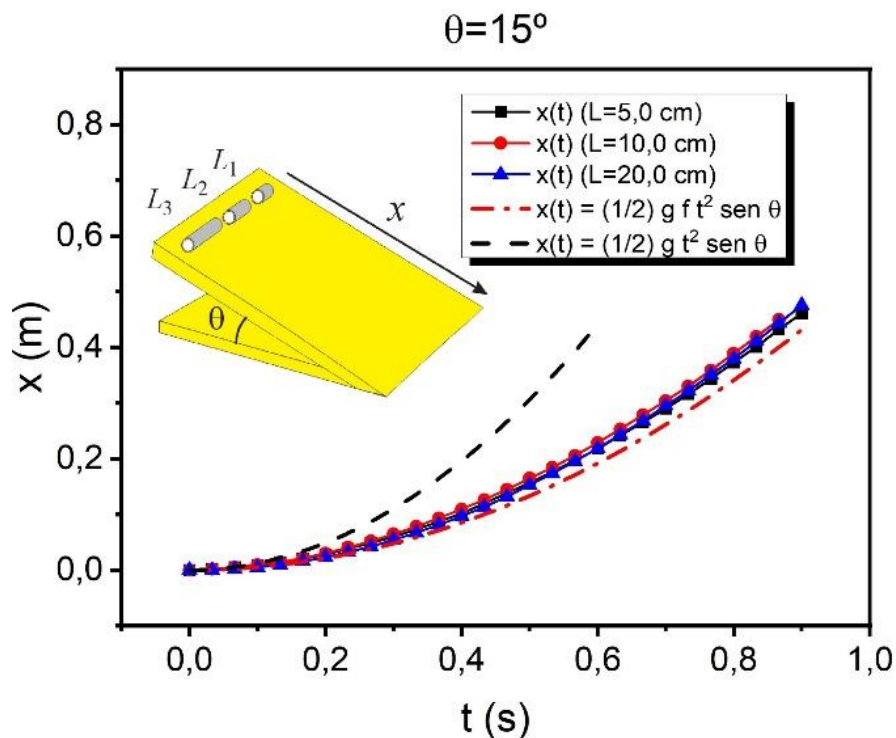
Figura 6- Gráfico de Resultados, Ângulo 10°



Fonte: Autoria própria (2025)

Ao analisar a Figura 6, pode-se observar que, apesar das diferenças de massa, as acelerações dos cilindros mantiveram-se constantes, apresentando variações mínimas e com uma média de erro aproximada de 12,76% em relação ao resultado teórico. Esse comportamento está de acordo com a Equação (3), que prevê que os objetos devem atingir acelerações semelhantes, conforme foi confirmado pelos resultados obtidos.

Figura 7- Gráfico de Resultados, ângulo 15°



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 7 observa-se que as curvas apresentam uma boa aproximação entre si. Demonstrando uma média de erro de aproximadamente 19% entre as linhas que demonstram a aceleração dos objetos e o resultado teórico. Conforme foi previsto, a Equação (3) indica que todos os tubos atingiram velocidades finais semelhantes, validando as previsões teóricas.

Estes resultados apontam que os objetos alcançaram acelerações parecidas ao longo do trajeto no PI, demonstrando que o momento de inércia é um dos fatores de suma importância, quando o assunto tratado é a análise de movimento de objetos no plano inclinado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos comprovam a eficiência do software Tracker como ferramenta para análise de movimentos, a partir dos pontos capturados foi possível construir os gráficos precisos que se alinham de uma forma consistente com as previsões teóricas.

Essa precisão reforça a viabilidade do Tracker como ferramenta didática para experimentos físicos, permitindo uma análise detalhada do movimento e integrando teoria e prática de maneira eficaz. Dessa maneira, conceitos abstratos tornam-se

tangíveis e mais compreensíveis para os alunos. A interface intuitiva do software facilita seu uso, mesmo para usuários inexperientes. A possibilidade de observar o movimento em tempo real e ajustar parâmetros como, escala e os dados exibidos, assegurou a confiabilidade e a replicabilidade dos resultados. Essas características tornam o Tracker um recurso essencial para o ensino da Física, pois permite que os alunos visualizem a teoria "em ação" e entendam como os conceitos abordados em sala de aula se aplicam a contextos reais.

Por fim, os gráficos mostram que a aceleração dos cilindros não depende significativamente de suas massas, reafirmando a hipótese de que o momento de inércia é o fator dominante durante o rolamento.

7. REFERÊNCIAS

ANDRADE-NETO, A. V.; LEYVA-CRUZ, J. A. Análise teórica e proposta para determinação experimental do coeficiente de atrito de rolamento em um plano inclinado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, outubro 2015.

BEZERRA JR, A. G.; OLIVEIRA, L. P.; LENZ, J. A.. Videoanálise com o software livre Tracker no laboratório didático de física: movimento parabólico e segunda lei de Newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. Especial 1: p. 469-490, set. 2012.

BROWN, D.; CHRISTIAN, W. **Simulating what you see: Combining computer modeling with video Modeling**. Mptl 16 – Hsci 2011. **Anais...**2011.

COSTA E SILVA, Jusciane da; MENDES, Gustavo Alves; GURGEL REBOUÇAS, Gustavo de Oliveira. Momento de inércia em plano inclinado com uso de Arduino. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2023.

DE OLIVEIRA GURGEL REBOUÇAS, Gustavo; ALVES MENDES, Gustavo; COSTA E SILVA, Jusciane. O USO DO TRACKER PARA O ESTUDO DE ROLAMENTO NO PLANO INCLINADO. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, [S. l.], v. 9, n. 31, 2023. DOI: 10.21920/recei72023931732743. Disponível em: <https://periodicos.apps.uern.br/index.php/RECEI/article/view/5127>. Acesso em: 14 mar. 2025.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física - Mecânica - Volume 1**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023. *E-book*. p.xix. ISBN 9788521638551. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521638551/> Acesso em: 13 março. 2025

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2021.

NUNES, Emanuely Torres. As potencialidades da experimentação através da videoanálise para o ensino de Física no ensino médio por meio do Software Tracker. 2020. [76] f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Centro de Educação, Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020. Contém 1 [Produto Educacional] com título: Sequência didática: estudo da queda com o auxílio do software Tracker. 28p.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica*. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014.
YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Sears and Zemansky física I: mecânica**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2004. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>
Acesso em: 13 março 2025.

PENDRILL, A. M. et al. Motion on an inclined plane and the nature of science. **Physics Education**, 2014.

PhyPhyslets. Tracker: Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education. Disponível em: . Acesso em: 12/03/2025.

SILVA, W. P. DA et al. Esfera em plano inclinado: conservação da energia mecânica e força de atrito. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, novembro, 2003.