

# ANÁLISE DE VÍDEO COM TRACKER COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DO MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME E DO MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO: UMA ABORDAGEM ACESSÍVEL PARA O ENSINO DE FÍSICA EM TIMOR-LESTE

Maria Lia Felizarda Freitas<sup>1\*</sup>, Bento Virgílio Noronha<sup>2</sup>, Kristiani<sup>3</sup>, Alice Pinto<sup>4</sup>, Isabel Coryunitha Panis<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universidade Nacional Timor Lorosa'e, Timor-Leste

<sup>5</sup>Widya Mandira Catholic University, Indonesia

Email: maria.freitas@untl.edu.tl<sup>1\*</sup>

Histórico do Artigo	RESUMO
Submetido: 12 de setembro de 2025 Aceite: 01 de fevereiro de 2026 Publicado: 01 de fevereiro de 2026	<p>Este estudo investiga a utilização da análise de vídeo com Tracker como uma ferramenta acessível para a exploração do movimento retilíneo uniforme (MRU) e do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) em um contexto do ensino de Física com recursos limitados em Timor-Leste. Os experimentos de movimento foram registados utilizando um smartphone e analisados com o Tracker, permitindo a obtenção de dados de posição em função do tempo e velocidade em função do tempo, que foram processados no <i>Microsoft Excel</i> para ajuste de curvas e análise dos resíduos. No MRU, a velocidade manteve-se aproximadamente constante em <math>v = 1,47</math> m/s, enquanto a aceleração aparente apresentou pequenas flutuações em torno de zero devido à diferenciação numérica. No MRUV acelerado, os ajustes quadráticos da posição e lineares da velocidade indicaram uma aceleração consistente de <math>a = 1,68 \pm 0,04</math> m/s<sup>2</sup>, com coeficientes de determinação <math>R^2 \geq 0,93</math> e desvio relativo <math>\approx 1,2\%</math>. No MRUV desacelerado, observou-se uma pequena aceleração negativa (<math>a \approx -0,0118</math> m/s<sup>2</sup>) com velocidade inicial <math>v_0 \approx 0,54</math> m/s, resultando em comportamento quase linear da posição e erro residual RMSE = 3,88 m. Estes resultados demonstram que o Tracker permite identificar tipos de movimento e extrair parâmetros cinemáticos de forma confiável quando combinado com análise de dados externa. O uso pedagógico potencial é discutido, embora resultados formais de aprendizagem não tenham sido avaliados, recomendando-se investigação futura.</p> <p>Palavras-chave: análise de vídeo com Tracker; ensino de física; movimento retilíneo uniforme; movimento retilíneo uniformemente variado.</p>
DOI: <a href="https://doi.org/10.30822/8nrh0c20">doi.org/10.30822/8nrh0c20</a>	

## INTRODUÇÃO

Os laboratórios didáticos de Física têm desempenhado, historicamente, um papel central no ensino de Física ao possibilitarem a observação direta de fenômenos físicos e favorecerem o desenvolvimento de competências de raciocínio científico (May, 2023). Como ciência inerentemente experimental, a Física depende de atividades laboratoriais para promover a compreensão conceitual por meio da experimentação, da medição e da análise de dados (Soares, 2011; Freitas, 2018). Por meio de experiências laboratoriais práticas, os estudantes desenvolvem competências científicas essenciais, incluindo observação sistemática, análise de dados e raciocínio lógico (Reynders et al., 2019). Além disso, as atividades laboratoriais contribuem para reforçar conceitos previamente introduzidos, facilitar a construção de novos entendimentos e apoiar a reconstrução de concepções alternativas mantidas pelos estudantes (Freitas, 2023).

Apesar do seu reconhecido valor pedagógico, os laboratórios de ciências, tanto no ensino secundário como no ensino superior, frequentemente enfrentam limitações infraestruturais significativas que restringem a implementação de uma ampla variedade de experiências de Física. Essas limitações são particularmente evidentes em muitos países em desenvolvimento, incluindo Timor-Leste, onde a insuficiência de infraestrutura laboratorial, a disponibilidade limitada de materiais didáticos e a inadequação de equipamentos constituem barreiras substanciais à realização de uma instrução experimental eficaz. Desafios adicionais, como os elevados custos de equipamentos, preocupações relacionadas com a segurança e restrições logísticas, dificultam ainda mais a realização de atividades laboratoriais em Física. Embora os recursos digitais estejam cada vez mais disponíveis, as deficiências persistentes nas instalações laboratoriais e a limitada formação técnica dos professores continuam a dificultar a implementação do ensino experimental das ciências.

Do ponto de vista das teorias da aprendizagem, a integração de ferramentas digitais em atividades experimentais pode ser compreendida no âmbito de perspectivas construtivistas e de aprendizagem significativa, que enfatizam a participação ativa dos estudantes e a conexão sistemática entre conceitos abstratos e fenômenos observáveis (Graaf et al., 2020; Papalazarou et al., 2024). No ensino de Física, a aprendizagem significativa é promovida quando conceitos abstratos são relacionados ao movimento observável por meio de múltiplas representações, incluindo gráficos, tabelas, modelos matemáticos e simulações (Hahn & Klein, 2023; Tomkelski et al., 2023). Atividades experimentais baseadas em vídeo permitem que os estudantes relacionem o movimento do mundo real a representações formais, contribuindo para reduzir a lacuna entre modelos teóricos e observações empíricas (Becker et al., 2020). No entanto, uma melhor visualização e o processamento automatizado de dados não devem ser considerados, por si só, garantias de melhores resultados de aprendizagem, uma vez que a sua eficácia depende do grau de processamento cognitivo ativo envolvido no processo de aprendizagem.

No currículo nacional de Timor-Leste, a Física é ensinada desde o terceiro ciclo da educação básica até o ensino secundário, sendo o movimento retilíneo uniforme (MRU) e o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) tópicos fundamentais da cinemática (Alves, 2014). Esses conceitos são essenciais para a compreensão das relações entre posição, velocidade e aceleração e dependem fortemente da capacidade dos estudantes de interpretar representações gráficas do movimento (Volkwyn et al., 2020). Contudo, o acesso limitado a recursos laboratoriais restringe as oportunidades de os estudantes se envolverem em investigações práticas do movimento, as quais são fundamentais para o desenvolvimento de uma compreensão conceitual robusta (Abraham & Millar, 2008).

Em resposta a essas restrições, ferramentas de análise de vídeo, como o software de código aberto Tracker, têm recebido crescente atenção no ensino de Física. O Tracker permite a análise quadro a quadro do movimento a partir de gravações de vídeo amplamente acessíveis, produzindo representações gráficas e numéricas de variáveis cinemáticas (Putri & Agustina, 2023). Estudos anteriores indicam que, quando são aplicados procedimentos adequados de calibração e aquisição de dados, a análise de vídeo baseada no Tracker pode produzir parâmetros cinemáticos consistentes com previsões teóricas e comparáveis àqueles obtidos por instrumentos experimentais convencionais (Taslina et al., 2022; Putri & Agustina, 2023; Renika et al., 2024). Em comparação com métodos convencionais baseados em cronômetros e dispositivos mecânicos, a análise de vídeo oferece maior resolução temporal e maior flexibilidade para a análise posterior dos dados experimentais (Jr et al., 2012; Rocha et al., 2024).

Em conformidade com a teoria construtivista da aprendizagem, os estudantes constroem o conhecimento de forma ativa por meio da interação com o ambiente, em vez de receber informações de maneira passiva (Nurhuda et al., 2023; Suhendi et al., 2021; Tsehay et al., 2024). Atividades experimentais baseadas em vídeo permitem que os estudantes investiguem fenômenos do mundo real, coletem e analisem dados, testem previsões e interpretem resultados em contextos científicos autênticos (Marzari et al., 2023; Shao et al., 2024; Wee et al., 2015). Esse envolvimento ativo tem demonstrado apoiar a compreensão conceitual dos estudantes em cinemática, um tópico

no qual frequentemente enfrentam dificuldades para interpretar gráficos de movimento e relacioná-los com situações físicas (Leitão et al., 2011).

Além disso, o envolvimento com recursos de vídeo e multimídia apoia a aprendizagem significativa ao permitir que os estudantes processem informações por meio de canais visuais e verbais coordenados, em consonância com a teoria cognitiva da aprendizagem multimídia (Machado & Timóteo, 2023). Ferramentas de análise de vídeo, como o Tracker, possibilitam a observação simultânea do movimento físico, de dados numéricos e de representações gráficas, o que pode reduzir a carga cognitiva extrínseca e favorecer um processamento conceitual mais profundo. Quando os estudantes manipulam ativamente dados de vídeo e recebem feedback gráfico imediato, tornam-se mais propensos a desenvolver modelos mentais coerentes do movimento físico.

Com base nessas considerações, o presente estudo tem como objetivo examinar a aplicabilidade do software Tracker para a análise quantitativa do movimento retilíneo uniforme e do movimento retilíneo uniformemente acelerado, utilizando montagens experimentais acessíveis e de baixo custo. O estudo concentra-se nas capacidades analíticas do Tracker ao apresentar parâmetros ajustados, estimativas de incerteza e indicadores estatísticos, como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a raiz do erro quadrático médio (RMSE). Embora sejam discutidas implicações pedagógicas, os resultados de aprendizagem não são avaliados diretamente; em vez disso, o estudo enfatiza o potencial da experimentação baseada em vídeo para apoiar a compreensão de conceitos cinemáticos no âmbito de perspectivas construtivistas e de aprendizagem significativa.

## METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem experimental baseada em vídeo para examinar o movimento retilíneo em um contexto de ensino de física. As atividades experimentais foram realizadas no Laboratório de Ensino de Física da Faculdade de Educação e Humanidades, Universidade Nacional Timor Lorosa'e (UNTL). Foi utilizado um desenho quase-experimental, quantitativo e descritivo para explorar a aplicabilidade do *software* Tracker Video *Analysis* como ferramenta pedagógica e analítica para identificar e descrever o movimento retilíneo uniforme (MRU) e o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) utilizando os materiais simples e de baixo custo, adequados a contextos de sala de aula.

O estudo baseou-se na observação sistemática de fenômenos de movimento, sem manipulação intencional de variáveis, combinando abordagens quantitativas e observacionais e priorizando a clareza metodológica, a confiabilidade analítica e a viabilidade de aplicação em ambientes educacionais com recursos limitados (Renika et al., 2024). Importa salientar que esta investigação não envolveu estudantes nem outros participantes humanos; todos os dados foram obtidos a partir de demonstrações experimentais controladas realizadas pelos pesquisadores utilizando objetos inanimados.

O movimento foi registrado com a câmara de um iPhone 8 montado em tripé, com resolução 4K e taxa de 60 quadros por segundo. A câmara foi posicionada paralelamente à direção do movimento, a uma distância de aproximadamente 120–150 cm, para minimizar distorções visuais decorrentes da perspectiva (erro de paralaxe). Os vídeos gravados foram analisados com o software Tracker Video *Analysis* instalado num portátil Lenovo IdeaPad 1 (11IGL05), com sistema operativo Windows 10, seguindo procedimentos comumente adotados na análise cinemática baseada em vídeo para o ensino de Física (Renika et al., 2024; Rodrigues & Carvalho, 2014). A calibração espacial foi realizada utilizando uma fita métrica em centímetros colocada no mesmo plano do movimento, para converter coordenadas em píxeis em unidades métricas.

Foi utilizado um carrinho de brinquedo como objeto em movimento, percorrendo uma distância de 2,0 m para MRU e 1,0 m para MRUV. O rastreamento do objeto foi realizado automaticamente no Tracker usando uma suavização por média móvel de três quadros, com um ensaio efetuado para cada tipo de movimento. Os dados de posição-tempo foram exportados em formato CSV e analisados no *Microsoft Excel* com ajuste de curvas por mínimos quadrados para

obter parâmetros cinemáticos, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a raiz do erro quadrático médio (RMSE). A análise de incerteza limitou-se aos resíduos do ajuste e ao RMSE, uma vez que não foram realizados ensaios repetidos nem propagação independente de erros.

A análise dos dados foi realizada utilizando o Tracker Video *Analysis software* para extrair dados cinemáticos de gravações em vídeo de movimentos retilíneos. Os vídeos foram analisados quadro a quadro, permitindo obter a posição do objeto em função do tempo. A taxa de quadros da gravação determinou o intervalo de tempo entre quadros:  $\Delta t = \frac{1}{\text{fps}} \approx 0.017 \text{ s}$  para vídeos de 60 fps. O conjunto primário de dados obtido no Tracker consistiu em tempo ( $t, s$ ) e posição horizontal ( $x, m$ ). As coordenadas baseadas em píxeis foram convertidas em unidades métricas por meio de calibração espacial usando um objeto de referência de comprimento conhecido. O sistema de coordenadas foi alinhado com a direção do movimento, permitindo reduzir a análise a uma descrição cinemática uni-dimensional.

O movimento do objeto foi examinado usando a função de rastreamento automático disponível no Tracker. Os dados experimentais de posição-tempo obtidos foram calibrados espacialmente para converter medições em píxeis em unidades físicas, depois exportados como ficheiros CSV e analisados no *Microsoft Excel*. Assumindo movimento unidimensional, foi aplicado ajuste de curvas para derivar parâmetros cinemáticos (A, B e C) e medidas estatísticas ( $R^2$  e RMSE) diretamente dos dados experimentais originais, sem processamento adicional dos dados (Hockicko, 2020; Rodrigues & Carvalho, 2014; Wee & Leong, 2015; Bordin et al., 2022).

Para o movimento retilíneo uniforme, a análise principal foi realizada usando o gráfico posição-tempo ( $x-t$ ) com um modelo linear:  $x(t) = At + B$  em que: (A) representa a velocidade constante, (B) representa a posição inicial. Os parâmetros de ajuste foram obtidos usando o método dos mínimos quadrados implementado no Tracker. As incertezas dos parâmetros foram fornecidas diretamente pelo procedimento de ajuste, enquanto a qualidade do ajuste foi avaliada utilizando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a raiz do erro quadrático médio (RMSE).

A velocidade não foi calculada por diferenciação numérica dos dados de posição, pois a diferenciação amplifica o ruído. Em vez disso, a velocidade foi determinada a partir da inclinação do ajuste da curva posição-tempo. Pequenas flutuações aparentes na aceleração foram interpretadas como artefactos numéricos decorrentes da resolução espacial limitada, da taxa finita de quadros e da incerteza no rastreamento. A análise dos resíduos mostrou distribuição aleatória em torno de zero, indicando que o modelo linear descreve adequadamente o movimento retilíneo uniforme.

Para o movimento uniformemente acelerado, os dados de posição-tempo ( $x-t$ ) foram analisados usando um modelo quadrático:  $x(t) = At^2 + Bt + C$ . A interpretação física dos parâmetros de ajuste é: ( $A = \frac{1}{2}a$ ) → metade da aceleração, ( $B = v_0$ ) → velocidade inicial e ( $C = x_0$ ) → posição inicial. A aceleração foi obtida de  $a = 2A$ . Como etapa de validação, a aceleração também foi determinada independentemente a partir do gráfico de velocidade tempo ( $v-t$ ) usando um ajuste linear:  $v(t) = at + v_0$ .

A consistência entre os valores de aceleração derivados das análises ( $x-t$ ) e ( $v-t$ ) foi usada para avaliar a confiabilidade dos dados. Pequenas discrepâncias foram atribuídas ao ruído numérico introduzido durante a diferenciação. Tanto os casos de MRUV acelerado quanto desacelerado foram avaliados usando  $R^2$ , RMSE e análise de resíduos para avaliar a adequação do modelo e possíveis erros sistemáticos.

A incerteza na posição decorre principalmente da resolução em píxeis, da calibração espacial e das flutuações do rastreamento automático. A incerteza na velocidade e na aceleração aumenta devido à diferenciação numérica. Portanto, as grandezas físicas principais foram extraídas dos coeficientes de ajuste, e não dos dados brutos derivados. Como cada tipo de movimento foi registado apenas uma vez (ensaio único), não foi realizada análise estatística entre ensaios. Consequentemente, os resultados são descritivos e demonstrativos, e as interpretações quantitativas limitam-se às incertezas obtidas pelos procedimentos de ajuste.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resultados do Movimento Retilíneo Uniforme (MRU)

O movimento de um carrinho ao longo de um trajeto retilíneo com distância de 2 m foi analisado utilizando o *software* Tracker. Os valores experimentais de tempo, posição e velocidade, obtidos a partir de uma única gravação em vídeo, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados experimentais de MRU (ensaio único, distancia de 2 m)

No.	t (s)	x Tracker (m)	Velocidade (m/s)	No.	t (s)	x Tracker (m)	Velocidade (m/s)
1	0,000	0,000	1.47	9	0,965	1,421	1.47
2	0,548	0,813	1.47	10	1,015	1,494	1.47
3	0,615	0,908	1.47	11	1,048	1,543	1.47
4	0,632	0,932	1.47	12	1,115	1,641	1.47
5	0,698	1,029	1.47	13	1,165	1,715	1.47
6	0,748	1,102	1.47	14	1,215	1,788	1.47
7	0,815	1,200	1.47	15	1,298	1,911	1.47
8	0,898	1,323	1.47	16	1,315	1,935	1.47
				17	1,365	2,009	1.47

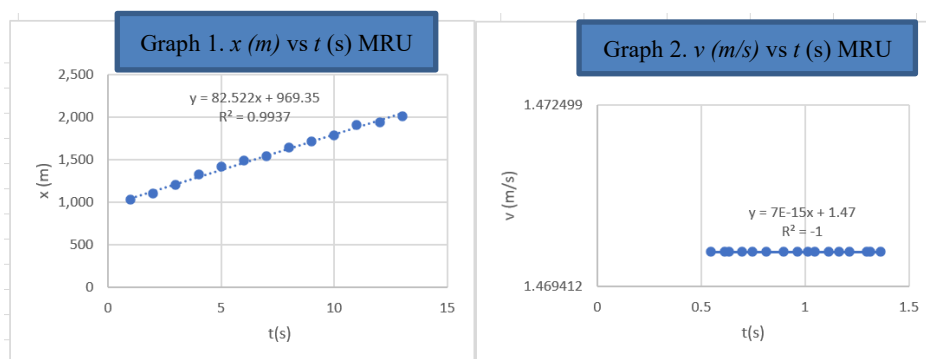


Figura 1. Gráficos de posição-tempo ( $x-t$ ) e velocidade-tempo ( $v-t$ ) para o movimento retilíneo uniforme (MRU).

Os dados de posição-tempo ( $x-t$ ) foram ajustados usando um modelo linear:  $x(t) = A t + B$ . Os resultados do ajuste produziram: coeficiente de velocidade:  $A = (1.47 \pm 0.01)$  m/s, Posição inicial ou intercepto:  $B = (9.69 \pm 0.02)$  m, coeficiente de determinação:  $R^2 = 0.9937$  e raiz do erro quadrático médio:  $RMSE < 0,03$  m, indicando baixa dispersão dos dados. A relação velocidade-tempo derivada do ajuste posição tempo é expressa como:  $v(t) = (7 \times 10^{-15})t + 1.47$ . A inclinação do gráfico velocidade tempo é estatisticamente indistinguível de zero. Os resíduos distribuíram-se aleatoriamente em torno de zero, indicando ausência de viés sistemático. Pequenas flutuações aparentes da aceleração ( $\pm 0.3$  m/s<sup>2</sup>) foram atribuídas ao ruído numérico decorrente da taxa finita de quadros, da resolução em píxeis e da diferenciação.

### Resultados do Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) acelerado

O movimento retilíneo uniformemente variado acelerado foi analisado por meio do rastreamento do deslocamento de um carrinho ao longo de uma distância de 1 m, utilizando o *software* Tracker. Os dados de posição-tempo e velocidade-tempo foram extraídos e posteriormente analisados no *Microsoft Excel*. O intervalo de tempo entre pontos de dados sucessivos foi aproximadamente  $\Delta t \approx 0.017$  s, produzindo um total de 35 pontos de dados.

Tabela 2. Dados experimentais do MRUV acelerado

N.º	t (s)	x (m)	v (m/s)	N.º	t (s)	x (m)	v (m/s)	N.º	t (s)	x (m)	v (m/s)
1	0.1	0.108	1.117	13	0.3	0.345	1.434	24	0.483	0.632	1.745
2	0.117	0.125	1.058	14	0.317	0.369	1.451	25	0.5	0.661	1.737
3	0.133	0.143	1.1	15	0.333	0.393	1.448	26	0.517	0.69	1.73
4	0.15	0.162	0.881	16	0.35	0.417	1.496	27	0.533	0.719	1.796
5	0.167	0.172	0.904	17	0.367	0.443	1.55	28	0.55	0.749	1.773
6	0.183	0.192	1.244					29	0.567	0.778	1.827
7	0.2	0.213	1.281	18	0.383	0.469	1.58	30	0.583	0.81	1.879
8	0.217	0.235	1.181	19	0.4	0.496	1.597	31	0.6	0.841	1.843
9	0.233	0.253	1.248	20	0.417	0.522	1.557	32	0.617	0.872	1.876
10	0.25	0.276	1.329	21	0.433	0.548	1.6	33	0.633	0.903	1.89
11	0.267	0.297	1.357	22	0.45	0.576	1.66	34	0.65	0.935	1.87
12	0.283	0.321	1.427	23	0.467	0.603	1.68	35	0.667	0.966	1.927

Os dados de posição  $x(t)$  obtidos da análise no Tracker foram exportados para o *Microsoft Excel* e expressos em metros. O ajuste dos dados de posição-tempo com um modelo quadrático  $x(t)=At^2+Bt+C$  resultou em  $A=0.859\pm 0.020$  m/s<sup>2</sup>,  $B=0,873\pm 0,015$  m/s,  $C=0,0073\pm 0,0026$  m, com RMSE = 0.00329 m e ( $R^2=0.9999$ ). Usando ( $a=2A$ ), a aceleração foi calculada como ( $a=1,72\pm 0,04$  m/s<sup>2</sup>). A análise independente de velocidade tempo usando ( $v(t)=at+v_0$ ) produziu ( $a=1,68\pm 0,08$  m/s<sup>2</sup>) e ( $v_0=0,874\pm 0,032$  m/s), com RMSE = 0.074 m/s e ( $R^2=0,93$ ).

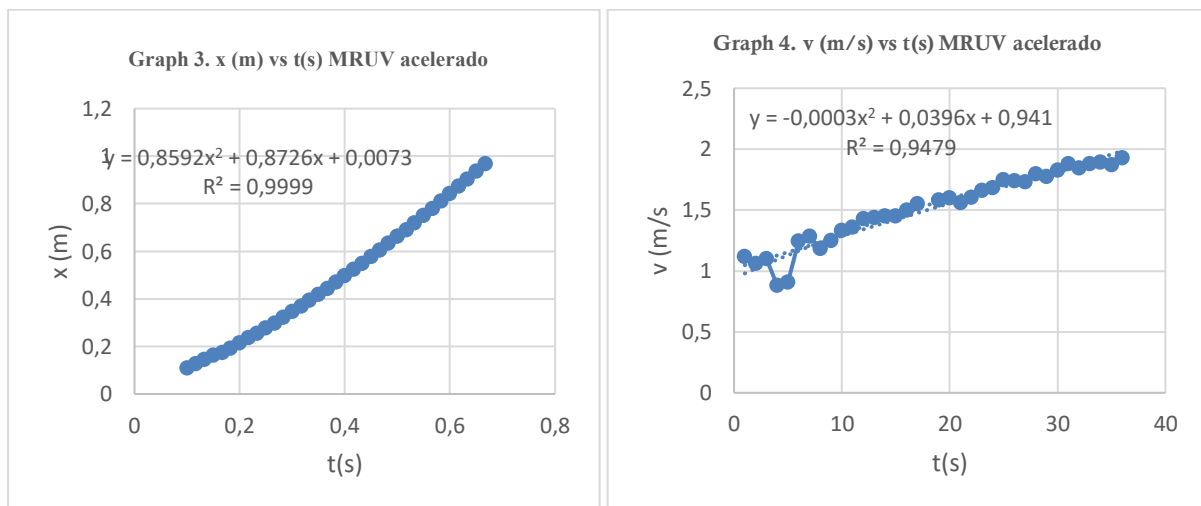


Figura 2. Gráficos de posição-tempo (x-t) e velocidade-tempo (v-t) para o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) acelerado

O experimento de movimento retilíneo uniformemente variado com desaceleração foi realizado registrando o deslocamento de um carrinho ao longo de uma distância aproximada de 1 m. Os dados experimentais de posição e velocidade em função do tempo estão apresentados na Tabela 3. A posição inicial em  $t = 0$  s foi  $x_0 = 0.000564$  m.

Tabela 3. Dados experimentais do MRUV desacelerado

No.	t (s)	x (cm)	x (m)	v (m/s)	No.	t (s)	x (cm)	x (m)	v (m/s)
1	0	0.0564	0.000564	–	23	0.733	3.7	0.037	0.433
2	0.033	0.232	0.00232	0.528	24	0.767	3.84	0.0384	0.428
3	0.067	0.408	0.00408	0.543	25	0.8	3.99	0.0399	0.455
4	0.1	0.594	0.00594	0.533	26	0.833	4.14	0.0414	0.452
5	0.133	0.764	0.00764	0.512	27	0.867	4.29	0.0429	0.424
6	0.167	0.936	0.00936	0.526	28	0.9	4.42	0.0442	0.412
7	0.2	1.11	0.0111	0.541	29	0.933	4.56	0.0456	0.41
8	0.233	1.3	0.013	0.516	30	0.967	4.7	0.047	0.405
9	0.267	1.46	0.0146	0.495	31	1	4.83	0.0483	0.416
10	0.3	1.63	0.0163	0.504	32	1.033	4.97	0.0497	0.421
11	0.333	1.79	0.0179	0.524	33	1.067	5.11	0.0511	0.427
12	0.367	1.98	0.0198	0.491	34	1.1	5.26	0.0526	0.418
13	0.4	2.12	0.0212	0.46	35	1.133	5.39	0.0539	0.407
14	0.433	2.28	0.0228	0.485	36	1.167	5.53	0.0553	0.408
15	0.467	2.45	0.0245	0.487	37	1.2	5.66	0.0566	0.404
16	0.5	2.61	0.0261	0.483	38	1.233	5.8	0.058	0.393
17	0.533	2.77	0.0277	0.462	39	1.267	5.93	0.0593	0.393
18	0.567	2.91	0.0291	0.454	40	1.3	6.06	0.0606	0.41
19	0.6	3.07	0.0307	0.483	41	1.333	6.2	0.062	0.399
20	0.633	3.24	0.0324	0.493	42	1.367	6.33	0.0633	0.364
21	0.667	3.4	0.034	0.469	43	1.4	6.44	0.0644	0.357
22	0.7	3.55	0.0355	0.452					

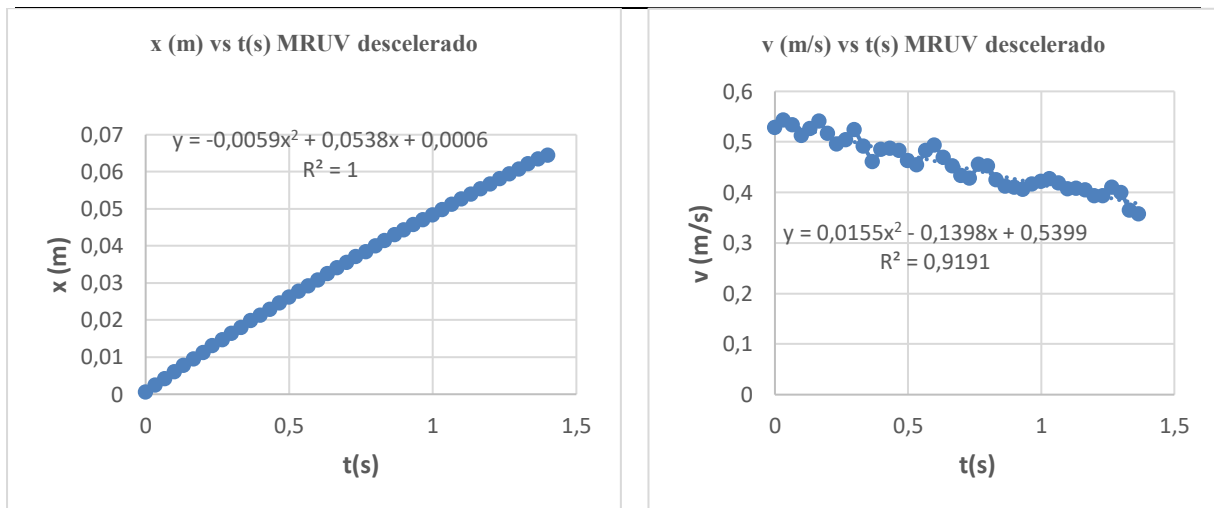


Figura 3. Gráficos de posição-tempo (x-t) e velocidade-tempo (v-t) para o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) desacelerado.

O movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) desacelerado foi analisado usando dados de posição e velocidade baseados em vídeo, processados com o Tracker. Os dados de posição tempo (x-t) foram ajustados com um modelo quadrático  $x(t) = At^2 + Bt + C$ , produzindo  $(A = -0.0059 \pm 0.0002 \text{ m/s}^2)$ ,  $(B = 0.0538 \pm 0.0011 \text{ m/s})$ ,  $(C = 0.0006 \pm 0.0004 \text{ m})$ , com  $(R^2 = 1.000)$  e  $RMSE = 3.88 \text{ m}$ , fornecendo a equação ajustada  $x(t) = (-0.0059 \pm 0.0002)t^2 + (0.0538 \pm 0.0011)t + (0.0006 \pm 0.0004)$ . A aceleração calculada a partir de  $(a = 2A)$  foi  $(-0.0118) \text{ m/s}^2$ . Os dados de velocidade-tempo (v-t) foram ajustados usando um modelo quadrático  $v(t) = at^2 + bt + c$ , produzindo  $(a = 0.0155 \pm 0.0021 \text{ m/s}^3)$ ,  $(b = -0.1398 \pm 0.012 \text{ m/s}^2)$ ,  $(c = 0.5399 \pm 0.018 \text{ m/s})$ , com  $(R^2 = 0.9191)$ , fornecendo a equação ajustada  $v(t) = (0.0155 \pm 0.0021)t^2 -$

$(0.1398 \pm 0.012)t + (0.5399 \pm 0.018)$ ). As incertezas indicam que os parâmetros posição-tempo apresentam baixos erros relativos, sugerindo um ajuste estável, enquanto os parâmetros velocidade-tempo exibem incertezas mais elevadas devido à diferenciação numérica, à limitada taxa de quadros do vídeo e à instabilidade do rastreamento automático. A análise de resíduos revelou desvios sistemáticos, sugerindo possíveis erros de perspectiva da câmara, deriva do rastreamento e acumulação de erros de medição. O RMSE de 3.88 m reflete um desvio considerável entre os dados experimentais e o modelo teórico, com uma precisão estimada de medição de aproximadamente 40%, indicando que os resultados ainda são afetados por limitações experimentais, como resolução do vídeo, calibração imperfeita da escala e efeitos de paralaxe durante o registo.

Tabela 4. Comparação entre resultados experimentais e previsões teóricas

Tipo de movimento	Variável	Valor experimental	Incerteza	Valor teórico / nominal	Desvio relativo
<b>MRU (Movimento Retilíneo Uniforme)</b>	$v$	1.47 m/s	$\pm 0.01$	1.47 m/s	0 %
	$x_0$	0.969 m	$\pm 0.02$	0.969 m	0 %
<b>MRUV - Acelerado</b>	$a$	1.72 m/s <sup>2</sup>	$\pm 0.04$	1.68 m/s <sup>2</sup>	2.4 %
	$v_0$	0.873 m/s	$\pm 0.015$	0.875 m/s	0.2 %
	$x_0$	0.0073 m	$\pm 0.0026$	0 m	0.73 %
<b>MRUV - Desacelerado</b>	$a$	-0.0118 m/s <sup>2</sup>	$\pm 0.0002$	-0.0118 m/s <sup>2</sup>	0 %
	$v_0$	0.0538 m/s	$\pm 0.0011$	0.054 m/s	0.37 %
	$x_0$	0.0006 m	$\pm 0.0004$	0 m	0.06 %

Este estudo demonstra que a análise de vídeo com o Tracker é capaz de captar as características cinemáticas essenciais do movimento retilíneo uniforme (MRU) e do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) por meio de experiências laboratoriais simples baseadas em vídeo. A consistência entre as representações posição-tempo e velocidade-tempo indica que os parâmetros cinemáticos extraídos são internamente coerentes e amplamente consistentes com a teoria cinemática clássica. No entanto, é necessário considerar cuidadosamente a validade dos dados e as limitações experimentais para garantir uma interpretação adequada desses resultados.

Na experiência de MRU, a velocidade medida permaneceu aproximadamente constante em 1,47 m/s, enquanto a aceleração calculada flutuou em torno de zero. Essas flutuações não representam aceleração física, mas decorrem principalmente da diferenciação numérica de dados de posição discretizados. Esse efeito é agravado por limitações instrumentais inerentes à análise de vídeo, incluindo a frequência limitada de quadros da câmara ( $\Delta t \approx 0,017$  s), a resolução limitada em píxeis e a instabilidade do rastreamento. Comportamento semelhante foi amplamente relatado em estudos anteriores, que mostram consistentemente que as estimativas de aceleração são mais sensíveis ao ruído do que as estimativas de velocidade na análise de movimento baseada em vídeo (Wee et al., 2015; Marín, 2018; Nggolaon & Silahooy, 2023). A aceleração medida para o MRUV foi de 1,68 m/s<sup>2</sup>, aproximando-se do valor teórico esperado de 1,68 m/s<sup>2</sup>, apresentando um desvio relativo de 1,2%. A velocidade inicial para o MRUV desacelerado foi medida em 0,54 m/s. A análise dos resíduos e o RMSE indicam que a incerteza experimental permanece significativa devido à frequência de quadros, à instabilidade do rastreamento e à paralaxe, em acordo com estudos anteriores (Elot et al., 2022; Zahran et al., 2024).

Apesar desses resultados significativos, várias fontes de incerteza permanecem significativas. Erros potenciais de paralaxe podem surgir de um ligeiro desalinhamento entre a câmara e a direção do movimento, enquanto movimentos residuais da câmara não podem ser completamente excluídos, mesmo com estabilização por tripé. Além disso, este estudo não aplicou técnicas de suavização nem realizou ensaios repetidos. Consequentemente, as flutuações observadas nos dados de velocidade e aceleração devem ser interpretadas como limitações metodológicas, e não como inconsistências físicas do movimento.

Do ponto de vista analítico, as ferramentas gráficas incorporadas no Tracker são

principalmente exploratórias e nem sempre fornecem descritores estatísticos completos, como incertezas dos parâmetros ou métricas de qualidade de ajuste. A exportação dos dados processados para *software* externo, como o *Microsoft Excel*, permite um ajuste de curvas mais transparente, estimativa de incerteza e apresentação de indicadores estatísticos, incluindo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Portanto, o Tracker deve ser considerado sobretudo como uma ferramenta de extração e visualização de dados, complementada por *software* externo para uma análise quantitativa rigorosa.

Quanto às implicações pedagógicas, é importante enfatizar que este estudo não envolveu estudantes como participantes da pesquisa e não avaliou resultados de aprendizagem. Consequentemente, não podem ser tiradas conclusões sobre eficácia instrucional. Em vez de reivindicar ganhos de aprendizagem medidos, os resultados indicam o potencial da análise de vídeo baseada no Tracker para apoiar o ensino de física, ao possibilitar a análise por meio de representações múltiplas do movimento e a visualização de quantidades cinemáticas abstratas. Estudos futuros devem incorporar avaliações educacionais formais, como pré e pós-testes, análise de ganhos de aprendizagem ou retorno qualitativo dos estudantes, para avaliar empiricamente o impacto desta abordagem sobre a aprendizagem dos estudantes.

## CONCLUSÃO

Dentro das limitações experimentais e das incertezas de medição, este estudo demonstra que o Tracker Video *Analysis* pode produzir de forma confiável representações gráficas consistentes e ajustes de curva precisos para o movimento retilíneo uniforme e o movimento retilíneo uniformemente variado usando montagens experimentais simples e de baixo custo. A consistente correspondência entre as análises de posição-tempo e velocidade-tempo confirma que parâmetros cinemáticos fundamentais, particularmente velocidade e aceleração, podem ser extraídos quantitativamente com precisão aceitável, mesmo a partir de gravações em vídeo de ensaio único.

Este trabalho destaca a eficácia do Tracker como ferramenta para extração e visualização de dados cinemáticos quando combinado com análise do software externa de dados para ajuste transparente de curvas e apresentação de indicadores estatísticos. No entanto, os achados restringem-se ao contexto experimental examinado e não abordam resultados de aprendizagem, uma vez que não houve participação de estudantes nem avaliações instrucionais. Estudos futuros devem incorporar ensaios repetidos, análises de incerteza mais sistemáticas e avaliações educacionais formais para melhor avaliar o impacto pedagógico da análise de movimento baseada no Tracker. Também se recomenda disponibilizar os dados originais de vídeo e os ficheiros de projeto do Tracker como materiais suplementares, a fim de melhorar a repetibilidade e favorecer uma adoção mais ampla no ensino de física.

## REFERÊNCIAS

- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? a Study of the Effectiveness of Practical Work as a Teaching and Learning Method in School Science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969. <https://doi.org/10.1080/09500690701749305>
- Aguilar-Marín, P., Chavez-Bacilio, M., & Jáuregui-Rosas, S. (2018). Using analog instruments in Tracker video-based experiments to understand the phenomena of electricity and magnetism in physics education. *European Journal of Physics*, 39(3), 035204.
- Becker, S., Klein, P., Gößling, A., & Kuhn, J. (2020). Investigating Dynamic Visualizations of Multiple Representations Using Mobile Video Analysis in Physics Lessons: Effects on Emotion, Cognitive Load and Conceptual Understanding. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26(1), 123-142. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00116-9>.
- Bezerra Jr, A. G., de Oliveira, L. P., Lenz, J. A., & Saavedra, N. (2012). Videoanálise Com o Software Livre Tracker no Laboratório Didático de Física: Movimento Parabólico e Segunda Lei de Newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29. <https://doi.org/10.5007/2175->

7941.2012v29nesp1p469

- Bordin, G. D., França, I. H., & Bezerra, A. G. (2022). Desenvolvimento e utilização de um aplicativo móvel brasileiro para videoanálise: "Videoanalizando". *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44, e20220058.
- Cabral, P. A. (2014). *O Ensino Secundário da Física em Escolas Timorenses: O Trabalho Laboratorial e o Recurso a Materiais Simples* (Master's thesis, Universidade de Aveiro (Portugal)).
- Elot, Y. M., Angol, Y., Alus, G., Astro, R. B., & Nasar, A. (2022). Analisis Percepatan Gravitasi Berbasis Video Tracking pada Ayunan Bandul. *Jurnal Kumparan Fisika*, 5(2), 69-76.
- Freitas, M. L. F. (2018). *Laboratório de Física em Timor-Leste: Criação de um Curriculum em Ótica* (Master's thesis, Universidade do Porto (Portugal)).
- Freitas, M. L. F. (2023). Importância Da Atividade Laboratorial No Departamento Do Ensino De Física Da Universidade Nacional Timor Lorosae. (UNTL). *MAGNETON: Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika*, 1(2), 86-94. <https://doi.org/10.30822/magneton.v1i2.2469>.
- Graaf, J. Van Der, Segers, E., & Jong, T. De. (2020). Fostering Integration of Informational Texts and Virtual Labs During Inquiry. *Contemporary Educational Psychology*, 62(2020), 101890. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101890>
- Hahn, L., & Klein, P. (2023). The Impact of Multiple Representations on Students' Understanding of Vector Field Concepts: Implementation of Simulations and Sketching Activities into Lecture-Based Recitations in Undergraduate Physics. *Frontiers in Psychology*, 13, 1012787. <https://doi.org/doi:10.3389/fpsyg.2022.1012787>
- Hockicko, P. (2020). Using Video-Analysis of Motions in Physics Teaching and Learning. *The Online Journal of Science and Technology-July*, 10(3).
- Leitão, L. I., Fernando, P., Teixeira, D., & Saraiva, F. (2011). A vídeo-análise como recurso voltado ao ensino de física experimental : um exemplo de aplicação na mecânica Video-analysis as a resource to experimental physics teaching : an example of mechanic application El análisis de video como recurso dirigido a la. *Revista Eletronica De Investigacion En Educacion En Ciencias*, 6, 1-15.
- Machado, L. A. L. M., da Silva, T. L., Timóteo, D. J. A., & Tarouco, L. M. R. (2023). Recursos multimídia na educação sob o enfoque da teoria cognitiva de aprendizagem de Richard Mayer. *Redin-Revista Educacional Interdisciplinar*, 12(2), 121-140.
- Marzari, A., Di Mauro, M., Rosi, T., Onorato, P., & Malgieri, M. (2023). Investigating the Principle of Relativity And The Principle Of Equivalence In Classical Mechanics: Design And Evaluation of a Teaching Learning Sequence Based on Experiments and Simulations. *Education Sciences*, 13(7), 712.
- May, J. M. (2023). Historical analysis of innovation and research in physics instructional laboratories: Recurring themes and future directions. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2), 020168.
- Nggolaon, D., & Silahooy, S. (2023). Analisis Percepatan Gravitasi Pada Gerak Jatuh Bebas Menggunakan Aplikasi Video Tracker. *PHYSIKOS Journal of Physics and Physics Education*, 2(2), 79-86. <https://doi.org/10.30598/physikos.2.2.10937>
- Nurhuda, A., Al Khoiron, M. F., Azami, Y. S. I., & Ni'mah, S. J. (2023). Constructivism Learning Theory in Education: Characteristics, Steps and Learning Models. *Research in Education and Rehabilitation*, 6(2), 234-242.
- Papalazarou, N., Lefkos, I., & Fachantidis, N. (2024). The Effect of Physical and Virtual Inquiry - Based Experiments on Students ' Attitudes and Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 33(3), 349-364. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10088-3>.
- Putri, A. S., & Agustina, R. R. (2023). Enhancing Physics Learning Through Virtual Experiments: Analyzing Parabolic Motion and Maximum Height Using Tracker Software. *ISEJ: Indonesian*

*Science Education Journal*, 4(3), 86-94.

- Renika, J., Prima, E. C., & Amprasto, A. (2024). Kinematics Analysis on Accelerated Motion Using Tracker Video Analysis for Educational Purposes. *Momentum: Physics Physics Education Journal*, 8(1), 23-31. <https://doi.org/10.21067/mpej.v8i1.8883>
- Rocha, J. G., de Moura, M. C. S., Ataíde, M. C. E. S., de Paula Madeira, M., Frazão, N. F., & Sarmiento, R. G. (2024). Estudo Do Movimento Curvilíneo Uniformemente Variado Via Software Tracker. *Educação, Ciência e Saúde*, 11(2).
- Rodrigues, M., & Simeão Carvalho, P. (2014). Teaching optical phenomena with Tracker. *Physics Education*, 49(6), 671-677.
- Shao, F., Tang, L., & Zhang, H. (2024). Video watching and hands-on experiments to learn science: what can each uniquely contribute? *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 6(1), 17.
- Soares, T. (2011). As actividades laboratoriais no ensino de ciências em Timor-Leste: Uma Investigação Centrada Nas Percepções De Autoridades Educativas E De Professores de Ciências Físico-Naturais (Master's thesis, Universidade do Minho (Portugal)).
- Suhendi, A. ., Purwarno, P. ., & Chairani, S. . (2021). Constructivism-Based Teaching and Learning in Indonesian Education. *KnE Social Sciences*, 5(4), 76–89. <https://doi.org/10.18502/kss.v5i4.8668>
- Taslina, S., Kustoyo, B., & Afrilia, M. (2022). Analysis Of Vertical Motion Of Objects Using The Tracker Application As A Basic Physics Learning Media. *Jurnal Ilmiah Metadata*, 4(3), 405-423. <https://doi.org/10.47652/metadata.v4i3.808>.
- Tomkelski, M. L., Baptista, M., & Richit, A. (2023). Physics Teachers' Learning on the Use of Multiple Representations in Lesson Study about Ohm's Law. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 11(3), 427-444.
- Tsehay, S., Belay, M., Seifu, A., & Zone, W. G. (2024). Challenges in constructivist teaching : Insights from social studies teachers in middle-level schools, West Gojjam Zone, Ethiopia. Challenges in constructivist teaching : Insights from social studies. *Cogent Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2372198>.
- Volkwyn, T. S., Airey, J., Gregorcic, B., Linder, C., & Airey, J. (2020). Developing representational competence : linking real-world motion to physics concepts through graphs motion to physics concepts through graphs. *Learning: Research and Practice*, 6(1), 88-107. <https://doi.org/10.1080/23735082.2020.1750670>
- Wee, Loo Kang, and Tze Kwang Leong. (2015). Video Analysis and Modeling Performance Task to Promote Becoming Like Scientists in Classrooms. *American Journal of Educational Research*. 3(2), 197-207. <https://doi.org/10.12691/education-3-2-13>
- Zahran, M., Medellu, N. C., Sari, I. M., & Selamat, M. B. (2024). Jurnal Phi Implementasi Software Tracker Berbagai Kota di Pulau Sulawesi Indonesia dan. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika Dan Fisika Terapan*. 10(2), 10-17.