

Seminários do Mestrado Profissional em Ensino de Física



Instituto de Física



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Experimentos e videoanálise

Dinâmica

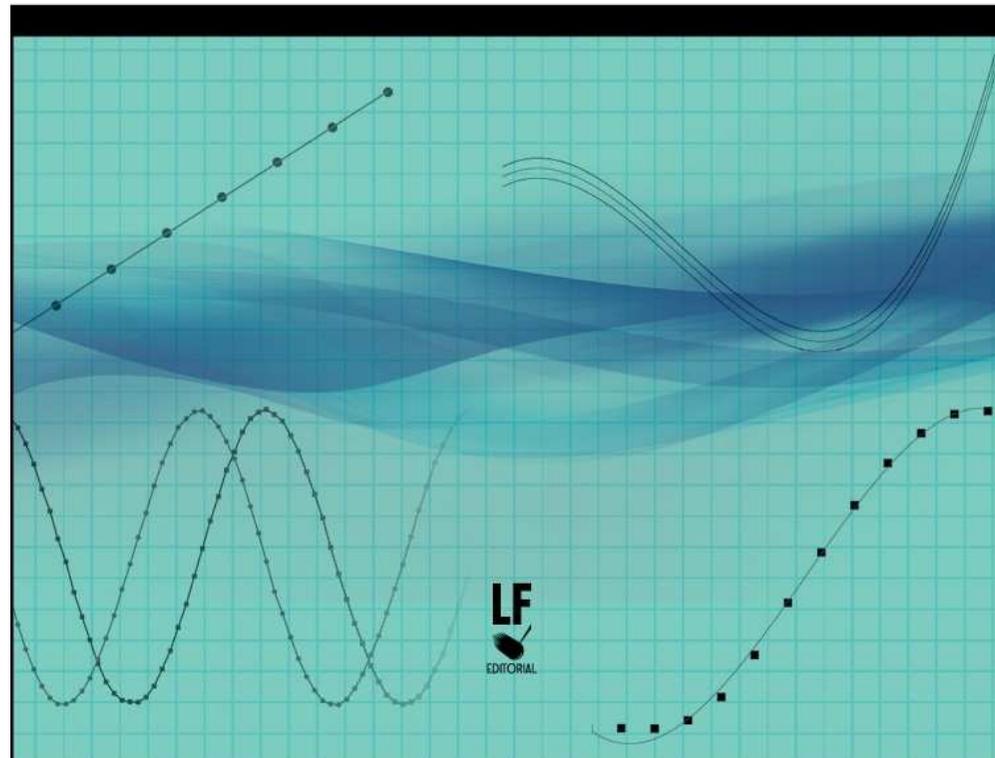
Vitor L. B. de Jesus
IFRJ – Campus Nilópolis



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO DE JANEIRO

Vitor L. B. de Jesus

**EXPERIMENTOS
E VIDEOANÁLISE
– DINÂMICA –**



OBJETIVO

- A teoria e a experiência parecem “duas físicas” que nunca se encontram. Elas vivem separadas, uma na sala de aula e outra no laboratório.
- Contribuir para unir essas duas “físicas”.

CONTEÚDO

- Foram escolhidos experimentos importantes para o laboratório básico que envolvem
 - As Leis de Newton
 - Aceleração da gravidade
 - Movimento circular
 - Pêndulo simples
 - Pêndulo cônico
 - Conservação da energia mecânica
 - Colisão bidimensional

CONTEÚDO

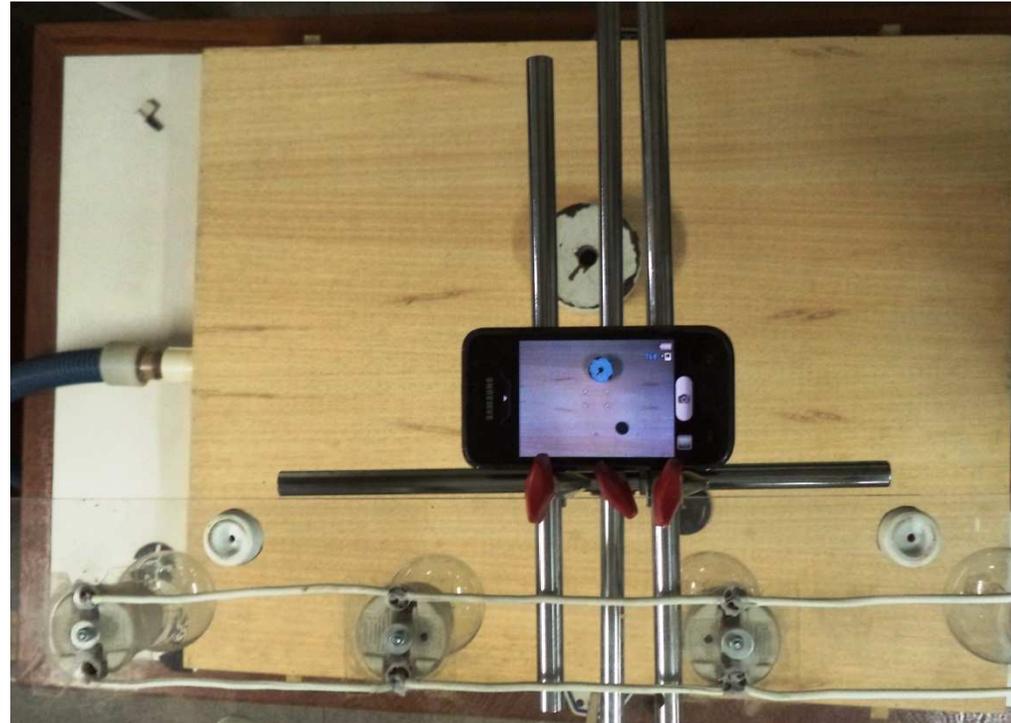
- Também foram incluídos experimentos que possuem importância no cotidiano:
- O rolamento com e sem deslizamento
que envolve
 - atrito estático
 - atrito cinético
 - atrito de rolamento
(resistência ao rolamento).

TEORIA E EXPERIMENTO UNIDOS PARA ENSINAR FÍSICA

- As premissas e modelos propostos são testados de forma imparcial, prevalecendo o bom senso, que pode levar o leitor a rever a premissa inicial, refutando-a ou levando a tentar uma reformulação do modelo proposto.

*A LEI
DA
INÉRCIA*

A LEI DA INÉRCIA



Aparato experimental montado para o estudo da Lei da Inércia [1]. São utilizados uma mesa de ar, uma unidade de fluxo, um *puck*, um obstáculo (um cilindro de 3,3 kg – massa muito maior que a do *puck* que é $7,02 \pm 0,02$ g), um conjunto composto por quatro lâmpadas incandescentes apoiada acima da mesa de ar (foto à esquerda) e uma câmera de celular com taxa de aquisição de 30 fps afastada aproximadamente um metro da mesa de ar (foto à direita).

[1] Francisco Ferreira de Lucena Filho. *Projeto de construção de uma mesa de ar para o estudo experimental de colisões bidimensionais*. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro (2010).

A LEI DA INÉRCIA

Tracker

File Edit Video Tracks Coords Window Help

memory in use: 107MB of 247MB

Track Control

mass F

axes angle from horizontal 35,4°

6,250

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

mass F (t, y)

t

y

t=0.16 y=0.07

right-drag for options

mass F Data

t	x	y
0	-46.921	0.033
0.033	-40.386	0.029
0.066	-33.497	0.062
0.099	-26.598	0.03
0.132	-19.806	0.035
0.165	-13.243	0.069
0.198	-6.622	0.023
0.231	0.027	0.015
0.264	6.029	-1.738
0.297	11.926	-3.801
0.33	18.06	-5.935
0.363	24.087	-8.032
0.396	29.939	-10.159

x=0E0 y=0E0

1092 100%

mesa de ar 1.trk mesa de ar 2.trk mesa de ar 3.trk mesa de ar velocidade media 1.mp4 mesa de ar velocidade media 2 100graus.trk mesa de ar velocidade media 2 170graus.trk

20:05 25/07/2014

A LEI DA INÉRCIA

Tracker

File Edit Video Tracks Coords Window Help

memory in use: 107MB of 247MB

Track Control

mass F

axes angle from horizontal 35,4°

6,250

mass F

(t, y)

0 0,05 0,10 0,15 0,20 0,25 0,30 0,35

0 -1 -2 -3 -4 -5 -6 -7 -8 -9 -10

t

t=0,33 y=-5,94 right-drag for options

mass F

t	x	y
0	-46,921	0,033
0,033	-40,386	0,029
0,066	-33,497	0,062
0,099	-26,598	0,03
0,132	-19,806	0,035
0,165	-13,243	0,069
0,198	-6,622	0,023
0,231	0,027	0,015
0,264	6,029	-1,738
0,297	11,926	-3,801
0,33	18,06	-5,935
0,363	24,087	-8,032
0,396	29,939	-10,159

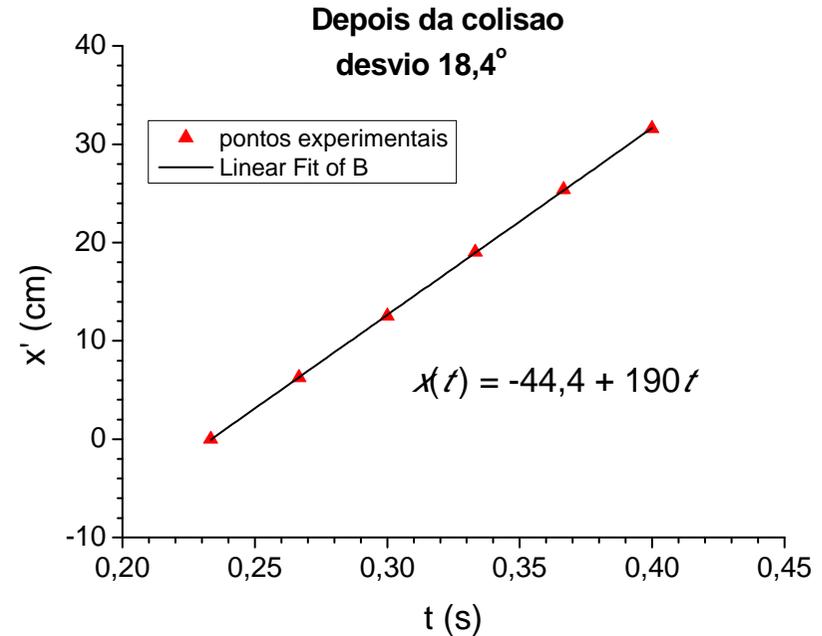
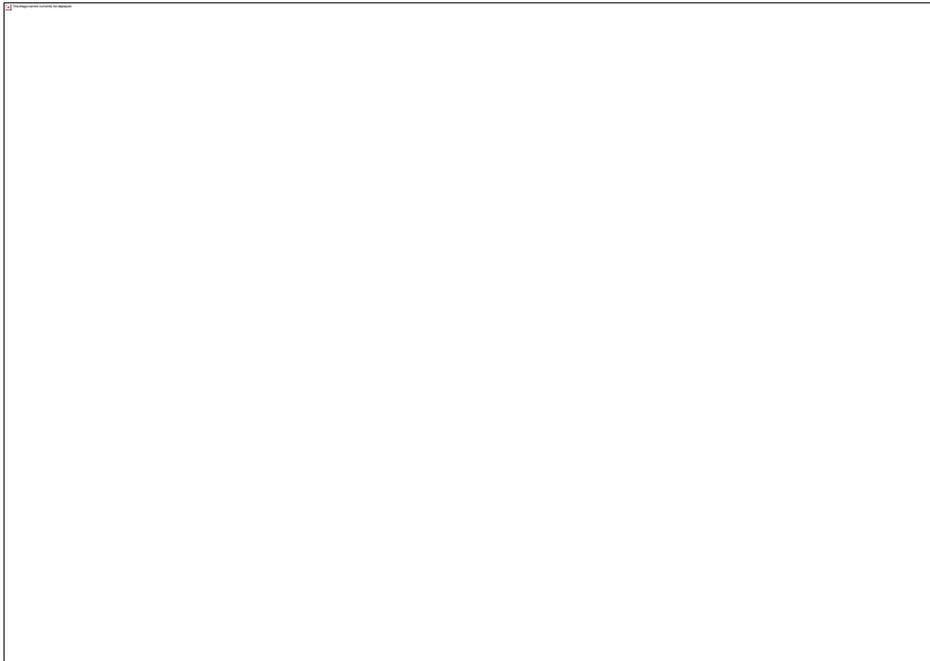
x=0E0 y=0E0

1097 100%

mesa de ar 1.trk mesa de ar 2.trk mesa de ar 3.trk mesa de ar velocidade media 1.mp4 mesa de ar velocidade media 2 100graus.trk mesa de ar velocidade media 2 170graus.trk

20:05 25/07/2014

A LEI DA INÉRCIA



Gráficos da posição em função do tempo para o *puck* antes (à esquerda) e depois (à direita) da colisão. Desvio de 18,4°

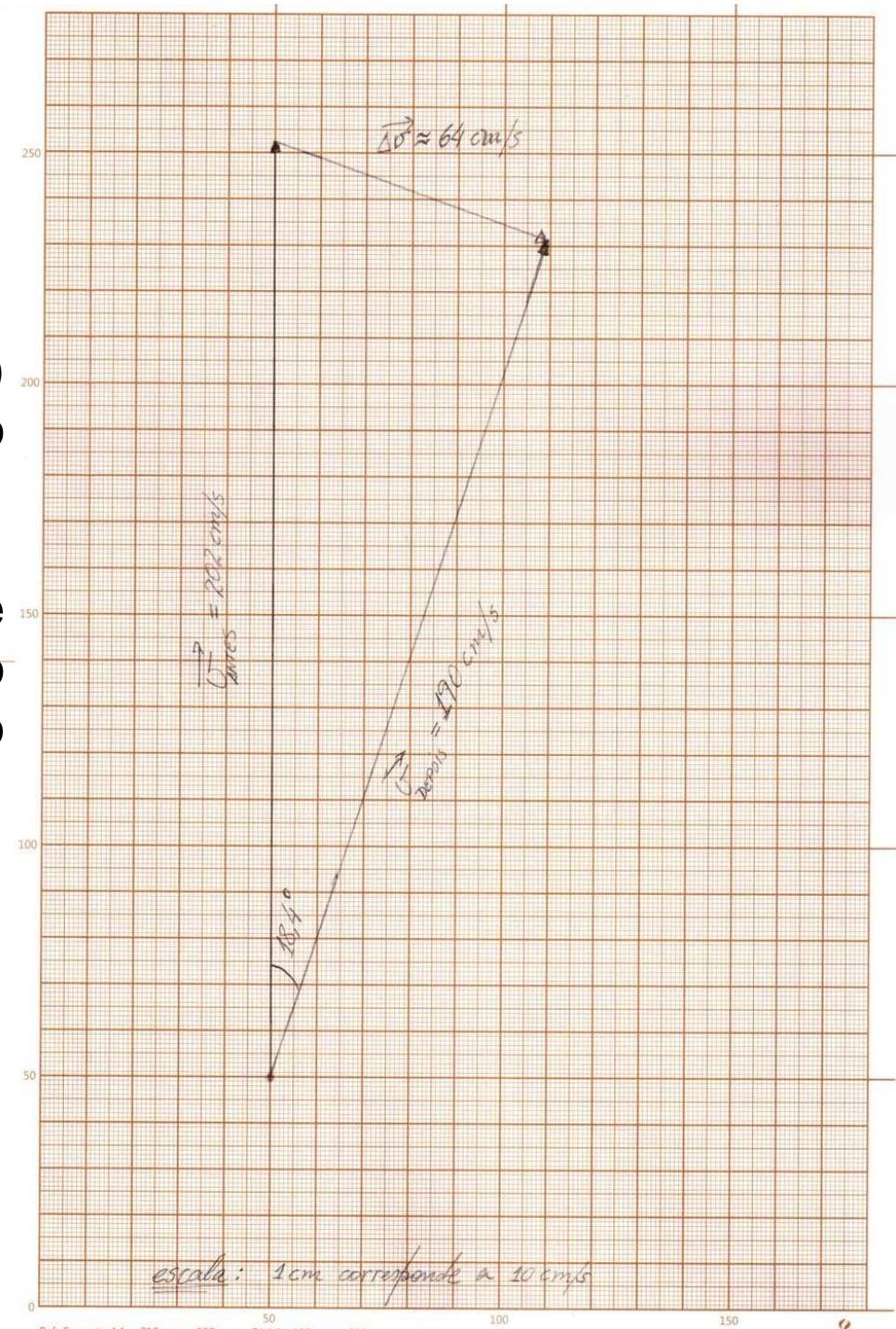
Tabela I: Dados das coordenadas de posição em função do tempo para o *puck* antes e depois da colisão.

Antes da colisão		Depois da colisão	
t (1/30s)	x (cm)	t (1/30s)	x'(cm)
0	-46,9	8	0,0
1	-40,4	9	6,3
2	-33,5	10	12,5
3	-26,6	11	19,0
4	-19,8	12	25,4
5	-13,2	13	31,6
6	-6,6		
7	0,0		

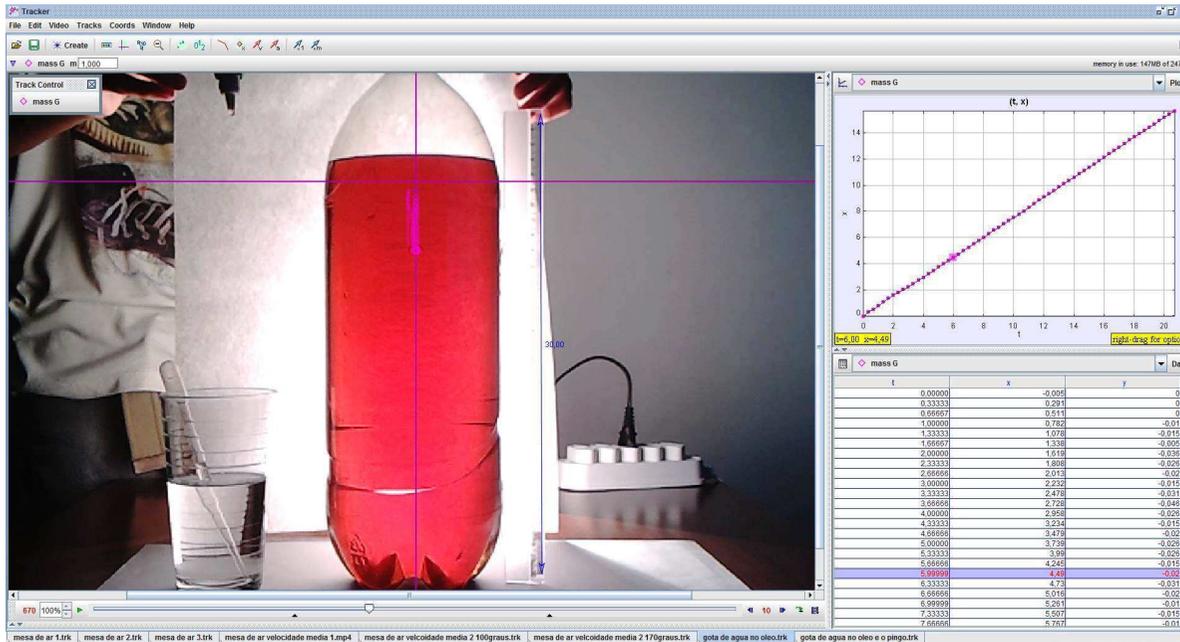
A LEI DA INÉRCIA

Desenho em escala (1 cm : 10 cm/s) referente aos vetores velocidade do *puck* antes e depois da colisão.

O módulo vetor variação de velocidade pode ser determinado diretamente do desenho utilizando uma régua.

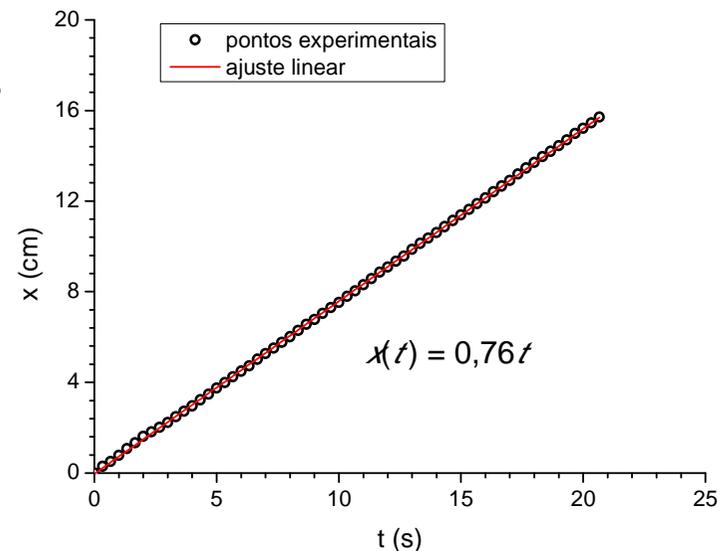


A LEI DA INÉRCIA

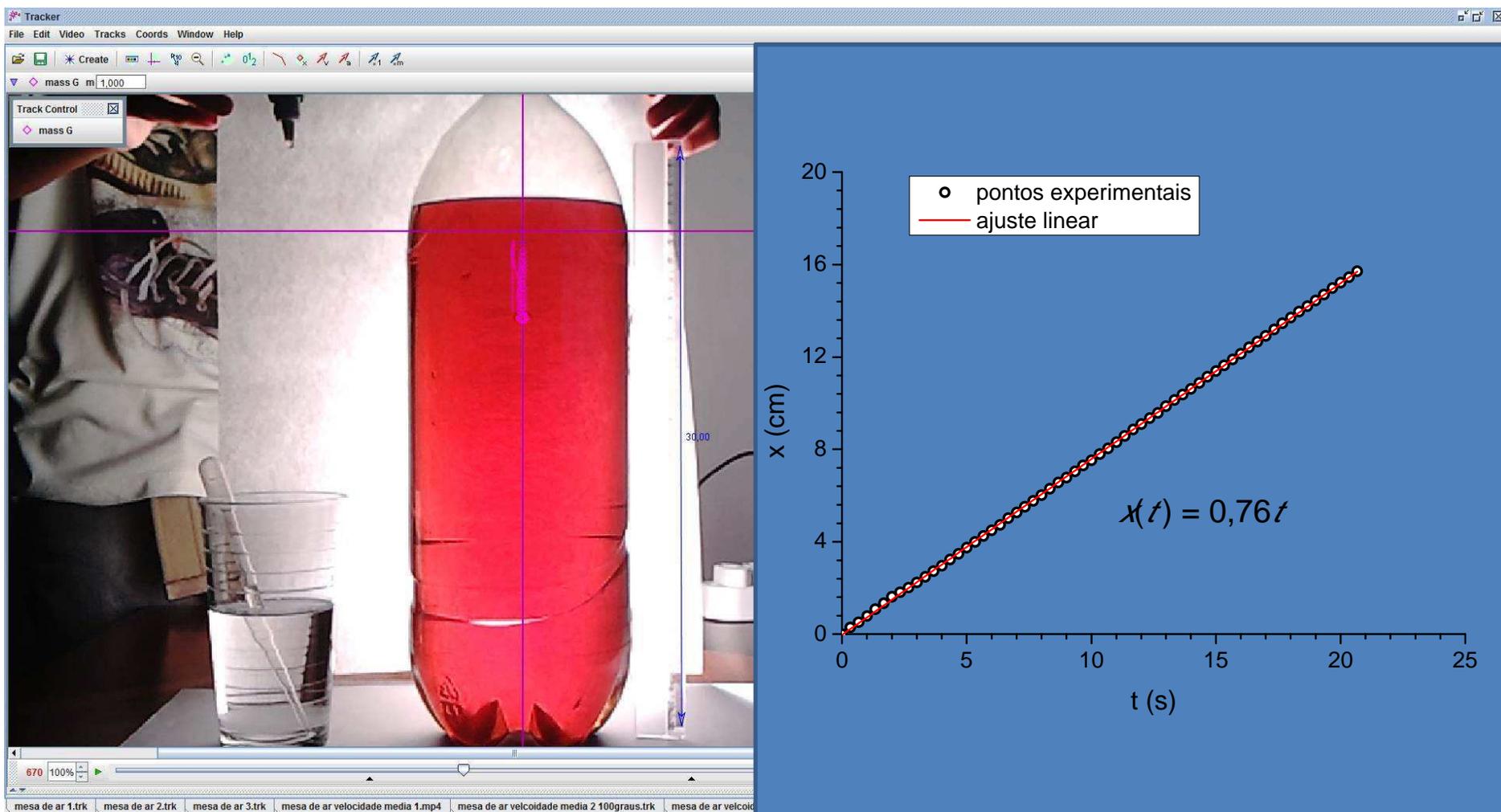


O resultado deve surpreender, pois afinal, pela experiência diária, gotas de água que percorrem pequenas distâncias parecem cair rapidamente e de forma acelerada. A única explicação para tal fato é que o óleo interage com a gota e sua ação cancela a atração exercida pela Terra sobre a gota.

O resultado do experimento da gota de água imersa no óleo mostra que a resultante de forças que atua sobre ela deve ser nula, pois **medimos** o seu estado de inércia, em movimento retilíneo vertical no sentido de cima para baixo com velocidade constante de 0,76 cm/s.



A LEI DA INÉRCIA



ROLAMENTO
PURO

ROLAMENTO PURO

Capítulo 9 – Rolamento puro por videoanálise

Tracker

File Edit Video Tracks Coords Window Help

memory in use: 40MB of 247MB

Track Control

- mass A
- mass B
- massa C

massa C m | 1,000

massa C selected (set mass on toolbar)

150 100%

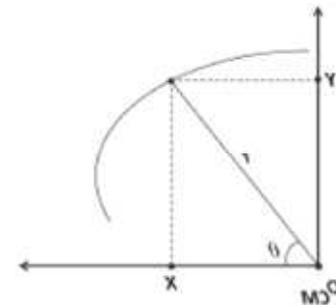
Rolamento aro 28cm.trk

massa C

(x, v)

x=-27,49 v=78,51

t	x	y
0	2,5	6,155
0,034	1,902	5,075
0,067	1,407	4,2
0,1	0,957	3,332
0,133	0,7	2,464
0,166	0,545	1,712
0,2	0,352	1,191
0,234	0,153	0,644
0,267	0,108	0,31
0,301	0,063	0,13
0,334	0,005	0,007
0,367	-0,098	0,168
0,401	-0,265	0,438
0,434	-0,394	0,818
0,466	-0,625	1,416
0,5	-0,786	1,988
0,533	-1,043	2,644
0,566	-1,326	3,409



ROLAMENTO PURO

Capítulo 9 – Rolamento puro por videoanálise

EXPERIMENTOS E VIDEOANÁLISE – DINÂMICA

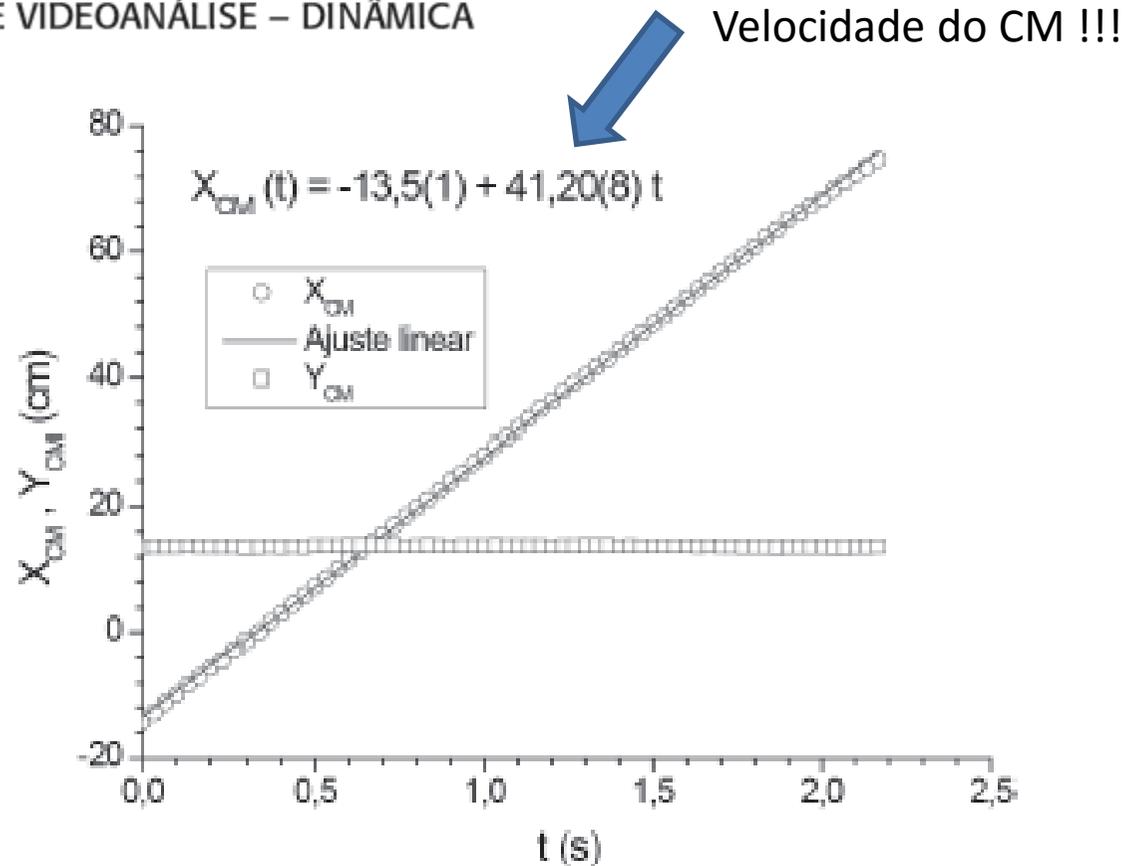


Figura 3: Gráfico das coordenadas do centro de massa da roda de bicicleta, no referencial do laboratório, em função do tempo.

ROLAMENTO PURO

Capítulo 9 – Rolamento puro por videoanálise

EXPERIMENTOS E VIDEOANÁLISE – DINÂMICA

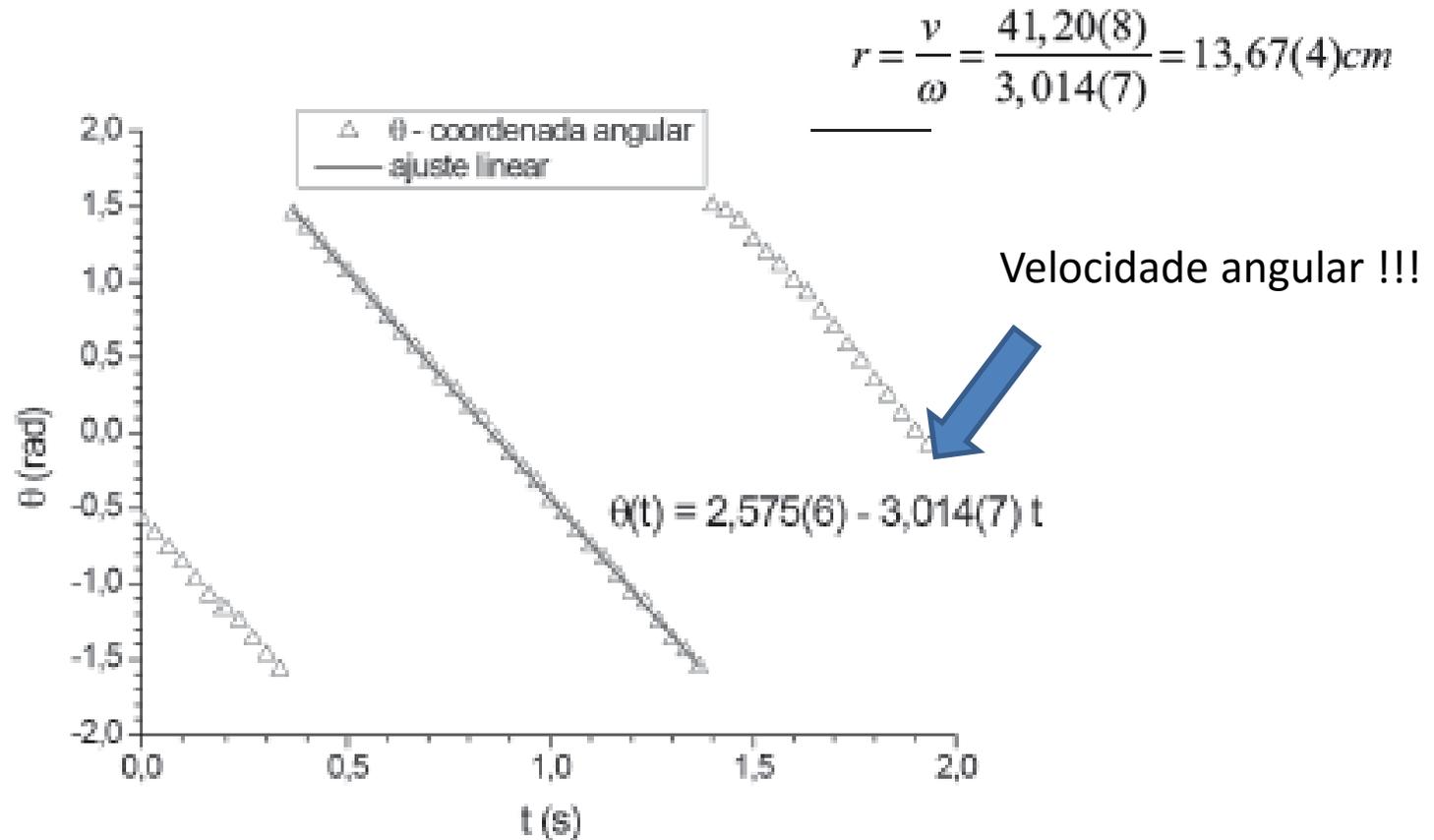


Figura 6: Gráfico da coordenada polar, medida em relação ao referencial do centro de massa da roda, em função do tempo.

ROLAMENTO PURO

Capítulo 9 – Rolamento puro por videoanálise

EXPERIMENTOS E VIDEOANÁLISE – DINÂMICA

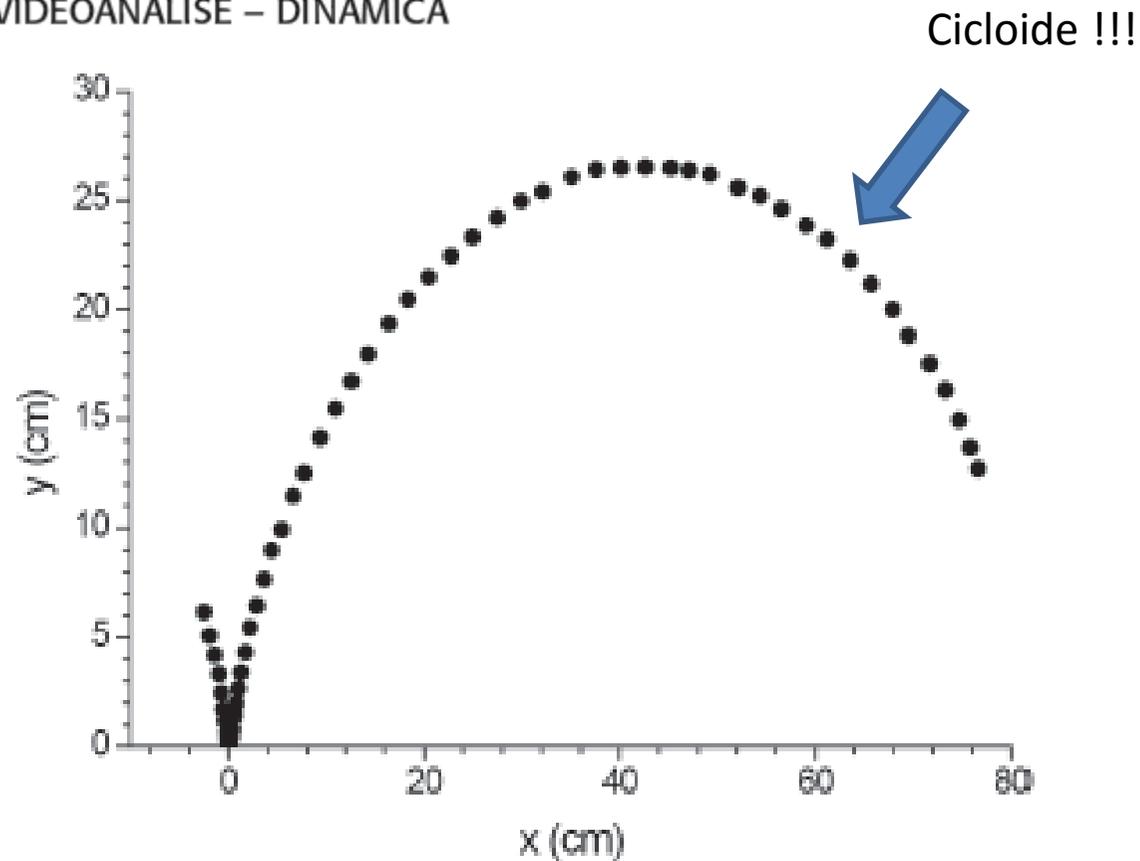


Figura 8: Gráfico da trajetória em coordenadas cartesianas do ponto P referente à extremidade da roda, medida em relação ao referencial do laboratório.

ROLAMENTO PURO

Capítulo 9 – Rolamento puro por videoanálise

EXPERIMENTOS E VIDEOANÁLISE – DINÂMICA

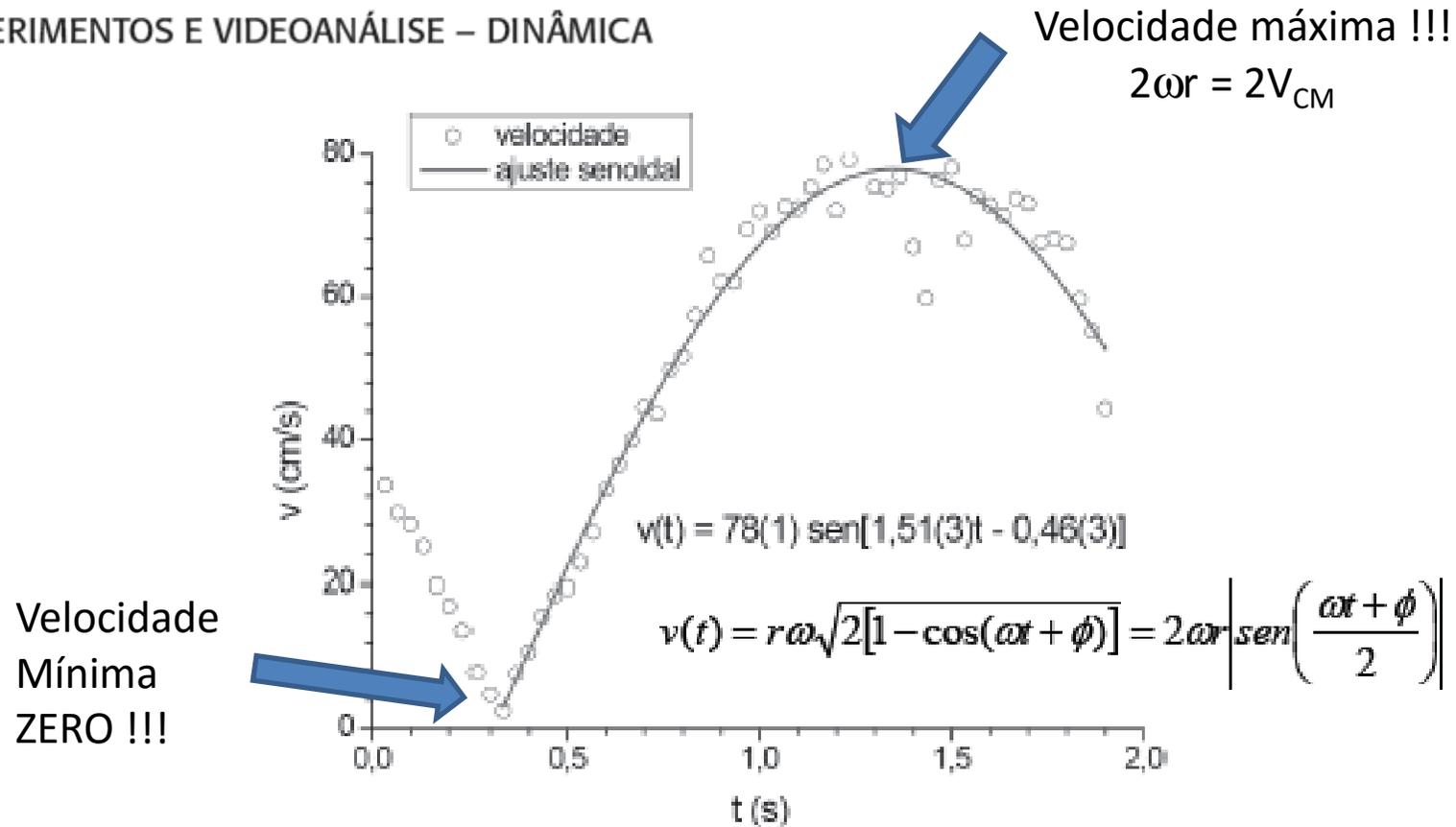


Figura 9: Gráfico do módulo da velocidade do ponto P referente à extremidade da roda, medida em relação ao referencial do laboratório, em função do tempo.

ROLAMENTO PURO

Capítulo 9 – Rolamento puro por videoanálise

EXPERIMENTOS E VIDEOANÁLISE – DINÂMICA

A videoanálise mostrou que o centro de massa da roda realiza MRU.

Observamos que um ponto qualquer da periferia do aro se desloca sobre uma CICLOIDE, corroborando o rolamento SEM DESLIZAMENTO.

De fato, **as duas únicas forças que atuam sobre a roda na vertical são as forças peso e reação normal ao apoio**, que se cancelam, como também seus torques sobre o centro de massa da roda.

ROLAMENTO PURO

EXPERIMENTOS E VIDEOANÁLISE – DINÂMICA

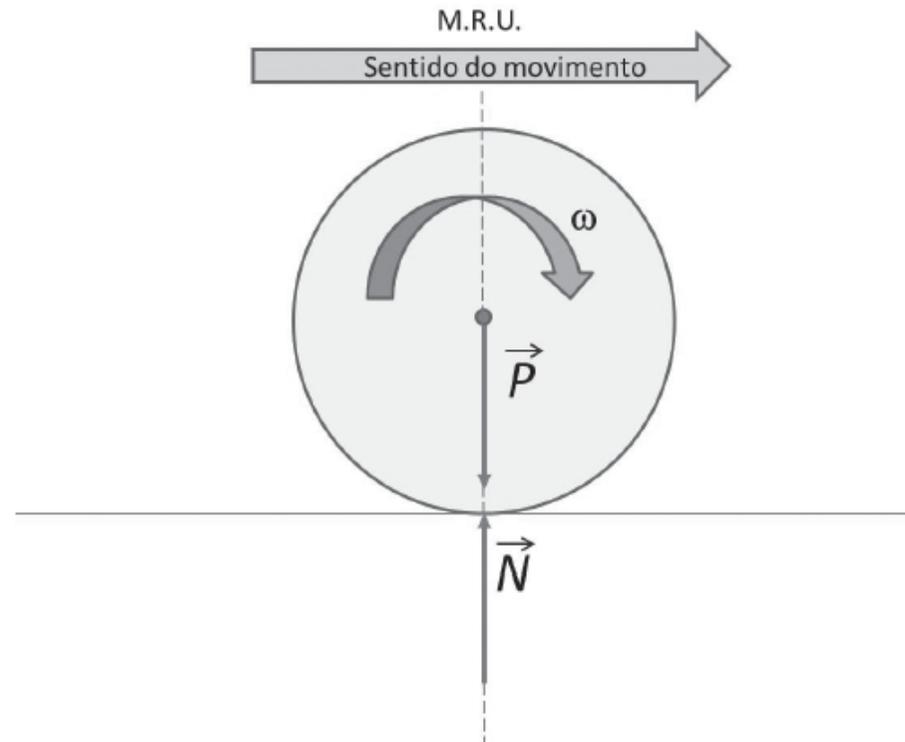


Figura 11: Configuração possível para que um sólido indeformável e geometricamente perfeito realize um rolamento puro em movimento retilíneo uniforme (MRU). Se temos MRU, a força resultante sobre o corpo deve ser nula. A figura mostra o caso em que não há força propulsora atuando sobre o corpo, logo a força de atrito estático é nula, bem como os torques das forças peso e normal.

ROLAMENTO
COM
E
SEM
DESLIZAMENTO

ROLAMENTO COM E SEM DESLIZAMENTO



ROLAMENTO COM E SEM DESLIZAMENTO

154

EXPERIMENTOS E VIDEOANÁLISE – DINÂMICA

Capítulo 10 – Atrito cinético e atrito de rolamento por videoanálise

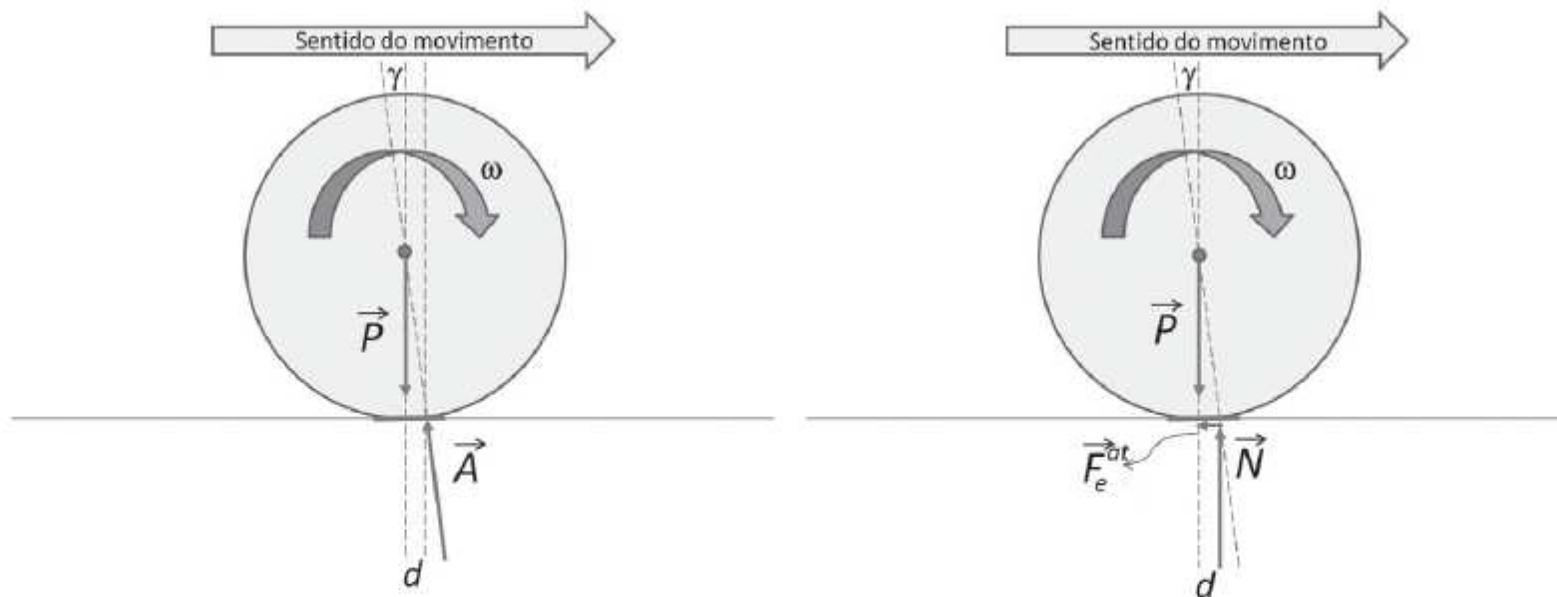


Figura 1: Forças que atuam sobre uma roda deformável em movimento. À esquerda são mostradas a ação da força peso \vec{P} e a resultante das forças de contato \vec{A} . À direita, o vetor \vec{A} é decomposto em força de reação normal ao apoio \vec{N} e força de atrito estático \vec{F}_e^{at} .

LANÇAMENTO DE UM CORPO RÍGIDO

Imagine o lançamento manual de um cilindro, sem girar, em um movimento suave e rente ao solo, sobre uma superfície horizontal cujo atrito não é desprezível.

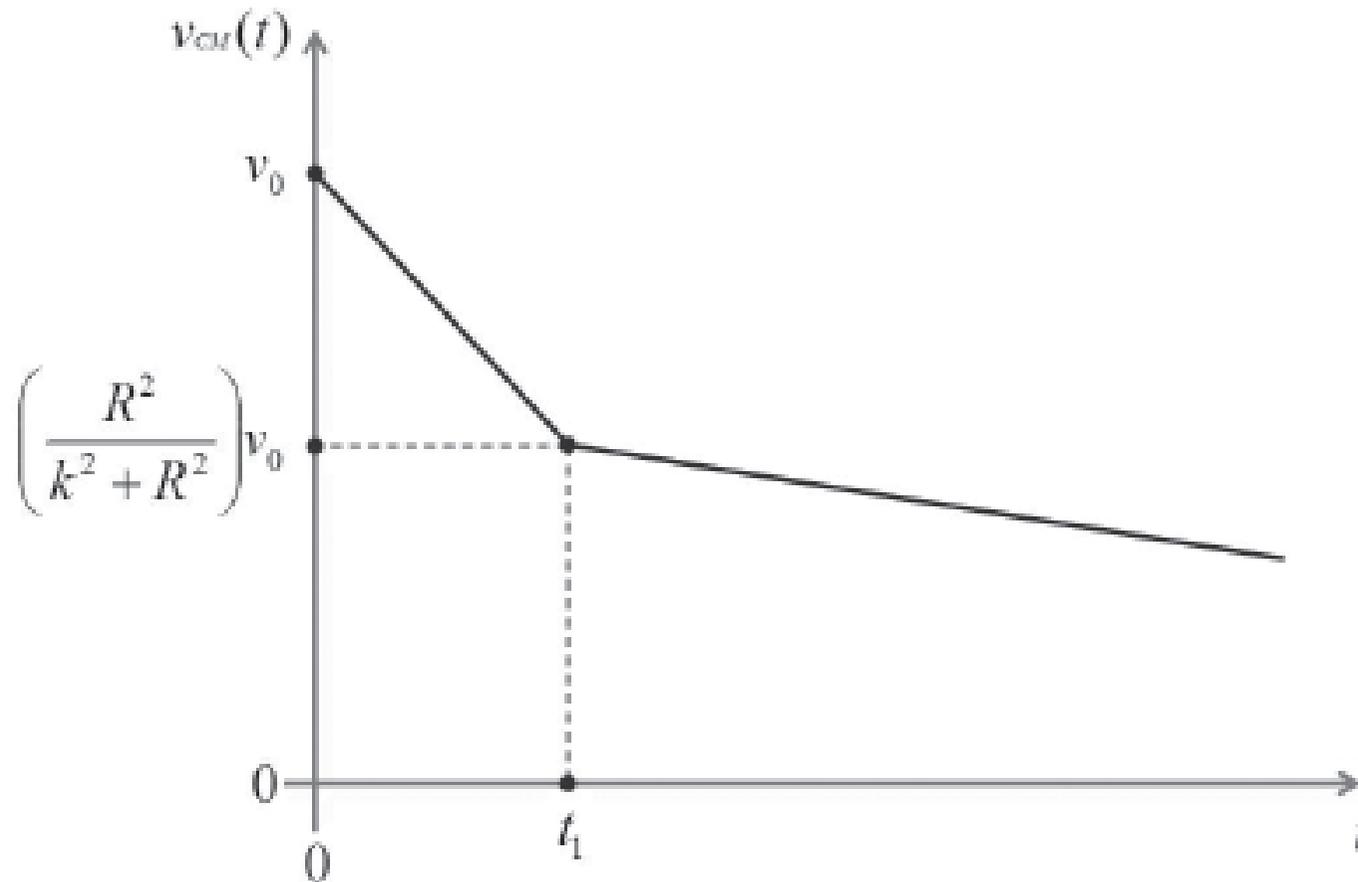


Figura 3: Gráfico $v_{cm}(t)$ x t do rolamento do corpo de prova com deslizamento ($t < t_1$) e sem deslizamento ($t \geq t_1$).

LANÇAMENTO DE UM CILINDRO

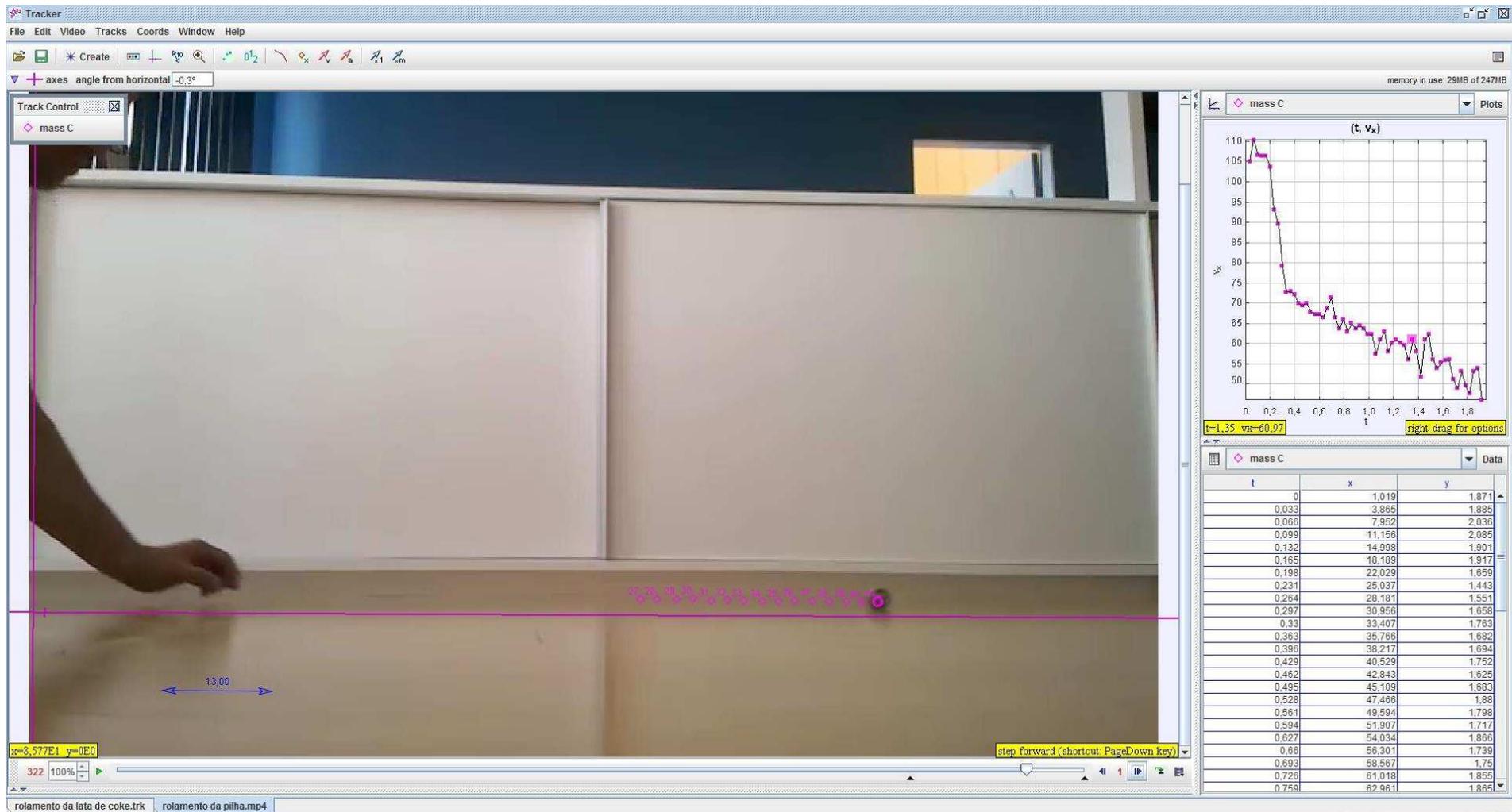


Figura 4: Instantâneo da tela do programa Tracker. Ao centro, um quadro do vídeo do movimento da pilha. Do lado direito inferior, a tabela de dados da posição e do tempo do centro de massa da pilha. Do lado direito superior, o gráfico da velocidade do centro de massa em função do tempo.

LANÇAMENTO DE UM CILINDRO

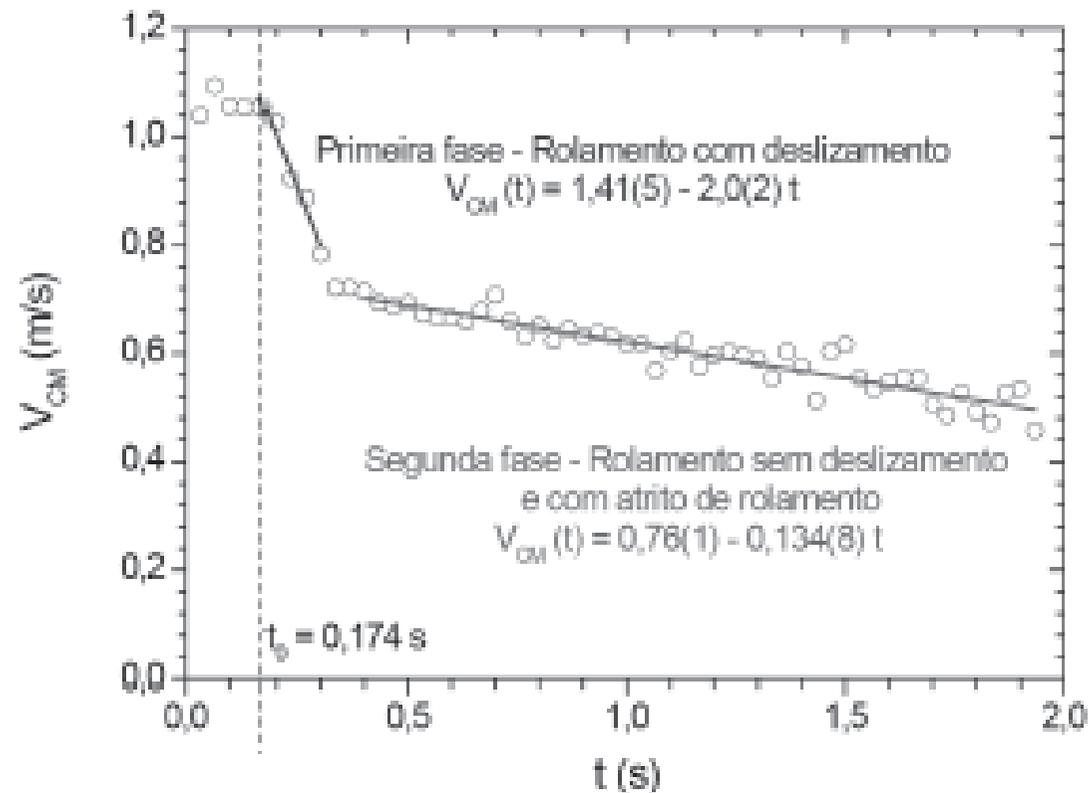
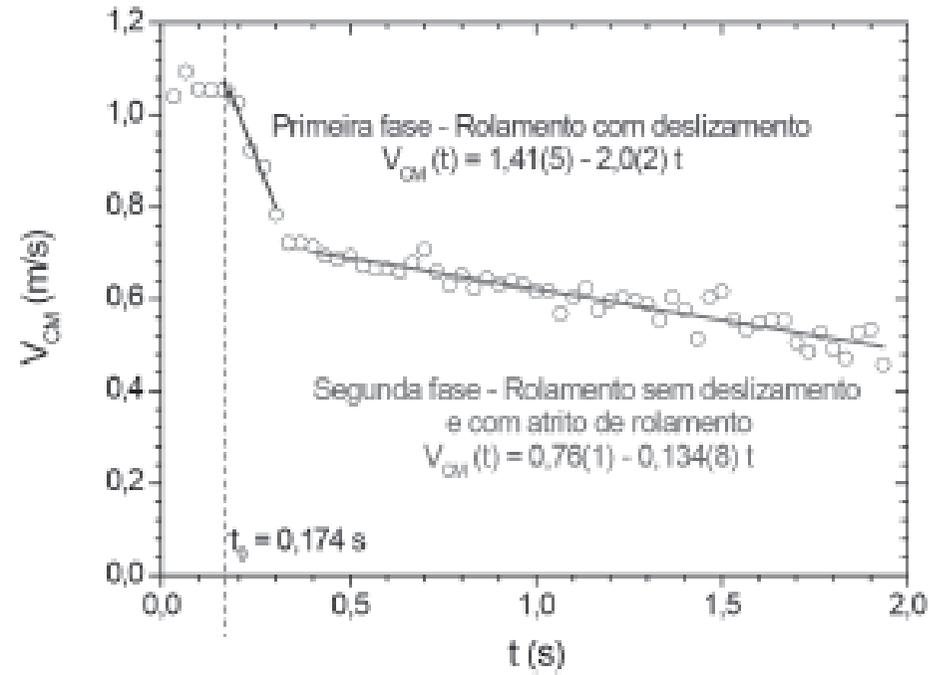
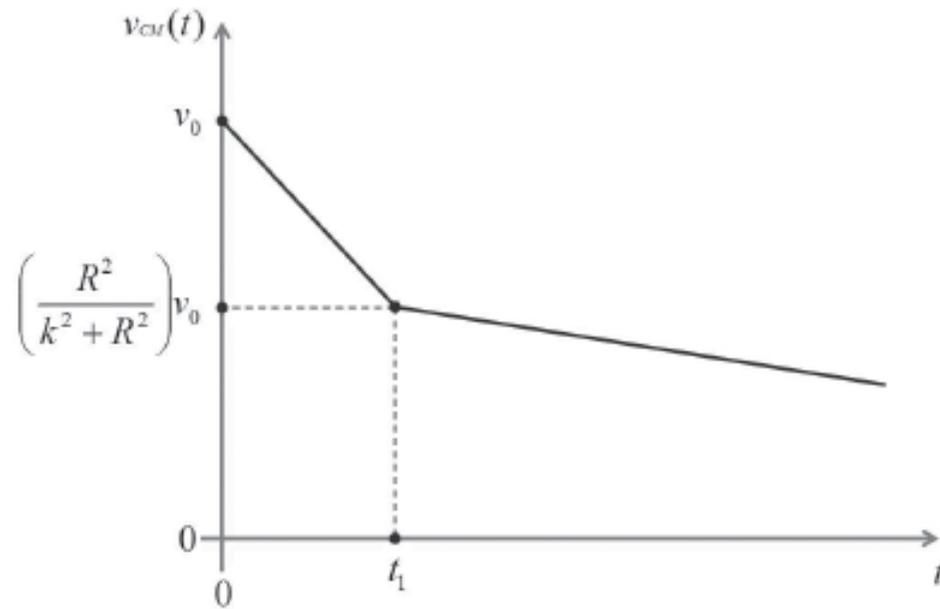


Figura 5: O gráfico mostra a variação da velocidade do centro de massa de uma pilha durante seu lançamento em uma superfície plana. Depois de 0,174 s de início da filmagem, o experimentador lança a pilha, sem rolar, com uma velocidade inicial de, aproximadamente, 1,06 m/s.

LANÇAMENTO DE UM CILINDRO



LANÇAMENTO DE UM CILINDRO

Tabela I: Grandezas físicas obtidas a partir da videoanálise para o movimento da pilha.

<i>Grandezas físicas</i>	<i>Medidas</i>
Velocidade inicial, v_0	$1,06 \pm 0,02$ m/s
Velocidade em $t = t_1$	$0,70 \pm 0,02$ m/s
Coef. de atrito cinético, μ_c	$0,20 \pm 0,02$
Coef. de atrito de rolamento, μ_r	$0,021 \pm 0,001$
Deslocamento do ponto de aplicação da força de reação normal de apoio, d	$0,25 \pm 0,01$ mm
t_1 obtido a partir da observação direta do gráfico – ponto de encontro entre os ajustes	$0,18 \pm 0,05$ s
t_1 , a partir da Equação (4) $t_1 = \frac{1}{3} \frac{v_0}{\mu_c g}$	$0,18 \pm 0,02$ s

Com o valor obtido em (14), sabendo que a pilha possui um diâmetro de 24 mm ($R = 12$ mm) e utilizando a Equação (1), calculamos o deslocamento do ponto de atuação da força normal ao apoio em relação ao centro de massa, d :

$$d = R\mu_r = 12\text{mm} \times 0,021 = 0,25 \pm 0,01\text{mm} \quad (15)$$

VÍDEOS

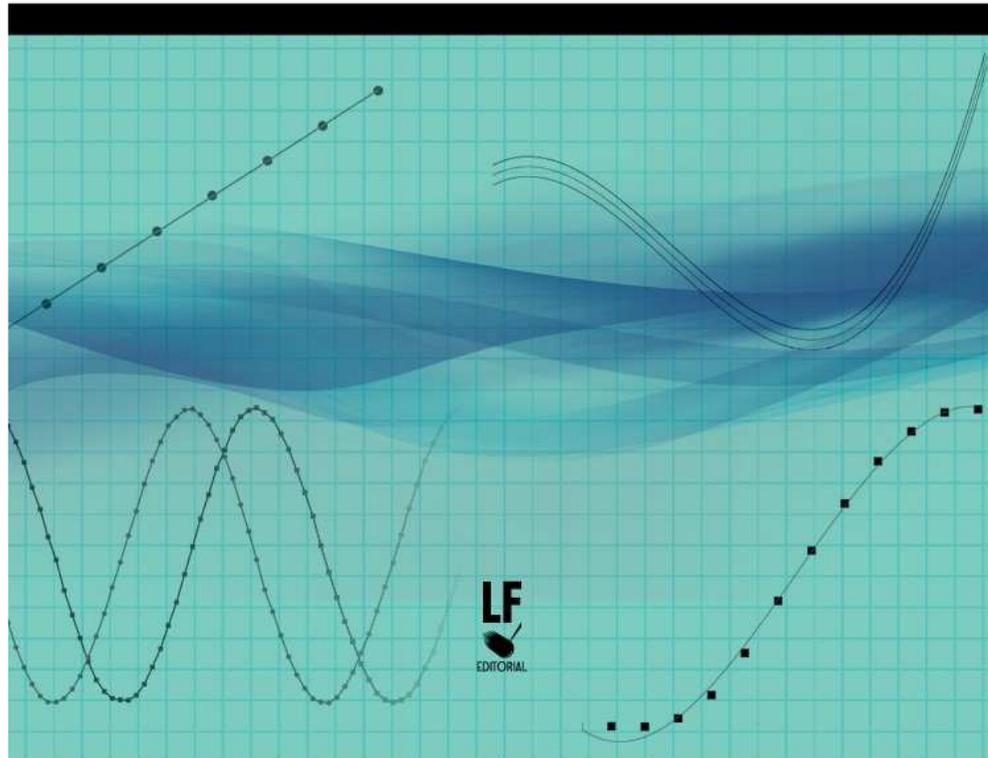
Os vídeos utilizados no livro estão disponíveis no link:

<https://www.dropbox.com/sh/dk5qvtj3v26625p/AACdaWVtdfImWkjONvmAWbU9a>

Nessa página é possível ter acesso a todos os vídeos que foram utilizados neste livro. O leitor é encorajado a baixá-los e realizar a sua própria videoanálise.

Vitor L. B. de Jesus

**EXPERIMENTOS
E VIDEOANÁLISE
– DINÂMICA –**



OBIGADO!