

# EXPERIMENTOS VIRTUAIS DE MECÂNICA<sup>i</sup>

Monaliza da Fonseca<sup>1</sup>, Nora Lia Maidana<sup>2</sup> (\*)

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo, Instituto de Física, [monalizafonseca@gmail.com](mailto:monalizafonseca@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo, Instituto de Física, [nmaidana@if.usp.br](mailto:nmaidana@if.usp.br)

## RESUMO

Este trabalho descreve a experiência real de rolamento, filmada e disponibilizada no site <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/>. Discutimos o fenômeno físico, o procedimento experimental, os cuidados necessários para o sucesso da análise e, por fim, a interpretação do movimento observado, a partir da análise dos quadros extraídos dos vídeos do experimento. Os relatórios apresentados pelos alunos de Mecânica dos Corpos Rígidos e Fluido no primeiro semestre de 2010 foram analisados e permitiram avaliar se o objetivo didático proposto foi alcançado.

## 1. INTRODUÇÃO

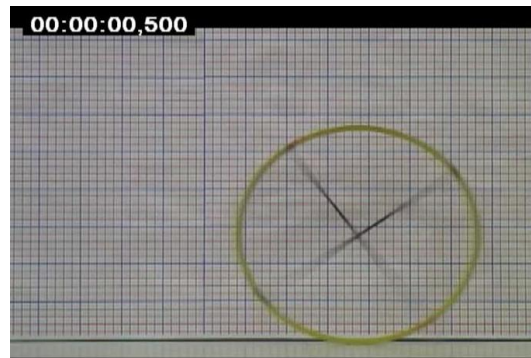
Este trabalho faz parte do projeto denominado Experimentos Virtuais de Mecânica, que envolve alunos do curso de Licenciatura em Física na produção de material didático para disciplinas introdutórias do Curso de Graduação usando recursos que apareceram com a evolução da Tecnologia da Informação. A criação dessas atividades demanda o aprendizado dos instrumentos ligados à computação e ao vídeo e busca novos caminhos para o ensino. Além disso, as experiências virtuais ampliam as opções de estudo pelos cerca de cem alunos de cada uma das três disciplinas básicas de Mecânica do curso e podem ser adaptadas para outros níveis de ensino.

O objetivo desse trabalho é apresentar os conceitos físicos tratados no experimento virtual “Rolamento”, e, por já estar finalizado e ter sido aplicado aos alunos de Mecânica dos Corpos Rígidos e Fluidos, conseguimos realizar uma análise dos relatórios apresentados pelos alunos. A partir dessa análise foi possível avaliar a eficácia dos roteiros da experiência e propor sua reestruturação.

## 2. MATERIAIS E METODOS

O movimento de rolamento observado foi o de um aro lançado de modo a se deslocar num sentido, mas girando em sentido contrário ao deslocamento, deslizando sobre um tablado. Dessa forma, após uma certa distância, o aro parava o movimento de translação enquanto continuava girando; a existência do atrito fazia com que se iniciasse o movimento de translação de volta para o lançador. O fundo quadriculado, composto de quadrados de 2 cm de lado, os quais formavam quadrados de 10 cm, eram usados para se fazer a leitura das posições tanto angulares quanto lineares, auxiliadas pela existência de tiras amarradas ao aro. Isso possibilitou estudar tanto o movimento de rolamento com escorregamento quanto o movimento sem escorregamento que acontecem ao longo da experiência.

A câmera filmadora foi posicionada de modo a captar todo o movimento de ida e volta. Após a filmagem, foram extraídos os quadros do vídeo, um a cada 1/30 avos de segundo, e em cada um deles foi colocado o código de tempo, que pode ser observado no canto superior esquerdo da figura 1.



**Figura 1:** Quadro extraído da filmagem usado para análise da experiência dos alunos. No canto superior esquerdo está a marca de tempo do quadro. As linhas mais fortes do fundo estão separadas em 10 cm.

O aluno foi orientado a analisar o experimento de modo a observar os dois tipos de rolamento (com e sem escorregamento) a partir do movimento do aro. Num primeiro momento, verifica-se que o aro se desloca para a esquerda e rola no sentido horário, quando se tem um rolamento com escorregamento e a força de atrito que atua é a cinética. Esse atrito, por sua vez, vai frear o movimento de translação. Pensando na inércia rotacional do aro e no torque exercido, espera-se que o aluno relacione as acelerações lineares e angulares, ou seja, a aceleração nesse movimento de translação do aro e a aceleração angular do aro, chegando à expressão:

$$\alpha_{\text{exp}} = \frac{MR}{I} a_{\text{exp}} \quad (1)$$

Num segundo momento, como o aro teve seu movimento linear freado e como ele não para seu movimento de rotação, continua o rolamento com escorregamento, mas, após um certo tempo, o atrito para de atuar. É a partir desse ponto que poderá ser verificada a condição de rolamento sem escorregamento:

$$v = \omega R \quad (2)$$

### 3. ANÁLISE DA EXPERIÊNCIA

O primeiro passo é ler as posições angulares e lineares, atividade para a qual é fornecido um roteiro. Primeiro, se deve escolher um sistema de referência que passe pelo centro do aro. Depois, deve ser tomado um raio como *guia* (nomenclatura usada no roteiro). Em seguida, deve ser medido o ângulo desse raio guia com um dos eixos coordenados, a partir da sua tangente, contando quantos quadradinhos existem no eixo X e quantos em Y. O aluno deve também definir um quadrante, em que será ele medirá os ângulos. A escolha de um quadrante preferencial se deve ao fato de o aro estar rodando sempre no sentido horário. Maiores detalhes podem ser achados no sítio angulares <http://fep.if.usp.br/~fisfoto/>, selecione “rolamento”, depois “roteiros” e escolha o roteiro de leitura das posições

Da análise dos gráficos das velocidades linear e angular podem ser identificadas as duas situações de rolamento.

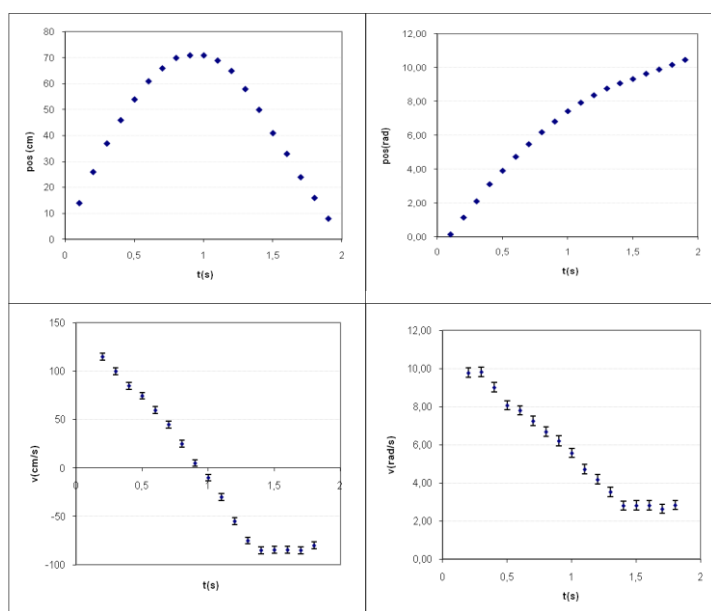
### 4. RESULTADOS

A tabela 1 ilustra a descrição da leitura das posições angulares e de tempo.

**Tabela 1:** Exemplo de organização de dados de leitura das posições angulares

t	$\Delta x$	$\Delta y$	arctg	$\theta$	
0,067	13	7	0,49	$\theta$	0,49
0,1	9,5	10,5	0,84		0,84
0,133	5,5	14	1,20		1,20
0,167	14	1	0,07	$\theta_2 = \theta + \pi/2$	1,64
0,2	13	6	0,43		2,00
0,234	9,5	10	0,81		2,38
0,267	5,5	13	1,17		2,74
0,3	0,5	14	1,54		3,11
0,334	14	5	0,34		3,48

Na figura 2 aparecem os gráficos de posição linear e velocidade de translação em função do tempo e de posição angular e velocidade angular em função do tempo.



**Figura 2:** Gráficos de posição e velocidade (angulares e lineares) que devem ser construídos

É esperado que os alunos consigam identificar nos gráficos até onde acontece a condição de rolamento com deslizamento e em que instante de tempo se inicia a condição de rolamento sem deslizamento. É interessante perceber que essa transição de um rolamento a outro não se dá no instante em que a velocidade de translação é nula, como muitos esperam intuitivamente; o aro ainda acelera um pouco até satisfazer a condição de rolamento sem escorregamento, o que aparece muito claro nos dados, embora difícil de observar no filme.

Com os relatórios entregues pelos alunos foi possível avaliar o sucesso do experimento. Alguns exemplos podem ser vistos na figura 3:

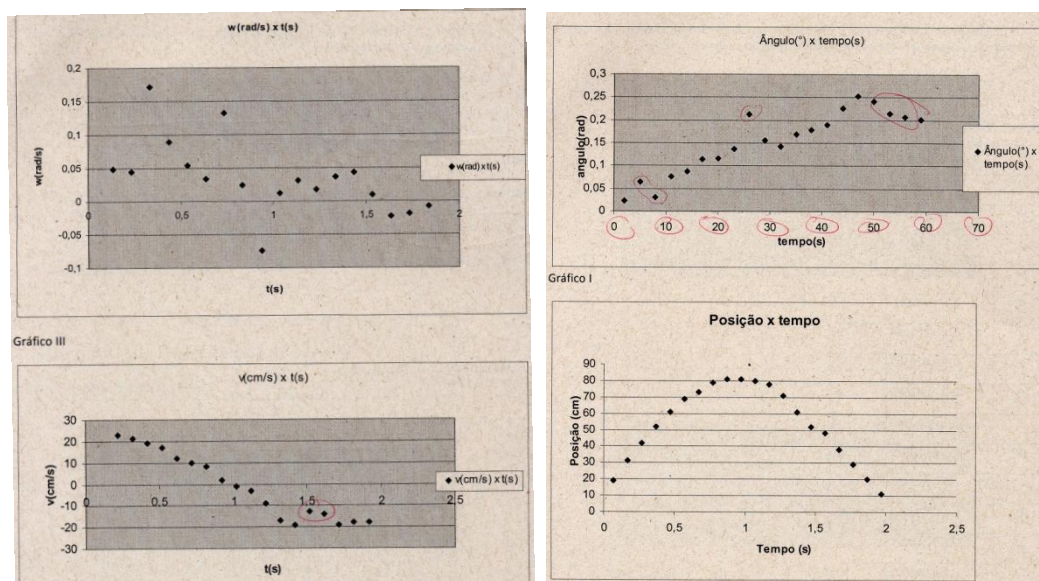


Figura 3: Gráficos de velocidades linear e angular construídos pelos alunos.

### 5. DISCUSSÃO

Alguns alunos conseguiram seguir todas as indicações e construir corretamente os gráficos, outros não apresentaram resultados satisfatórios. A informação sobre que tipo de gráfico usar (dispersão ou outros) não está no roteiro, mas por tratar-se da terceira disciplina que usa esse tipo de material didático, espera-se que o aluno consiga elaborar os gráficos de forma correta; no entanto, nem todos tiveram sucesso. Outros exemplos foram de alunos que tiveram êxito na construção dos gráficos das posições do centro da roda, mas não da posição e velocidade angulares devido a algum erro de leitura.

Da análise dos relatórios percebeu-se que a maioria dos alunos conseguiu ler e apresentar gráficos muito bons.

### 6. CONCLUSÃO

Pode-se perceber que a grande maioria dos alunos responde as questões propostas de maneira automática, sem uma análise dos próprios dados e gráficos obtidos, como copiando frases de algum livro texto. Isso nos faz duvidar sobre o que os alunos conseguiram internalizar dessa experiência. Há a necessidade de algumas alterações nos roteiros dos experimentos de modo a torná-los mais claros. Talvez o mais importante a ser feito no experimento seja dar maior ênfase para a interpretação do fenômeno, criando maneiras de fazer com que o aluno reflita sobre o que está estudando.

<sup>i</sup> Projeto desenvolvido no âmbito do Programa Ensinar com Pesquisa, da Pró-Reitoria de Graduação da Universidade de São Paulo.

(\*) Integram este projeto: Monaliza da Fonseca, Glauco Gomes Moreno Senhora, Suelen Fernandes de Barros, Pedro Leonidas Oseliero Filho, Nora Lia Maidana e Vito Roberto Vanin.