

UEPS II

AFINAL O QUE É O ATRITO?

Entendendo de onde vem a força de atrito e as diferenças entre os coeficientes de atrito estático e cinético com o auxílio do Trilho Multifuncional

Arte: Sênita Folquenim



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E DA NATUREZA –
PPGEN

SÊNITA FOLQUENIM

UEPS (UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS):

“AFINAL O QUE É O ATRITO?”

LONDRINA - PR

2016

TERMO DE LICENCIAMENTO

Este Produto Educacional está licenciado sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para *Creative Commons*, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.



SUMÁRIO

OBJETIVOS	5
PRÉ-REQUISITOS	5
SEQUÊNCIA:	5
1. SITUAÇÃO INICIAL	5
2. ORGANIZADOR PRÉVIO	6
3. SITUAÇÕES-PROBLEMA 1	6
4. SITUAÇÃO PROBLEMA 2	6
5. SITUAÇÃO PROBLEMA 3	6
6. SITUAÇÃO PROBLEMA 4	7
7. REVISÃO	7
8. NOVA SITUAÇÃO PROBLEMA	8
9. AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM NA UEPS	8
10. OBSERVAÇÕES	8
REFERÊNCIAS	9
ANEXOS DA UNIDADE II	10
ANEXO 1 - POR QUE O COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO É MAIOR DO QUE O CINÉTICO?	11
ANEXO 2 - POR QUE O ATRITO NÃO DEPENDE DA ÁREA DE CONTATO DO CORPO?	13
ANEXO 3 - EXPERIMENTO COM O TRILHO MULTIFUNCIONAL	15
ANEXO 4 - ROTEIRO DE PERGUNTAS REFERENTE AO SIMULADOR “A RAMPA”.	22

AFINAL O QUE É O ATRITO?

Entendendo de onde vem a força de atrito e as diferenças entre os coeficientes de atrito estático e cinético com o auxílio do Trilho Multifuncional

Objetivos

Entender o que é o atrito e quais são as grandezas relacionadas a ele. Compreender a diferença entre os coeficientes de atrito estático e cinético, encontrá-los a partir de determinados materiais e perceber que esses coeficientes são diferentes a partir do momento em que se tem materiais diferentes. Entender a importância do atrito na vida cotidiana.

Pré-requisitos

Conhecer o que é MU (Movimento Uniforme), MUV (Movimento Uniformemente Variado), Lançamento Oblíquo, Força Normal e relações trigonométricas do triângulo retângulo.

SEQUÊNCIA:

1. **Situação inicial:** A partir do vídeo "Atrito"¹, retirado da série "The Way Things Work", estimular os alunos a pensarem sobre a importância do atrito em suas vidas, bem como sobre as diversas situações em que o atrito ajuda ou atrapalha. Além desse vídeo, seria interessante fazer o experimento proposto pelo professor Iberê Tenório, do canal Manual do Mundo (Livros que grudam sem cola – experiência de Física/atrito), disponível no link abaixo². Na sequência, pedir que grupos de alunos construam um mapa conceitual, dando-lhes liberdade para fazer associações a partir da palavra central "atrito". Os alunos devem ficar à vontade para enumerar situações, representações, imagens, etc. que

¹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=aMkdXcR1Grs>

² Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bCTLOPQPOj0>

exemplifiquem o que é o atrito para eles, assim como, demonstrem situações nas quais o atrito ajuda ou atrapalha. No final, os mapas conceituais deverão ser explicados para a classe e entregues para o docente.

2. **Organizador prévio:** Propor a leitura do texto “Por que o coeficiente de atrito estático é maior do que o cinético³” (ver anexo A) como uma espécie de organizador prévio. Na sequência, fazer um debate com os alunos, questionando, a partir da visão do texto, o que seria o atrito e o que estaria relacionado a ele.
3. **Situações-problema 1:** Ainda em reflexão ao texto, questionar os alunos, por exemplo: a) em escala macroscópica, “como poderia ser explicado o que é o contato?”; b) em escala microscópica, “como poderia ser explicado o que é o contato?”; c) o que seria a rugosidade abordada no texto?; d) quando dois corpos em contato estão em repouso, um em relação ao outro, essa “rugosidade” é atuante entre eles?; e) onde essa “rugosidade” seria maior, no começo do deslizamento entre corpos, ou quando os corpos já estariam deslizando?; f) o que o atrito pode provocar?. Essas situações propostas, assim como outras situações que podem ser elencadas pelo docente, devem ser discutidas entre docente/alunos, sem uma necessidade, nesse momento, de se chegar às respostas ditas corretas. Na sequência, é interessante que se peça aos estudantes que coloquem as suas ideias sobre as perguntas no papel. É interessante que o aluno se sinta livre para escrever ou ilustrar as perguntas através de desenho, etc.
4. **Situação problema 2:** Fazer demonstrações experimentais rápidas com o trilho multifuncional. A primeira poderia ser a simulação de deslizamento, por exemplo, de uma caneta ou lápis. Na sequência, pode-se trocar de material, colocar por exemplo, uma borracha na superfície do trilho, para que os alunos possam comparar o deslizamento. No observação, questionar os estudantes, o porquê da diferença entre os deslizamento.
5. **Situação problema 3:** Fazer demonstrações com o trilho multifuncional com um bloquinho que pode ser ferro, ou alumínio, ou qualquer material similar, variando a angulação do trilho em relação à horizontal. Inclinar o trilho em angulações diferentes, de maneira que os estudantes possam ver que a medida que o trilho é inclinado, o bloco desliza com mais

³Fonte: (NEIDE, 2016). Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1018>

ou menos facilidade. No final dessas duas demonstrações, questionar os estudantes se eles conseguiriam identificar quais variáveis estariam interligadas ao conceito de atrito. É importante que se defina bem, de quais variáveis depende o atrito. É interessante nesse momento, o docente colocar no quadro a equação que define a Força de Atrito, e fazer uma exposição oral sobre a mesma. Na ocasião, os alunos podem fazer alusão a “área de contato”, ou seja, podem afirmar que o atrito dependeria da área de contato. Para ficar claro, porque o atrito não depende da área de contato “macroscópica”, seria interessante que se propusesse a leitura do texto: “Por que o atrito não depende da área de contato?”⁴ (Ver anexo B).

- 6. Situação problema 4:** Propor a atividade experimental realizada com o Trilho Multifuncional sobre “Força de Atrito e Coeficientes de Atrito” (ver os procedimentos do experimento no Apêndice A). Dividir os alunos em grupos de três ou quatro componentes e pedir que eles calculem os valores dos coeficientes de atrito estático e cinético de dois bloquinhos diferentes, que podem ser de alumínio, ferro, cobre, madeira, etc. No final dos experimentos, pedir que eles comparem os valores dos coeficientes que encontraram e os valores detectados nos outros grupos. Solicitar para que escrevam um relatório, tentando exprimir o porquê desses valores. Nesse ponto, apoiado nas atividades e debates anteriores, espera-se que os estudantes já concluam que o coeficiente de atrito estático é maior que o coeficiente de atrito dinâmico. Se houverem valores muito grosseiros, questionar os alunos sobre porque os resultados não ficaram bons, tentando fazer com que eles pensem nos possíveis erros que podem ter ocorrido durante a experimentação.
- 7. Revisão:** Começar a aula revisando o que foi visto sobre o conceito de atrito, força de atrito e coeficientes de atrito. Nesse momento é importante que os alunos tenham mais um contato matemático com os dados que obtiverem no experimento feito a partir do trilho multifuncional, quando calcularam os valores dos coeficientes de atrito estático e cinético. Propõe-se que a partir dos valores encontrados, os alunos calculem o valor da força e atrito entre os bloquinhos utilizados e a superfície do trilho multifuncional. Essa atividade certamente auxiliará para que eles entendam que o valor da força de atrito estática é sempre maior que a força de atrito cinético.

⁴ Fonte: (NEIDE, 2016). Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=56>

- 8. Nova situação problema:** Levar os alunos para o laboratório de informática e pedir que eles façam grupos de três alunos e entrem no simulador chamado "A Rampa", retirado do site Phet Interactive Simulations, da Universidade do Colorado⁵. Nessa simulação, os estudantes poderão observar a simulação das forças agentes sobre uma caixa, e averiguar que a partir do momento que se imprime um valor limite de força sobre a caixa, o atrito estático é rompido, e a caixa passa a e mover em MU até encontrar uma barreira. Nesse momento é interessante que o professor estimule os alunos a variarem o ângulo da rampa, o peso do objeto, os objetos, e os valores de trabalho e energia que estão associado na simulação, e que provavelmente são os tópicos tratados posteriormente. Os alunos podem trabalhar nesse momento de forma descontraída, pois é atraente ao mesmo tempo. O professor pode sugerir aos alunos um roteiro de perguntas que devem ser respondidas sobre a simulação. Segue uma sugestão de roteiro de perguntas sobre a simulação no apêndice C.
- 9. Avaliação da aprendizagem na UEPS:** Conforme Moreira (2015), a avaliação deve se basear nos trabalhos realizados pelos estudantes durante as aulas e nas observações feitas pelo docentes durante todo o processo em sala de aula, cujo valor não deve ser superior a 50%.
- 10. Observações:** Levando em consideração que o público de alunos que cada docente recepciona possui particularidades diferenciadas, essa sequência didática deve ser encarada como uma proposta, podendo sofrer alterações pelo professor à medida que observar as característica e pré-requisitos de seus alunos, assim como, suas próprias peculiaridades.

Total de horas-aula: 5 a 7 horas aulas.

⁵ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/the-ramp

REFERÊNCIAS

FOLQUENIM, S.; GONÇALVES, E. GOYA, A. **Rolamento de uma Bola de Bilhar num Plano Inclinado**. Disponível em <<http://www.sinect.com.br/2014/down.php?id=3038&q=1>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

FOLQUENIM, S.; CALIFANI, V. L.; GOYA, A. **Um material motivador para estudos de lançamento oblíquo e conservação de energia no ensino médio**. In: Alessandra Dutra; André Luis Trevisan; Letícia Jovelina Storto. (Org.). II SEA seminário de ensino e aprendizagem: atualidades, perspectivas e desafios. Taed.Maringá: Nova Sthampa, 2015, v. 2, p. 151-164.

FOLQUENIM, S.; GOYA, A. **O trilho multifuncional nas aulas práticas de mecânica**. Revista Polyphonia, v. 26, p. 291-297, 2015.

FOLQUENIM, S.; GONCALVES, E.; GOYA, A. **Rolamento de uma bola de bilhar num plano inclinado**. In: IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia, 2014, Ponta Grossa - PR. IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia, 2014.

GOYA, A.; OGUIDO, V.; TAMURA, M. M.; NASCIMENTO, R. C. **O trilho multifuncional e relação com motivação e estratégia de estudo em física**. In: XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2013, São Paulo. XX Simpósio Nacional de Ensino de Física - Sessão 3, 2013.

GOYA, A.; Halabi, S.E. **Trilho Multifuncional para Ensino de Mecânica**. In: IV Simpósio Latino Americano e Caribenho de Educação em Ciências do International Council of Associations for Science Education (ICASE), 2011, Londrina. V EREBIO (Encontro Regional de Ensino de Biologia), 2011.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas** – UEPS. Acesso em 12 de nov. de 2015. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br>.

ANEXOS DA UNIDADE II

ANEXO 1 - POR QUE O COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO É MAIOR DO QUE O CINÉTICO?

Professor, depois de algum tempo de ter estudado Dinâmica e mais especificamente as forças de atrito cinético e estático fiquei a pensar por que que a força de atrito estático é maior do que o cinético, pois bem, existe alguma explicação para isso?

O modelo usualmente conhecido para descrever o atrito macroscópico afirma que o coeficiente de atrito estático é maior do que o coeficiente atrito cinético. Este é um modelo antigo, remontando a Leonardo da Vinci (1452-1519) que qualitativamente já havia observado esse comportamento. Vale destacar que esse modelo descreve com aproximação razoável o atrito apenas em condições especiais, de forma que é fácil encontrar situações do cotidiano e em laboratórios que o contradigam. Feynman em Lectures on Physics afirmava que as leis relacionadas a este modelo são "fracas" e que ainda não existe uma teoria fundamental para o atrito. Porém, dependendo de como este tema for tratado, pode apresentar potencial de se tornar um exercício mental e experimental que possibilite aos alunos construir conhecimentos de Física. Após essas considerações, procede-se para a questão levantada.

Para ir além do que este modelo pode oferecer, deve-se considerar o que acontece em escala microscópica. Quando dois corpos estão em contato, somente alguns dos pontos da superfície destes corpos participam efetivamente do contato, o conjunto destes pontos é chamado de área de contato real. Contato pode ser pensado como a configuração em que as moléculas da superfície de um corpo estão o mais próximas possíveis das moléculas da superfície de outro corpo, no limite em que as forças elétricas de repulsão os impeçam de se aproximar. Se dois corpos idênticos sem imperfeições em suas superfícies (planamente perfeitas) fossem aproximados, o que aconteceria? Nesse limite a área de contato real é máxima. Para um cristal por exemplo, quando aproximadas essas superfícies perfeitas formar-se-ia uma superfície de contato perfeita, de forma que os dois cristais iriam fundir-se num único corpo. Portanto impurezas na superfície e rugosidades (macroscopicamente aspereza) impedem que isso aconteça.

Quando um corpo está em repouso sobre outro corpo, as impurezas e irregularidades em suas superfícies se acomodam estavelmente configurando uma distância média entre suas superfícies. Se uma superfície está em movimento relativo em relação a outra, duas coisas podem acontecer, ou alguns picos de rugosidades de uma superfície estão sendo cortados, ou a distância média entre as superfícies aumentou. Apenas em casos muito especiais a primeira condição não vem acompanhada da segunda, pois no momento da fissura dos picos de rugosidade forças elétricas mais intensas atuam sobre as moléculas da superfície contrária no

sentido oposto do contato desfeito. Ao manter as superfícies em movimento, a distância média entre as superfícies converge para um valor maior do que quando elas estão em repouso. De acordo com o conceito de superfície de área real, quanto maior essa distância, menor a área de contato real, e portanto menor será o arraste, diminuindo a força contrária à direção do movimento, ou seja, menor atrito.

Fonte: (NEIDE, 2016). Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1018>

ANEXO 2 - POR QUE O ATRITO NÃO DEPENDE DA ÁREA DE CONTATO DO CORPO?

Por que o atrito não depende da área de contato do corpo?

Por que o atrito não depende da área de contato do corpo? Pesquisei em alguns lugares mas eu não consigo achar o porquê, alguém pode me ajudar? Pergunta originalmente feita em http://br.answers.yahoo.com/question/index;_ylt=AsGZmvQ8o0IplGN2xXKYTUrJ6gt;_ylv=3?qid=20100301165101AAqe8hU&show=7#profile-info-Hnbq187kaa .

Para responder a pergunta considerarei que ela se refere à força de atrito entre duas superfícies sólidas, por exemplo, a superfície de uma caixa em contato com um assoalho. Leonardo da Vinci (1452-1519), ao estudar experimentalmente o atrito nas circunstâncias explicitadas acima, constatou que o VALOR MÁXIMO da força de atrito entre as duas superfícies é independente da área de contato mas depende da intensidade da força de compressão entre as duas superfícies (força normal às superfícies em contato) e da natureza das superfícies (entenda-se, do material do qual são feitas ambas as superfícies, do grau de polimento de ambas as superfícies. ...). Este resultado de independência com a área de contato é contra-intuitivo e se constituiu em um resultado de medidas cuidadosas para o qual não havia uma explicação simples.

A ciência que estuda o fenômeno do atrito é denominada de TRIBOLOGIA. Cientistas posteriores a Leonardo, como por exemplo Charles Augustin Coulomb (1736 - 1806), confirmaram os seus resultados experimentais. A teoria sobre o que acontece em nível microscópico com as interações por atrito é um campo de pesquisa atual em física. Um modelo explicativo simples para esse interessante e contra-intuitivo resultado experimental da independência da força de atrito máxima com a área de contato passa pelos seguintes pressupostos:

A área de contato EFETIVA em nível microscópico entre os dois sólidos é muito menor do que a área APARENTE (área em nível macroscópico tomada como área de contato) pois os dois corpos se tocam apenas em alguns pontos dessa área.

A intensidade máxima da força de atrito depende do número de pontos de contato entre os dois sólidos, ou dizendo de outra maneira, depende da área EFETIVA e não da área APARENTE.

A área EFETIVA de contato, mantida a área APARENTE constante, é diretamente proporcional à intensidade da força de compressão (força normal à superfície de contato). Dizando de outra forma, mantida a área APARENTE constante, a área EFETIVA aumenta conforme aumenta a pressão.

Imaginemos agora o seguinte, num caso em que a intensidade da força normal à superfície de contato seja mantida constante. Ao diminuirmos a área APARENTE, aumentamos a pressão. Ao aumentar a pressão, aumentaria proporcionalmente o número de pontos de contato caso a área APARENTE não tivesse sido diminuída. Como, por suposição, a área APARENTE diminuiu, o número total de pontos de contato PERMANECEU CONSTANTE. Permanecendo constante o número total de pontos de contato, a intensidade máxima da força de atrito É

CONSTANTE. Conclusão para este modelo: de fato a intensidade da máxima força de atrito depende da área EFETIVA de contato que permanece constante quando a área APARENTE diminui ou aumenta, desde que mantida constante a intensidade da força normal. Ou seja, em nível microscópico o modelo vai em acordo com a nossa intuição: a força de atrito máximo depende da área, desde que a área considerada seja a área EFETIVA e não a área APARENTE.

Fonte: (NEIDE, 2016). Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=56>

ANEXO 3 - EXPERIMENTO COM O TRILHO MULTIFUNCIONAL

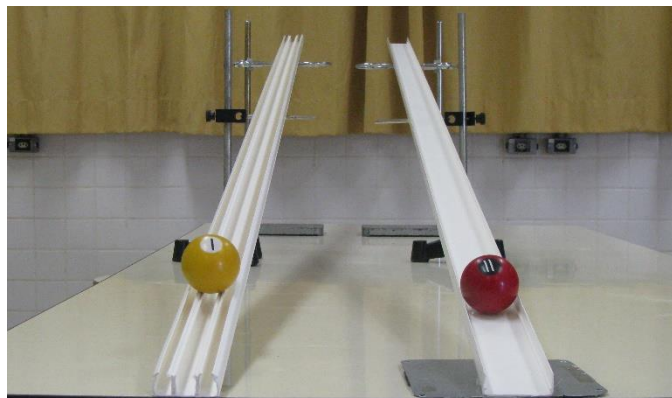
Nessa sequência didática, o experimento realizado a partir do chamado Trilho Multifuncional é sobre *Forças de Atrito*. O intuito do experimento além de trabalhar com a *Força de atrito*, é fazer com que os alunos entendam a origem dos chamados *coeficiente de atrito estático (μ_e) e cinético (μ_c)*, que na maioria das vezes só é exposto para o aluno a partir de livros ou tabelas, e que acaba não fazendo o menor sentido para os mesmos. Para a execução do experimento, basta que o professor tenha, além das canaletas de plástico, dois ou três blocos maciços de diferentes materiais, como alumínio, cobre ou ferro, um suporte para o trilho, fita adesiva para garantir que o trilho não deslize sobre a superfície que será apoiado, papel carbono, sulfite, prumo, trena, calculadora científica e uma balança de precisão que geralmente é encontrada nos laboratórios das escolas.

Trilho Multifuncional é um novo equipamento que está sendo proposto para o ensino de Física, a partir do Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Humanas Sociais e da Natureza – UTFPR/Londrina (FOLQUENIM, GONÇALVES E GOYA, 2014). Há algum tempo este equipamento vem sendo estudado, e é comprovada a sua eficácia no o ensino de Física (GOYA & HALABI, 2011) e Goya, Tamura e Nascimento (2012).

O Trilho Multifuncional foi projetado para atender as principais experimentos na área de Cinemática e Dinâmica. Nele podem ser simulados experimentos sobre Movimento Uniforme (MU), Movimento Uniformemente Variado (MUV), Lançamento Oblíquo, Lançamento Horizontal, Força de Atrito, Energia Cinética e Energia Potencial Gravitacional, Dissipação da Energia Mecânica pelas Forças de Atrito e Conservação do Momento Linear e Energia em Colisões.

O equipamento é muito simples, barato e prático de ser manuseado. Consiste em duas canaletas de plástico, que geralmente são compradas em pares, com dimensões 5,0 cm x 2,0 cm x 210,0 cm, sendo facilmente encontradas em lojas de materiais de construção ou de materiais elétricos, e que tem um custo médio de R\$ 40,00 (quarenta reais).

Figura 1 – A imagem mostra o conjunto das duas canaletas de plásticos, que compõem o 'trilho multifuncional'.

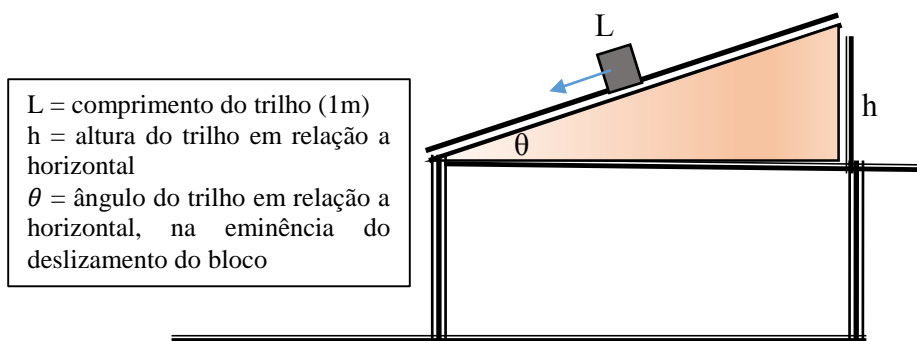


Procedimentos para a execução do experimento

A prática consiste em um experimento duplo. Os alunos deverão calcular primeiro o coeficiente de atrito estático e depois o coeficiente de atrito cinético (também chamado de coeficiente de atrito dinâmico). A primeira parte consiste em encontrar o valor do coeficiente de atrito estático μ_e . Para isso, deve ser adotados os seguintes procedimentos:

I – Apoiar a canaleta lisa em uma superfície de forma com que uma das suas pontas não deslize.
 II – Colocar um dos blocos metálicos sobre a superfície do trilho, e pedir que os alunos variem a altura (h) até que o bloco comece a deslizar. Na eminência do deslizamento, o aluno deverá medir a altura (h) do trilho. Esse procedimento deve ser feito pelo menos dez vezes, para que ao final se possa fazer uma média dos valores e assim reduzir o máximo de erro relativo altura (h). O objetivo da medida dessa altura, é conhecer a partir dela e a partir do comprimento do trilho L (proposta de 1 m), o valor do ângulo θ no qual o bloco começa a deslizar.

Figura 2 - Esquema do experimento para encontrar o coeficiente de atrito estático



III – Na sequência, relaciona-se o valor médio de h (que é o cateto oposto do triângulo formado entre o trilho e a horizontal), com L (que na formação do trilho é a hipotenusa do triângulo formado) para encontrar valor seno do ângulo. No momento que se tiver o seno do ângulo, pode-se através de uma calculadora científica encontrar o valor do ângulo formado entre a horizontal e o trilho, por meio d função sen^{-1} .

É importante destacar que no momento da medidas da altura h, o bloco seja colocado em qualquer posição no trilho. Essa variação da posição do bloquinho permite diminuir o erro relativo ao escorregamento, pois levando-se em conta que a superfície do trilho não é perfeitamente homogênea pode-se encontrar variações de valores do coeficiente.

IV – O último passo para encontrar o valor do coeficiente de atrito estático, é aplica na equação⁶:

$$\mu = \tan \theta \quad (I)$$

A segunda parte do experimento consiste em encontrar o valor do coeficiente de atrito cinético μ_c entre a superfície do trilho liso e os mesmos bloquinhos utilizados para calcular o coeficiente de atrito estático. Esse parte é de extrema importância, pois sabendo os valores dos dois coeficiente pode-se provar a hipótese para os alunos, de que o coeficiente de atrito estático sempre é maior do que o coeficiente de atrito cinético.

⁶ O desenvolvimento dos cálculo para se chegar a relação $\mu = \tan \theta$, se encontram no final do apêndice.

Para a constatação do μ_c , devem ser adotados os seguinte procedimento:

I – Posicionar o trilho de forma que os bloquinhos deslizem sobre o trilho com uma certa facilidade. Sugere-se que se utilize uma angulação de $32,68^\circ$, onde a altura do trilho em relação à horizontal é de aproximadamente 0,54 m.

II – A determinação do coeficiente de atrito cinético é calculada a partir da seguinte relação matemática⁷:

$$\mu_c = \tan \theta - \left(\frac{v^2}{2.L.g.\cos\theta} \right) \quad (II)$$

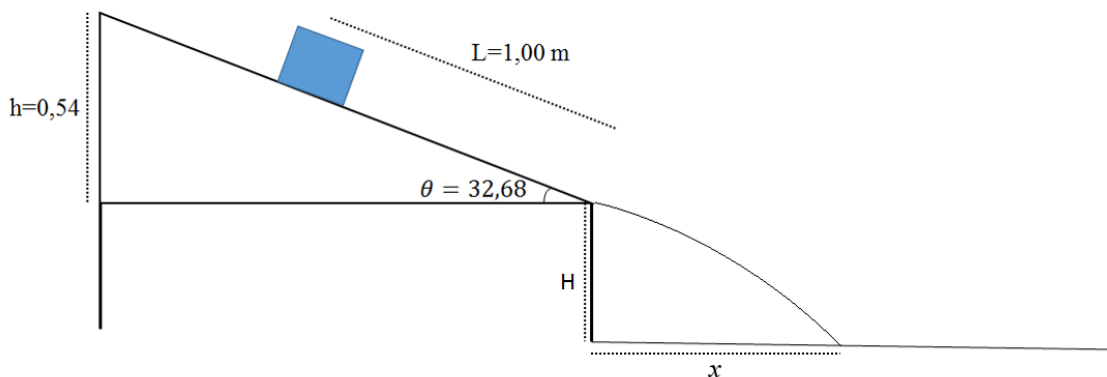
Em que L é o comprimento do trilho (sugere-se que se adote 1m para facilitar o cálculo), g é a aceleração da gravidade local, θ o ângulo de inclinação do trilho em relação a horizontal.

Para saber a velocidade (v) de deslizamento dos blocos, uma das formas mais simples é fazer o cálculo a partir do lançamento oblíquo, que pode ser verificado a partir da relação⁸:

$$v = \frac{\bar{x}}{\cos\theta} \sqrt{\frac{g}{2(H - \bar{x} \tan\theta)}} \quad (III)$$

Para calcular a velocidade é necessário que se tenha o alcance médio (\bar{x}) de lançamento dos blocos, a altura H da plataforma até o solo, assim como a tangente do ângulo. Onde \bar{x} é calculado a partir da média aritmética das distâncias, que são encontradas a partir do deslizamento dos blocos. Sugere-se que se façam no mínimo dez medidas de x para o cálculo da média, para que assim também se possa reduzir o erro relativo o máximo possível. A figura a seguir representa a montagem do experimento:

Figura 3 – Ilustração do experimento de Lançamento Oblíquo



Após o cálculo da velocidade pela equação (iii), calcula-se o coeficiente de atrito dinâmico pela equação (ii).

É importante se levar em conta que devido a alguns fatores que envolvem o atrito entre a superfície do trilho e os bloquinhos, há uma certa incerteza principalmente no cálculo do coeficiente estático. Contudo, é de extrema relevância a comparação entre os dois valores encontrados, pois a partir da análise entre os dois coeficientes pode-se instigar nos alunos uma nova forma de pensamento, demonstrando também que a ciência não é neutra, mas contida de falhas e erros.

⁷ O desenvolvimento matemático até a relação encontrada para a determinação do coeficiente de atrito cinético encontra-se no final do apêndice.

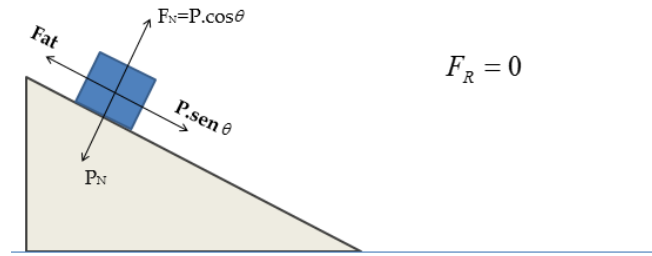
⁸ O desenvolvimento da equação III também se encontram no final do apêndice.

DESENVOLVIMENTO DAS EQUAÇÕES

Equação I⁹ - Desenvolvimento do Cálculo do Coeficiente Estático

Sabendo que na eminência do deslizamento do bloco sob o plano inclinado as forças resultante são iguais a zero, temos:

Figura 4 – Forças atuando sobre o bloco no plano inclinado



Fonte: os autores

Ou podemos escrever:

$$F_{at} = P \cdot \sin \theta$$

OU

$$\mu \cdot \eta \cdot g \cdot \cos \theta = \eta \cdot g \cdot \sin \theta$$

Isolando o coeficiente temos:

$$\mu = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

Que é a mesma coisa que:

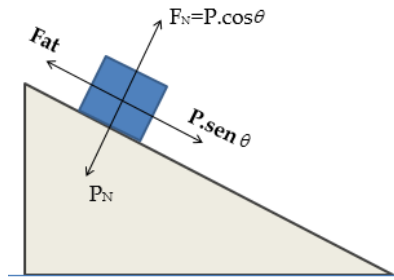
$$\mu_{estático} = \operatorname{tg} \theta$$

Equação II - Desenvolvimento do Cálculo do Coeficiente Cinético

Equilibrando as forças que atuam sobre o bloco na superfície do plano inclinado, conseguimos calcular o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o plano:

Figura 5 – Esquema de forças atuantes sobre o bloco em cima do plano inclinado

⁹ Referências de desenvolvimentos das equações I, II e III: Livro - Fundamentos de Física: Mecânica - Volume 1 - David Halliday, Robert Resnick e Jearl Walker, 2012.



Sabendo que:

$$F_{at} = \mu \cdot P \cdot \cos \theta$$

E a força resultante é igual:

$$F_R = m \cdot a$$

Podemos dizer então que:

$$m \cdot g \cdot \text{sen} \theta - \mu \cdot m \cdot g \cdot \text{cos} \theta = m \cdot a$$

Isolando o coeficiente:

$$\mu = \frac{g \cdot \text{sen} \theta}{g \cdot \text{cos} \theta} - \frac{a}{g \cdot \text{cos} \theta}$$

Ou seja:

$$\mu = \text{tg} \theta - \frac{a}{g \cdot \text{cos} \theta}$$

Mas, a partir de Torricelli, podemos reescrever o valor de a :

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot L$$

Portanto a , por ser igual a:

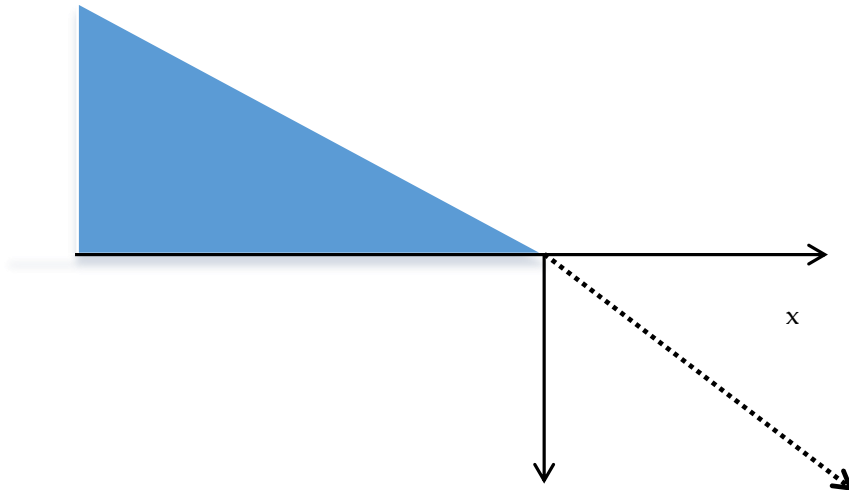
$$a = \frac{v^2}{2L}$$

Substituindo em $\mu = \text{tg} \theta - \frac{a}{g \cdot \text{cos} \theta}$:

$$\mu_{\text{cinético}} = \text{tg}\theta - \frac{v^2}{2 \cdot L \cdot g \cdot \cos\theta}$$

Equação III - Cálculo da velocidade no lançamento oblíquo (pelo alcance x):

Figura 6 – Ilustração dos vetores velocidade no final do plano inclinado



Sabendo que:

$$\text{sen}\theta = \frac{v_y}{v} \quad (1)$$

$$\text{cos}\theta = \frac{v_x}{v} \quad (2)$$

$$\text{tg}\theta = \frac{v_y}{v_x} \quad (3)$$

No eixo x, temos M.U., que pode ser expresso pela equação:

$$x = v \cos\theta \cdot t \quad (4)$$

Isolando t, teremos:

$$t = \frac{x}{v \cos\theta} \quad (5)$$

Em y, temos MUV, que pode ser expresso pela equação:

$$H = H_0 + vt + \frac{gt^2}{2} \quad (6)$$

Ou:

$$H = v \cdot \text{sen}\theta \cdot t + \frac{gt^2}{2} \quad (7)$$

Substituindo (5) em (7):

$$H = v \cdot \sin\theta \cdot \left(\frac{x}{v \cdot \cos\theta}\right) + \frac{g \cdot \left(\frac{x}{v \cdot \cos\theta}\right)^2}{2} \quad (8)$$

$$H = x \cdot \operatorname{tg}\theta + \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{v^2 \cos^2\theta} \quad (9)$$

Isolando v a partir da equação (9):

$$H - x \cdot \operatorname{tg}\theta = \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{\cos^2\theta} \cdot \frac{1}{v^2} \quad (10)$$

$$\frac{H - x \cdot \operatorname{tg}\theta}{\frac{1}{v^2}} = \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{\cos^2\theta} \quad (11)$$

$$H - x \cdot \operatorname{tg}\theta \cdot v^2 = \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{\cos^2\theta} \quad (12)$$

$$v^2 = \frac{\frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{\cos^2\theta}}{H - x \cdot \operatorname{tg}\theta} \quad (13)$$

$$v^2 = \frac{\frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{\cos^2\theta}}{H - x \cdot \operatorname{tg}\theta} \quad (14)$$

$$v^2 = \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{\cos^2\theta} \cdot \frac{1}{H - x \cdot \operatorname{tg}\theta} \quad (15)$$

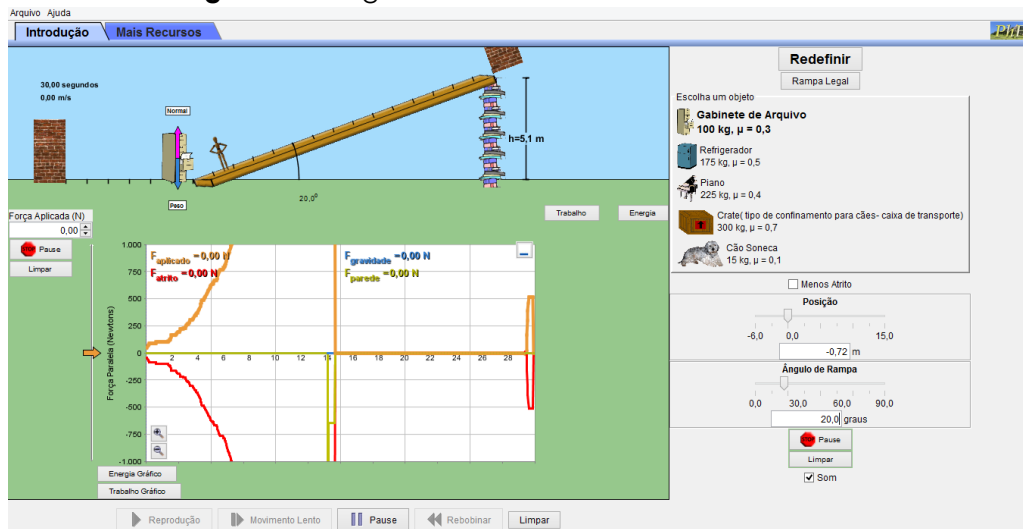
$$v = \sqrt{\frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{\cos^2\theta} \cdot \frac{1}{H - x \cdot \operatorname{tg}\theta}} \quad (16)$$

$$v = \frac{x}{\cos\theta} \sqrt{\frac{g}{2 \cdot (H - x \cdot \operatorname{tg}\theta)}} \quad (17)$$

ANEXO 4 - ROTEIRO DE PERGUNTAS REFERENTE AO SIMULADOR "A RAMPA".

- 1 – Coloque a rampa na posição 10° , onde a altura h , é de 2,6 m, e o gabinete de arquivo (1ª opção no simulador) mais ou menos no centro da rampa, e responda quais os valores da força peso (P), força Normal (N) e força de atrito quando o boneco aplica uma força com cerca de 400N? O que você observa: o bloco se movimento ou permanece estático?
- 2 – Se você mudar a força aplicada de 400 N para 500 N, o gabinete passa a se mover no plano inclinado? Por quê?
- 3 – Quantas forças agindo sobre o gabinete são identificadas quando a rampa está em uma determinada angulação em relação à horizontal? E quantas forças agindo sobre o bloco são observadas se a angulação for de zero graus (0°)?
- 4 – Se a posição da rampa estiver na horizontal, ou seja, onde o ângulo é igual a zero, qual é o valor da força que deve ser impressa sobre o crate (3ª opção do simulador) para que ele comece a deslizar? Se aplicarmos uma força menor ele irá se mover em algum momento? Justifique.
- 5 – E se a rampa estiver a uma angulação de 20° em relação a horizontal, que é a máxima força que deve ser aplicada sobre o crate para que ele deslize e suba a rampa até o final? Se for aplicada uma força menor, o crate irá se mover? E se for aplicada uma força maior da qual você observou para o início do deslizamento, o que acontecerá com o crate?
- 6 – A partir do que você viu durante as aulas, e a partir do que foi simulado, você saberia responder com quais variáveis físicas a grandeza “força e atrito estão relacionadas”? Justifique.

Figura 7 - Imagem demonstrando a estrutura o simulador "A Rampa"¹⁰



¹⁰ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/the-ramp