



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
Prof. Dr. Heurison S. Silva

# Física Experimental 1

*Mecânica 1 –  
Cinemática, Dinâmica, Momento, Trabalho, Energia*



Fevereiro/2010

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## Apresentação

Esta apostila foi elaborada para servir de guia durante as aulas de Laboratório de Física 1 para os cursos de Física (Bacharelado ou Licenciatura), Engenharia (Elétrica, Mecânica, Civil, Produção etc.) da Universidade Federal do Piauí.

Ela foi elaborada com base nos textos de várias empresas especializadas na produção de equipamentos para laboratórios de ensino, como o *Vernier Software & Technology* (<http://www.vernier.com/>)\* (Práticas 1 a 6), o *PHYWE* (<http://www.phywe-systeme.com/>)\*, e também foi reeditado o material já elaborado pelos professores Franklin Crúzio e Jeremias Araújo, ambos do DF/UFPI, utilizados nas disciplinas de Física Experimental para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física (<http://www.df.ufpi.br/d/index.php>)\*. A motivação para este trabalho foi a constante reclamação por parte dos alunos a respeito do uso da língua inglesa, que confundia o entendimento dos objetivos e procedimentos durante a realização dos experimentos, gerando incontáveis erros na confecção dos relatórios pertinentes a cada prática.

Além disso, houve uma tentativa de acompanhar a metodologia de outras universidades que produzem seu material didático num só volume permitindo o acompanhamento completo das disciplinas de Física Experimental a serem ministradas durante o semestre.

A apostila é composta de 10 práticas referentes ao conteúdo de curso teórico de Física 1, envolvendo experimentos de Cinemática, Dinâmica, Momento, Trabalho e Energia. Obviamente, o ritmo e o número de experimentos realizados no semestre dependerão do acompanhamento da turma e da proposta particular da disciplina e/ou do curso.

Cada roteiro é constituído de uma breve introdução, seguida pela descrição dos **Objetivos** da prática. A seção **Questões preliminares** destaca e prepara o estudante para os conceitos fundamentais que serão necessários ao longo da execução da experiência. O **Procedimento experimental** descreve a maneira e os passos que devem ser seguidos a fim de se ter uma boa execução do experimento. A seção **Resultados** resume os valores e conceitos obtidos. Na **Análise** ocorre a discussão dos resultados.

---

\* Acessado em 16 de Dezembro de 2009.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

Por fim, uma seção denominada **Extensões** reforça a discussão e extrapola os conceitos a serem alcançados.

Desejamos que este apostila consiga atender às expectativas dos alunos, e contribua para a melhoria da qualidade geral dos cursos da Universidade Federal do Piauí.

Estimamos também a colaboração daqueles que queiram enviar sugestões que possam contribuir para a melhoria desta obra.

Cordialmente,

Prof. Heurison S. Silva ([heurison@ufpi.edu.br](mailto:heurison@ufpi.edu.br))

(Departamento de Física, CCN, UFPI)

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## Conteúdo

Apresentação .....	2
Conteúdo .....	4
Modelo de relatório .....	8
PRÁTICA 1: COMBINANDO GRÁFICOS.....	11
1. Objetivos.....	11
2. Materiais.....	12
3. Questões Preliminares .....	12
4. Procedimento Experimental.....	12
Parte I: Experimentos preliminares .....	12
Parte II: Combinação do gráfico Distância vs. Tempo .....	13
Parte III: Combinação do gráfico da Velocidade vs. Tempo .....	14
5. Análise.....	14
Parte II: Combinação do gráfico da Distância vs. Tempo .....	14
Parte III: Combinação do gráfico da Velocidade vs. Tempo .....	15
6. Extensões .....	15
PRÁTICA 2: MOVIMENTO DE VAI-E-VÉM.....	16
1. Objetivos.....	16
2. Materiais.....	17
3. Questões Preliminares .....	17
4. Procedimento Experimental.....	17
Parte I: Pêndulo oscilante .....	18
Parte II: Carrinho sobre um plano inclinado .....	19
Parte III: Estudante saltando no ar .....	19
Parte IV: Massa oscilando na extremidade de uma mola .....	20
Parte V: Bola lançada no ar .....	21
5. Análise.....	22
Parte I: Pêndulo oscilante .....	22
Parte II: Carrinho sobre um plano inclinado .....	22
Parte III: Estudante saltando no ar .....	22
Parte IV: Massa oscilando na extremidade de uma mola .....	23
Parte V: Bola lançada no ar .....	23
6. Análise de todas as partes .....	23
7. Extensões .....	23
PRÁTICA 3: DETERMINANDO $g$ COM UM PLANO INCLINADO.....	25
1. Objetivos.....	26
2. Materiais.....	26

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

3. Questões preliminares.....	26
4. Procedimento experimental .....	27
5. Tabela de resultados .....	28
6. Análise.....	29
PRÁTICA 4: QUEDA LIVRE .....	30
1. Objetivos.....	31
2. Materiais .....	31
3. Questões preliminares.....	31
4. Procedimento experimental .....	31
5. Resultados.....	32
6. Análise.....	33
7. Extensões .....	34
PRÁTICA 5: SEGUNDA LEI DE NEWTON .....	35
1. Objetivos.....	35
2. Materiais .....	35
3. Questões preliminares.....	36
4. Procedimento experimental .....	36
Tentativa I.....	37
Tentativa II .....	38
5. Resultados.....	38
6. Análise.....	38
7. Extensões .....	39
PRÁTICA 6: MÁQUINA DE ATWOOD .....	40
1. Objetivos.....	40
2. Materiais .....	40
3. Questões preliminares.....	41
4. Procedimento experimental .....	41
Parte I: Mantendo a massa total constante.....	41
Parte II: Mantendo a diferença de massa constante.....	42
5. Resultados.....	42
6. Análise.....	43
7. Extensões .....	43
PRÁTICA 7: TERCEIRA LEI DE NEWTON.....	44
1. Objetivos.....	44
2. Materiais .....	44
3. Questões preliminares.....	45
4. Procedimento experimental .....	45
5. Análise.....	46
6. Extensões .....	47

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

PRÁTICA 8: ATRITO ESTÁTICO E DINÂMICO .....	48
1. Objetivos .....	48
2. Materiais .....	49
3. Questões preliminares .....	49
4. Procedimento experimental .....	49
Parte I: Atrito inicial .....	49
Parte II: Atrito estático máximo e atrito cinético .....	50
Parte III: Novamente o atrito cinético .....	51
3. Resultados .....	52
Parte I: Atrito inicial .....	52
Parte II: Atrito estático máximo e atrito cinético .....	52
Parte III: Atrito cinético .....	53
4. Análise .....	53
PRÁTICA 9: TRABALHO E ENERGIA .....	56
1. Objetivos .....	57
2. Materiais .....	57
3. Questões preliminares .....	57
5. Procedimento experimental .....	57
Parte I: Trabalho quando a força é constante .....	57
Parte II: Trabalho realizado por uma mola .....	59
Parte III: Trabalho realizado para acelerar um carrinho .....	61
6. Resultados .....	63
7. Análise .....	64
5. Extensões .....	64
PRÁTICA 10: MOMENTO, ENERGIA E COLISÕES .....	66
1. Objetivos .....	66
2. Materiais .....	66
3. Questões preliminares .....	66
4. Procedimento .....	67
Parte I: Amortecedores magnéticos .....	67
Parte II: Amortecedores de Velcro .....	68
Parte III: Do Velcro aos amortecedores magnéticos .....	68
5. Resultados .....	68
6. Análise .....	69
Apêndices .....	71
Apêndice A: Expressando valores de amostragem .....	72
Apêndice B: Cálculo do erro percentual .....	74
Apêndice C: Calibração do dinamômetro .....	75
Apêndice D: Calibração do acelerômetro .....	76

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

Referências .....	77
-------------------	----

## Modelo de relatório

O que segue é um modelo de relatório que deve ser usado como guia para a confecção dos relatórios das práticas. Obviamente, variações são aceitáveis, desde que não fujam essencialmente da estrutura apresentada neste modelo.

Todo relatório deve constar das seguintes partes:

1. **Título:** o título da prática que se refere o relatório.
2. **Autores:** Deve conter o nome completo de cada integrante do grupo.
3. **Resumo:** Deve ser objetivo, coerente e curto. Quem lê o resumo tem que ser capaz de compreender o trabalho realizado e saber quais são as principais conclusões.

### 4. Introdução

Aqui deve constar todo o conteúdo teórico necessário para dar suporte às conclusões e análises de dados, além de situar o leitor no assunto que está sendo estudado. Aqui se coloca um histórico do que já foi produzido sobre o objeto em estudo, os resultados mais importantes existentes na literatura.

Você deve colocar toda a teoria do assunto que está sendo estudado, ou seja, você deve explicar a Física envolvida para analisar os seus resultados experimentais. Deduza equações e relações matemáticas que serão usadas no relatório.

### 5. Objetivos

Deve ser curto e breve; pode ser apenas um parágrafo.

### 6. Procedimento experimental

Aqui, devem se enumerados primeiramente os materiais utilizados. Faça um esquema de montagem experimental.

Explique os métodos utilizados para obtenção dos dados experimentais, critérios de avaliação de erros (este ponto é muito importante, deve ser explicado qual foi o critério experimental para atribuição de erros). Apresente o método e os cuidados usados para a obtenção dos dados. Lembre-se que seu leitor deve ser capaz de reproduzir o experimento a partir da leitura desta seção.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

Na descrição do procedimento experimental, você deve *relatar como a montagem foi realizada*. Por isso, os verbos devem estar no passado!

## 7. Resultados e discussão

Nesta parte, devem ser apresentados os dados coletados, discutir o comportamento deles, resultados das análises (linearização, ajustes, etc.).

**Não podem ser apresentadas apenas tabelas com números ou gráficos sem comentários nem erro. O resultado dos ajustes deve ser discutido e comparados com o resultado de outras fontes (constantes em livros-textos, handbooks etc.).**

Mostre a qualidade e confiabilidade de seus resultados através, por exemplo, do erro percentual entre o valor experimental e o valor teórico (ver

Apêndice B: Cálculo do erro percentual). Tente justificar eventuais discrepâncias que forem observadas. Aponte sugestões para melhorar a qualidade dos dados etc. Coloque as conclusões resultantes do experimento. Você deve discernir claramente quais foram essas conclusões. Não coloque como conclusões afirmações (mesmo que corretas) que não decorram diretamente da experiência realizada. Se possível, relacione essas conclusões com as de outras experiências. Verifique até que ponto os objetivos da experiência foram alcançados (teste de um modelo, aplicações etc.).

## 8. Conclusões

Assim como o resumo, a conclusão deve ser um texto independente do resto do relatório. Ou seja, o leitor deve ser capaz de entender, de maneira geral, quais os principais resultados obtidos com o experimento. Aqui pode estar definido se um relatório está aprovado ou não.

Na conclusão, deve ser discutido o objetivo proposto, se foi alcançado ou não. Devem ser enunciados os valores encontrados e comparados novamente com a literatura etc. Se forem utilizados diferentes métodos experimentais para achar a mesma constante, os valores achados devem ser comparados e concluir qual a metodologia experimental mais apropriada ou que proporciona menor erro. Se os dados experimentais não se comportam como esperado, **você deve justificar isso**.

## 9. Bibliografia

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

Não será exigida a formatação das referências bibliográficas com as normas ABNT. Porém, a bibliografia deve ser apresentada de uma forma clara, que outros leitores potenciais consigam entender. Enumere os livros, apostilas, revistas científicas, sites na internet etc. consultados para a elaboração do relatório (cite-os no texto do relatório).

**>Importante:** Se algum texto foi extraído de algum livro, deve ser colocado na bibliografia. Não é incorreto. Porém, não mencionar as fontes caracteriza plágio.

**>>>Importantíssimo:** um relatório é um relato das observações feitas no laboratório.

**Um relatório nunca manda fazer.**

Toda figura e tabela deve ser numerada, ter uma legenda explicativa e ser citada no texto. Nas figuras, a legenda é colocada embaixo e nas tabelas deve usar algarismos romanos e a legenda deve ser posta acima da mesma.

Toda quantidade determinada a partir das medidas experimentais deve ser enunciadas com as respectivas unidades. **Quantidades sem unidades serão consideradas erradas!**

## PRÁTICA 1: COMBINANDO GRÁFICOS<sup>†</sup>

Um dos métodos os mais eficazes de descrever o movimento é traçar gráficos da distância, da velocidade, e da aceleração contra o tempo. De uma representação tão gráfica, é possível determinar em que sentido um objeto está indo, como rapidamente se está movendo, como distante viajou, e se é de aceleração ou retardando. Nesta experiência, você usará um detector de movimento para determinar esta informação traçando um gráfico tempo real de seu movimento enquanto você se move através da sala de aula.

O detector de movimento mede o tempo onde toma para um pulso sadio de alta frequência ao curso do detector a um objeto e para trás. Usando este tempo de ida-e-volta e a velocidade de som, você pode determinar a distância ao objeto; isto é, sua posição. O registrador pro executará este cálculo para você. Pode então usar a mudança em posição para calcular a velocidade e a aceleração do objeto. Toda esta informação pode ser indicada como uma tabela ou um gráfico. Uma análise qualitativa dos gráficos de seu movimento ajudá-lo-á a desenvolver uma compreensão dos conceitos da cinemática.

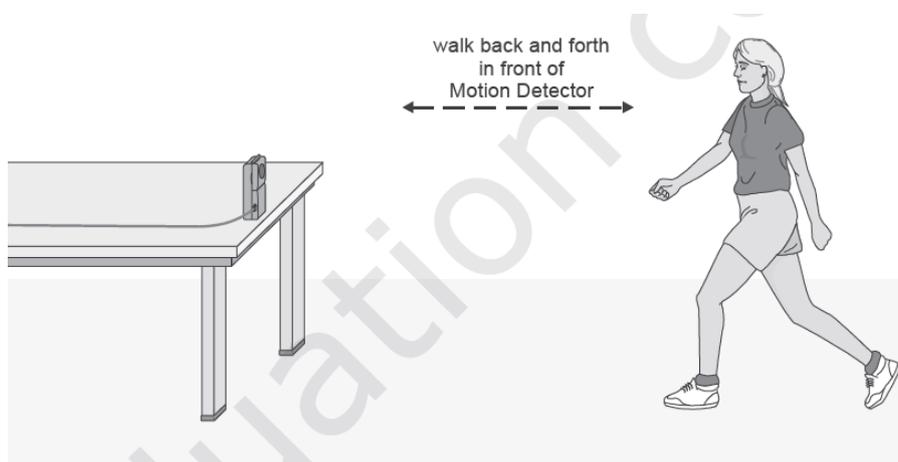


Figura 1: Esquema da montagem para o casamento de gráficos.

### 1. Objetivos

- Analisar o movimento de um estudante caminhando pela sala de aula.

---

<sup>†</sup> As Práticas desta Apostila foram preparadas para o uso da instrumentação do Logger *pro* da Vernier Software & Technology (<http://www.vernier.com/>). Entretanto, adaptações à realidade dos recursos disponíveis podem ser feitas pelo professor.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

- Prever, esboçar e testar gráficos cinemáticos da posição *vs.* tempo.
- Prever, esboçar e testar gráficos cinemáticos da velocidade *vs.* tempo.

## 2. Materiais

- Computador
- Detector de movimento Vernier
- Interface de computador Vernier
- Fita métrica
- Logger *Pro*
- Marcadores
- Fita

## 3. Questões Preliminares

1. Use um sistema de coordenadas com a origem no extremo esquerdo e com as distâncias positivas aumentando para a direita. Esboce um gráfico da posição *vs.* tempo para cada uma das seguintes situações:
  - Um objeto em repouso.
  - Um objeto que se move no sentido positivo com uma velocidade constante.
  - Um objeto que se move no sentido negativo com uma velocidade constante.
  - Um objeto que esteja acelerando no sentido positivo, partindo do descanso
2. Esboce um gráfico da velocidade contra o tempo para cada um das situações descritas acima.

## 4. Procedimento Experimental

### Parte I: Experimentos preliminares

1. Conecte o Detector de Movimento na PORT 2 da Interface Universal de Laboratório (*Universal Lab Interface*).
2. Coloque o Detector de Movimento apontando para um espaço aberto de aproximadamente 4 m de comprimento. Use tiras pequenas de fita adesiva para marcar o chão em posições de 1 m, 2 m, 3 m, e 4 m a partir do Detector de Movimento.
3. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 01A” da pasta *Physics with Computers* do programa Logger *Pro*. Um gráfico aparecerá na tela. O eixo

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

vertical é a posição de 0 a 5 metros. O eixo horizontal é o tempo escalado de 0 a 10 segundos.

4. Usando *Logger Pro*, produza um gráfico de seu movimento quando você caminha se distanciando do detector com velocidade constante. Para fazer isso, comece da posição 1 m a partir do Detector de Movimento e peça a seu parceiro de laboratório que clique em . Caminhe lentamente a partir do Detector de Movimento quando você ouvir iniciar o clicar.
5. Esboce qual gráfico da posição vs. distância você verá se você caminhar mais rápido. Verifique sua previsão com o Detector de Movimento.
6. Tente combinar a forma do gráfico da distância contra o tempo que você esboçou na seção Questões Preliminares andando na frente do Detector de Movimento.

## Parte II: Combinação do gráfico Distância vs. Tempo

7. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 01B” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro*. Um gráfico da distância vs. tempo aparecerá.

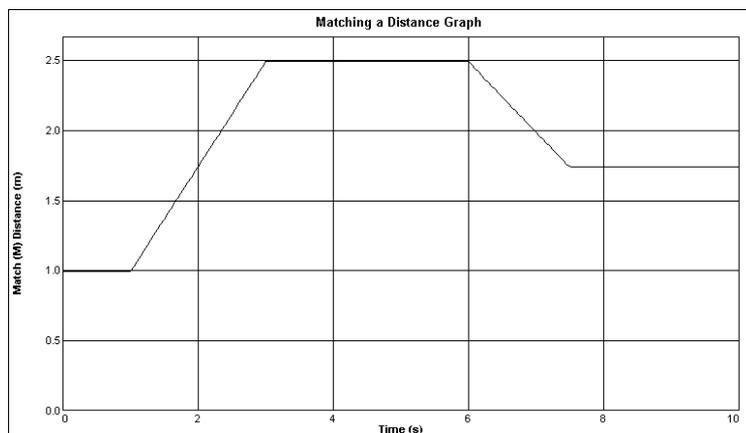


Figura 2: Gráfico referente ao arquivo “Exp 01B” do *Logger pro*.

8. Descreva como você deve caminhar para produzir o gráfico alvo.
9. Para testar sua previsão, escolha um ponto de partida e se posicione nele. Comece o levantamento de dados clicando . Quando você ouvir o Detector de Movimento começar a estalar, caminhe de tal maneira que o gráfico de seu movimento combine com o gráfico alvo na tela do computador.
10. Se você não for bem sucedido, repita o processo até que seu movimento combine o mais próximo possível do gráfico na tela. Se uma impressora está conectada ao computador, imprima o gráfico de sua melhor tentativa.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

11. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 01C” da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro* e repita as etapas 8 - 10, usando um novo gráfico do alvo.
12. Responda às perguntas da Análise para a Parte II antes de prosseguir para a Parte III.

## Parte III: Combinação do gráfico da Velocidade vs. Tempo

13. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 01D” da pasta *Physics with Computers* do programa *Logger Pro*. Você verá o seguinte gráfico da velocidade vs. tempo.

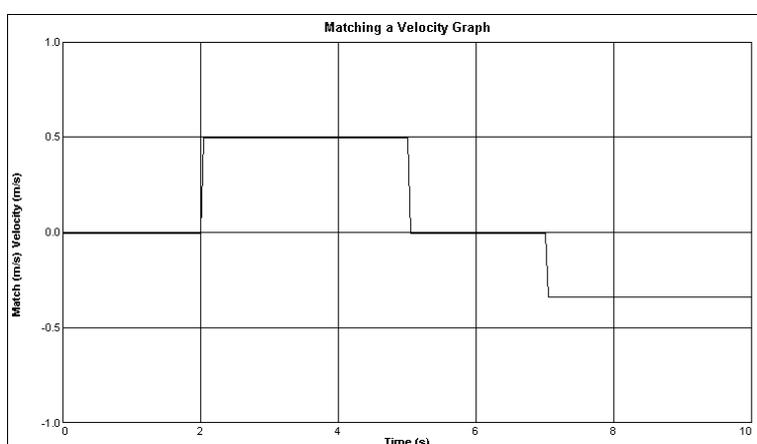


Figura 3: Gráfico referente ao arquivo “Exp 01D” do *Logger pro*.

14. Descreva como você deve caminhar para produzir o gráfico alvo.
15. Para testar sua predição, escolha um ponto de partida e se posicione nele. Comece o levantamento de dados clicando . Quando você ouvir o Detector de Movimento começar a estalar, caminhe de tal maneira que o gráfico de seu movimento combine com o gráfico alvo na tela do computador. Será mais difícil combinar o gráfico da velocidade que o da posição.
16. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 01E” da pasta *Physics with Computers* do programa *Logger Pro*. Repita os passos 14 – 15 para combinar esse gráfico.
17. Remova as tiras de fita do chão.

## 5. Análise

### Parte II: Combinação do gráfico da Distância vs. Tempo

1. Descreva como você andou para cada um dos gráficos que você combinou.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

2. Explique o significado da inclinação de um gráfico da distância contra o tempo. Inclua um exame da inclinação positiva e negativa.
3. Que tipo de movimento está ocorrendo quando a inclinação de um gráfico da distância contra o tempo é zero?
4. Que tipo de movimento está ocorrendo quando a inclinação de um gráfico da distância contra o tempo é constante?
5. Que tipo de movimento está ocorrendo quando a inclinação de um gráfico da distância contra o tempo está mudando? Teste sua resposta a esta pergunta usando o Detector de Movimento.
6. Retorne ao procedimento e termine a parte III.

## Parte III: Combinação do gráfico da Velocidade vs. Tempo

7. Descreva como você andou para cada um dos gráficos que você combinou.
8. Usando o gráfico da velocidade contra o tempo, esboce um gráfico da distância contra o tempo para cada um dos gráficos que você combinou. No Logger *pro*, comute um gráfico da distância contra o tempo para verificar sua resposta. Faça isto clicando na escala do eixo y e escolhendo a velocidade; verifique então a distância. Clique  para ver o gráfico da distância.
9. O que representa a área sob um gráfico da velocidade contra o tempo? Teste sua resposta a esta pergunta usando o Detector de Movimento.
10. Que tipo de movimento está ocorrendo quando a inclinação de um gráfico da velocidade contra o tempo é zero?
11. Que tipo de movimento está ocorrendo quando a inclinação de um gráfico da velocidade contra o tempo é não-nula? Teste sua resposta usando o Detector de Movimento.

## 6. Extensões

1. Desafie seus colegas. Esboce um gráfico da distância contra o tempo em um pedaço de papel e desafie outro estudante na classe a combinar seu gráfico. Permita que outro estudante desafie você da mesma maneira.
2. Crie um gráfico desafio da velocidade contra o tempo de maneira similar.

## PRÁTICA 2: MOVIMENTO DE VAI-E-VÉM

A maioria dos objetos vai para frente e para trás; isto é, movem-se ao longo de uma linha primeiramente em um sentido, a seguir se movimenta para trás de outra maneira. Um pêndulo de oscilação ou uma esfera lançada verticalmente no ar são exemplos das coisas que vão para frente e para trás. Os gráficos da posição e da velocidade contra o tempo para tais objetos compartilham de certo número de características semelhantes. Nesta experiência, você observará um número de objetos que mudam a velocidade e o sentido enquanto vão para frente e para trás. Analisar e comparar gráficos de seu movimento ajudar-lhe-á a aplicar mais claramente as idéias da cinemática. Nesta experiência você usará um Detector de Movimento para observar o movimento para frente e para trás dos seguintes cinco objetos:

- Pêndulo de oscilação
- O rolamento de um carrinho para cima e para baixo de uma rampa
- Estudante saltando no ar
- Corpo oscilando na extremidade de uma mola
- Esfera lançada no ar

### 1. Objetivos

- Analisar qualitativamente o movimento dos objetos que se movem para frente e para trás.
- Analisar e interpretar o movimento para frente e para trás em gráficos da cinemática.
- Usar gráficos cinemáticos dos objetos catalogados que exibem o movimento similar.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## 2. Materiais

- PC Windows ou Power Macintosh
- Interface Universal Lab
- Logger *Pro*
- Detector de Movimento Vernier
- Pêndulo com simples
- Mola com massa de suspensão
- Plano inclinado com carrinho
- Bola de borracha (15 cm de diâmetro ou mais)
- Cesta de proteção para o Detector de Movimento
- Fita métrica

## 3. Questões Preliminares

1. Alguns dos cinco objetos listados acima se movem de maneira semelhante? Em caso afirmativo, qual (is)? Que eles têm em comum?
2. Que é a forma de um gráfico da velocidade contra o tempo para um objeto que tem uma aceleração constante?
3. Você acha que alguns dos cinco objetos têm uma aceleração constante? Em caso afirmativo, quais deles?
4. Considere uma esfera jogada em linha reta para cima. Ela se move, muda o sentido, e cai de volta para baixo. Que é a aceleração de uma esfera que se move de maneira descrita acima? Qual é a aceleração quando ela alcança seu ponto superior? Que é a aceleração quando ela está caindo?

## 4. Procedimento Experimental

Estas cinco atividades ajudarão você prever a aparência dos gráficos da distância e da velocidade contra o tempo para vários movimentos, e então coletar os dados correspondentes. O Detector de Movimento define a origem de um sistema de coordenadas que se estende perpendicularmente a partir da parte dianteira do Detector de Movimento. Use este sistema de coordenadas para fazer seus esboços. Após ter coletado dados com o Detector de Movimento, você pode querer imprimir mais tarde os gráficos do computador para o uso na análise.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

## Parte I: Pêndulo oscilante

1. A montagem está ilustrada na Figura 4. Conecte o Detector de Movimento Vernier na PORT 2 da Interface Universal Lab.

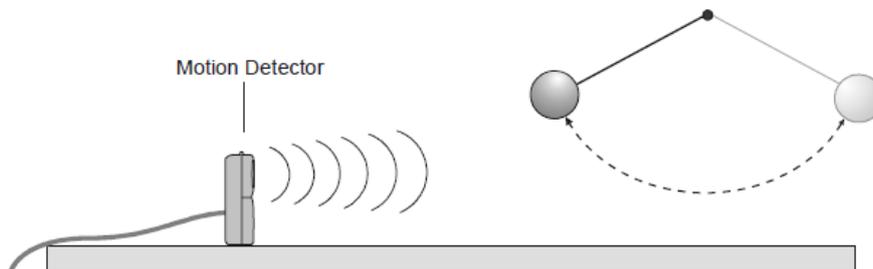


Figura 4: Movimento de vai-e-vem num pêndulo simples.

2. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 02A” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro*. Dois gráficos aparecerão na tela. A linha central vertical do gráfico da distância é escalada de 0 a 1,5 m. A linha central vertical do gráfico da velocidade é escalada - de 1 a +1 m/s. A linha central horizontal de ambos os gráficos tem o tempo escalados de 0 a 10 s.
3. Esboce sua previsão dos gráficos da distância e da velocidade contra o tempo de um pêndulo de prumo que balança para frente e para trás. Ignore o movimento vertical pequeno do prumo e meça a distância ao longo de uma linha horizontal no plano do movimento do prumo. Baseado na forma de seu gráfico da velocidade, você espera que a aceleração seja constante ou não? Por quê? Ela mudará de sentido? Haverá um ponto onde a aceleração seja zero?
4. Coloque o Detector de Movimento perto de um pêndulo com um comprimento de 1 a 2 m. O Detector de Movimento deve estar em nível com o prumo do pêndulo e aproximadamente 1 m distante quando o pêndulo estiver em repouso. O prumo nunca deve estar mais perto do detector do que 0.4 m.
5. Puxe o pêndulo aproximadamente 15 cm para o Detector de Movimento e libere-o para começar o balanço do pêndulo.
6. Clique  para começar a coleta de dados.
7. Se você não vê um gráfico liso, é provável que o pêndulo não esteja no feixe do Detector de Movimento. Ajuste o alvo e repita as etapas 5 - 6.
8. Responda às perguntas da análise para esta parte antes de prosseguir para a Parte II.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## Parte II: Carrinho sobre um plano inclinado

9. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo o arquivo “Exp 02B” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro*. Dois gráficos aparecerão na tela. A linha central vertical do gráfico da distância é escalada de 0 a 2 m. No gráfico da velocidade, a linha central vertical é escalada - de 2 a +2 m/s. A linha central horizontal de ambos os gráficos tem o tempo escalado de 0 a 5 s.
10. Coloque o Detector de Movimento na parte superior de um plano inclinado que tenha entre 1 e 2 m de comprimento. O ângulo do plano inclinado deve estar entre  $5^\circ$  e  $10^\circ$ .
11. Esboce sua previsão do gráfico da distância e da velocidade contra o tempo o deslocamento do carro livremente para cima sobre um plano inclinado e então para trás de volta para baixo. O carro estará subindo o plano inclinado e para longe do Detector de Movimento, inicialmente. A aceleração será constante? Mudará o sentido? Haverá um ponto onde a aceleração seja zero?
12. Prenda o carro base do plano inclinado. Clique  para começar a tomada de dados. Quando você ouvir o clique, dê ao carro um momento para cima do plano inclinado. Certifique-se de que o carro não parta de uma distância menor que 0,4 m do Detector de Movimento e mantenha suas mãos longe da trilha enquanto o carro rola.
13. Dê um zoom na parte de cada gráfico que representa o instante em que o carro estava rolando livremente. Para fazer isto, use o mouse para arrastar um retângulo em torno da parte útil dos dados, então clique no botão zoom  na tecla. Responda às perguntas da Análise para a parte II antes de prosseguir para a Parte III.

## Parte III: Estudante saltando no ar

14. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo o arquivo “Exp 02C” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro*. Dois gráficos aparecerão na tela. A linha central vertical do gráfico da distância é escalada de 0 a 2.0 m. A linha central vertical do gráfico da velocidade é escalada - de 2 a +2 m/s. A linha central horizontal de ambos os gráficos tem o tempo escalados de 0 a 10 s.
15. Fixe o Detector de Movimento pelo menos 3 m acima do assoalho, apontando para baixo.
16. Esboce suas previsões para os gráficos da distância e da velocidade contra o tempo para um estudante que salta em linha reta para cima e que cai de volta para

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

baixo. A aceleração será constante? Mudará de sentido? Haverá um ponto onde a aceleração seja zero?

17. Mantenha o carrinho diretamente abaixo do Detector de Movimento.
18. Clique  para começar a tomada de dados. Quando você ouvir o clique, dobre seus joelhos e salte. Mantenha seus braços abertos quando no ar.
19. Dê um zoom na parte do gráfico que representa o salto. Inclua tudo desde a dobra dos joelhos até o retorno ao chão. Para fazer isto, usar o mouse para arrastar um retângulo em torno da parte útil dos dados e clique no botão de zoom . Responda às perguntas da Análise para a Parte III antes de prosseguir para a Parte IV.

## Parte IV: Massa oscilando na extremidade de uma mola

20. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo o arquivo “Exp 02D” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro*. Dois gráficos aparecerão na tela. A linha central vertical do gráfico da distância é escalada de 0 a 1.5 m. A linha central vertical do gráfico da velocidade é escalada - de 1 a +1 m/s. A linha central horizontal de ambos os gráficos tem o tempo escalados de 0 a 10 s.
21. Coloque o Detector de Movimento apontando para cima, aproximadamente 1 m abaixo de uma massa suspensa por uma mola.
22. Esboce sua previsão para os gráficos da distância e velocidade contra o tempo de uma massa pendurada na extremidade de uma mola à medida que se move. A aceleração será constante? Mudará de sentido? Haverá um ponto onde a aceleração seja zero?
23. Levante a massa aproximadamente 10 cm (e não mais) e deixe-a cair.
24. Clique  para começar a coleta de dados.
25. Se você não vê um gráfico liso, a massa provavelmente não estava alinhada no feixe do Detector de Movimento. Ajuste o alvo ou procure objetos de interferência e tente outra vez.
26. Dê um zoom na parte de cada gráfico que representa um ciclo de oscilação. Para fazer isto, use o mouse para arrastar um retângulo em torno da parte útil dos dados e clique na tecla de zoom . Responda às perguntas da Análise para a parte IV antes de prosseguir para a Parte V.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

## Parte V: Bola lançada no ar

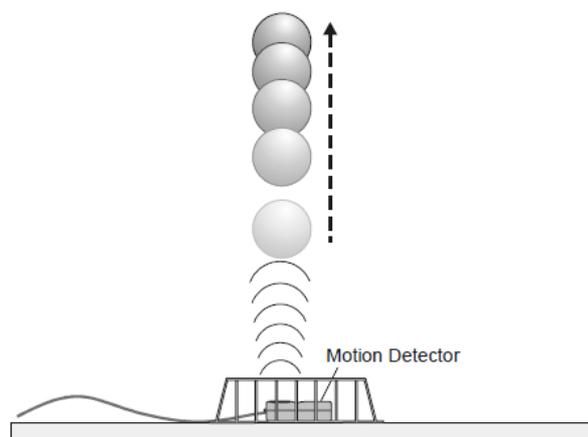


Figura 5: Montagem para o movimento de uma bola lançada verticalmente para cima.

27. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo o arquivo “Exp 02E” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro*. Dois gráficos aparecerão na tela. A linha central vertical do gráfico da distância é escalada de 0 a 2 m. A linha central vertical do gráfico da velocidade é escalada - de 3 a +3 m/s. A linha central horizontal de ambos os gráficos tem o tempo escalados de 0 a 5 s.
28. Esboce suas previsões para os gráficos da distância e da velocidade contra o tempo de uma bola jogada em linha reta para cima no ar. A aceleração será constante? Mudará o sentido? Haverá um ponto onde a aceleração seja zero?
29. Coloque o Detector de Movimento no chão apontando para o teto segundo as indicações da Figura 5. Coloque uma cesta protetora sobre o Detector de Movimento.
30. Mantenha a bola de borracha na palma de sua mão, a aproximadamente 0.5 m acima do detector de Movimento.
31. Clique  para iniciar a coleta de dados.
32. Quando você ouvir o Detector de Movimento estalar, jogue delicadamente a bola em linha reta para cima sobre o Detector de Movimento. Mova suas mãos rapidamente afastando-as de modo que o detector de Movimento siga a esfera mais do que sua mão. Pegue a esfera imediatamente antes que alcance a cesta.
33. Dê um *zoom* na parte de cada gráfico que representa o tempo que a esfera estava no ar. Para fazer isto, use o mouse para arrastar um retângulo em torno da parte útil dos dados e clique na tecla de zoom, .

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## 5. Análise

### Parte I: Pêndulo oscilante

1. Imprima ou esboce os gráficos da distância e da velocidade para uma oscilação do pêndulo. Compare estes com seus gráficos previstos e comente todas as diferenças.
2. A aceleração foi constante ou não? O que você pode dizer?
3. Houve algum ponto no movimento onde a velocidade era zero? Explique.
4. Houve algum ponto no movimento onde a aceleração era zero? Explique.
5. Onde estava o prumo do pêndulo quando a aceleração era a grande?
6. Retorne ao procedimento e termine a parte seguinte.

### Parte II: Carrinho sobre um plano inclinado

7. Imprima ou esboce a parte dos gráficos da distância e da velocidade que representam o tempo que o carro estava indo para cima e para baixo no plano inclinado. Compare estes com seus gráficos previstos e comente todas as diferenças.
8. A aceleração era constante ou mudava? O que você pode dizer?
9. O Logger *pro* pode indicar a reta tangente a uma curva, bem como a inclinação numericamente. Para acionar esta função, clique na tecla da tangente . Use a linha tangente e o gráfico da velocidade para determinar a aceleração do carro quando estava subindo, na parte superior, e descendo o plano inclinado. O que você descobriu?
10. Havia algum ponto no movimento onde a velocidade era zero? Explique.
11. Havia algum ponto no movimento onde a aceleração era zero? Explique.
12. Retorne ao Procedimento e termine a parte seguinte.

### Parte III: Estudante saltando no ar

13. Imprima ou esboce a parte dos gráficos da distância e da velocidade que representam o tempo que o carro estava indo para cima e para baixo no plano inclinado. Compare estes com seus gráficos previstos e comente todas as diferenças.
14. Use a tecla da reta tangente, , para determinar onde a aceleração alcançou um valor alto. Era quando o estudante estava saltando no ar ou durante a queda?
15. Quando o estudante estava no ar, sua aceleração era constante ou a mudava? O que você pode dizer?
16. Havia algum ponto no movimento onde a velocidade era zero? Explique.
17. Havia algum ponto no movimento onde a aceleração era zero? Explique.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

18. Retorne ao procedimento e termine a parte seguinte.

## Parte IV: Massa oscilando na extremidade de uma mola

19. Imprima ou esboce os gráficos da distância e da velocidade para uma vibração da massa. Compare estes com seus gráficos previstos e comente todas as diferenças.
20. A aceleração foi constante ou mudava? O que você pode dizer?
21. Havia algum ponto no movimento onde a velocidade era zero? Explique.
22. Havia algum ponto no movimento onde a aceleração era zero? Explique.
23. Onde estava a massa quando a aceleração era a grande?
24. Como você compara o movimento da mola de oscilação ao pêndulo?

## Parte V: Bola lançada no ar

25. Imprima ou esboce a parte dos gráficos da distância e da velocidade que representam o tempo a esfera estava no ar. Compare estes a seus gráficos previstos e comente todas as diferenças.
26. A aceleração era constante ou mudava? O que você pode dizer?
27. Use a linha tangente e o gráfico da velocidade para determinar a aceleração da esfera quando ela estava subindo, na parte superior, e descendo. O que você descobriu?
28. Havia algum ponto no movimento onde a velocidade era zero? Explique.
29. Havia algum ponto no movimento onde a aceleração era zero? Explique.

## 6. Análise de todas as partes

30. Indique duas características que os cinco gráficos da distância tiveram em comum. Indique duas características nas quais os cinco gráficos da distância eram diferentes um do outro.
31. Indique duas características que os cinco gráficos da velocidade tiveram em comum.
32. Indique duas características nas quais os cinco gráficos da velocidade eram diferentes de outro.

## 7. Extensões

1. Investigue outros movimentos de vaivém como, por exemplo, um ioiô.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

2. Una um acelerômetro a sua correia e use-o para analisar seu movimento quando você salta acima. Compare sua aceleração da aterragem quando você dobra seus joelhos em cima do impacto e quando você não dobra seus joelhos. Aviso da segurança: Salte somente algumas polegadas quando você não dobra seus joelhos.

## PRÁTICA 3: DETERMINANDO $g$ COM UM PLANO INCLINADO

Durante a primeira metade do século XVII, Galileu analisou experimentalmente o conceito de aceleração. Um de seus objetivos era aprender mais sobre os objetos em queda livre. Infelizmente, os dispositivos de seu tempo não eram precisos o suficiente para lhe permitir estudar a queda livre diretamente. Portanto, ele decidiu limitar a aceleração usando fluidos, planos inclinados e pêndulos. Neste exercício de laboratório, você vai ver como a aceleração de um carrinho ou de uma bola rolando depende do ângulo de rampa, como mostra a Figura 6. Então, você vai usar seus dados para extrapolar para a aceleração em uma rampa “vertical”, isto é, a aceleração de uma bola em queda livre.

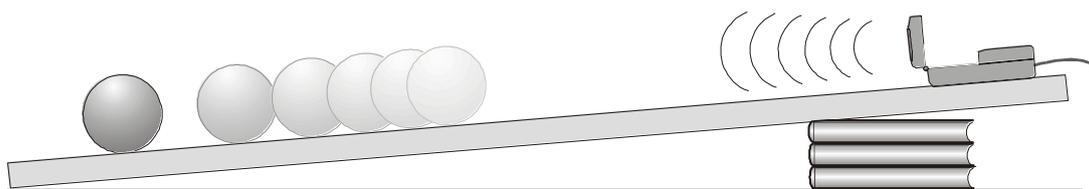


Figura 6: Plano inclinado.

Se o ângulo de inclinação com a horizontal é pequeno, uma bola rolando rampa abaixo se move lentamente e pode ser facilmente cronometrado. Usando dados de hora e distância, é possível calcular a aceleração da bola. Quando o ângulo de inclinação é maior, a aceleração também aumenta. A aceleração é diretamente proporcional ao seno do ângulo de inclinação,  $\theta$ . Um gráfico da aceleração versus  $\text{sen}(\theta)$  pode ser extrapolada para um ponto onde o valor do  $\text{sen}(\theta)$  é 1. Quando o  $\text{sen}(\theta)$  é 1, o ângulo de inclinação é de  $90^\circ$ . Isto é equivalente à queda livre. A aceleração durante a queda livre pode ser determinada a partir do gráfico.

Galileu foi capaz de medir a aceleração apenas para pequenos ângulos. Você irá coletar dados semelhantes. Esses dados podem ser utilizados na extrapolação para determinar um valor útil de  $g$ , a aceleração de queda livre. Vamos ver quão válida essa extrapolação pode ser. Ao invés de medir o tempo, como Galileu fez, você irá utilizar um Detector de Movimento para determinar a aceleração. Você vai fazer medições quantitativas do movimento de uma bola rolando um plano inclinado com vários

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

ângulos pequenos. A partir dessas medidas, você deve ser capaz de decidir por si mesmo se uma extrapolação para grandes ângulos é válida.

## 1. Objetivos

- Usar um Detector de Movimento para medir a velocidade e a aceleração de uma bola e um carrinho rolando para baixo numa rampa.
- Determinar a relação matemática entre o ângulo de inclinação e a aceleração da bola em queda no plano inclinado.
- Determinar o valor da aceleração de queda livre,  $g$ , extrapolando o gráfico da aceleração versus seno do ângulo de inclinação.
- Comparar os resultados de uma bola com os resultados de um carrinho sem atrito.
- Determinar se uma extrapolação da aceleração versus seno do ângulo de inclinação é válida.

## 2. Materiais

- Computador
- Logger pro
- Detector de movimento Vernier
- Interface Universal Lab
- Plano inclinado (1 a 3 m)
- Bola rígida
- Carrinho

## 3. Questões preliminares

1. Um dos dispositivos de tempo que foi utilizado por Galileu era seu pulso. Solte uma bola de borracha de uma altura de cerca de 2 m e tente determinar quantos batimentos do pulso decorreram antes dela atingir o solo. Qual foi o problema neste experimento que Galileu encontrou?
2. Agora, meça o tempo que leva para a bola de borracha para queda de 2 m, utilizando um relógio de pulso ou um relógio de parede. Será que os resultados melhoram substancialmente?

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

3. Rolar a bola difícil encontrar uma rampa que faz um ângulo de aproximadamente  $10^\circ$  com a horizontal. Primeiro use seu pulso e, em seguida o seu relógio de pulso para medir o tempo de descida.
4. Você acha que durante o dia de Galileu foi possível obter dados úteis para qualquer uma dessas experiências? Por quê

## 4. Procedimento experimental

1. Conecte o detector de movimento Vernier a PORT 2 da Interface Universal Lab.
2. Coloque um único livro sob uma extremidade da rampa de 1 - 3 m de comprimento ou de um trilho de modo que dê forma a um ângulo pequeno com o horizontal. Ajuste os pontos do contato das duas extremidades do plano inclinado, de modo que a distância,  $x$ , na Figura 6 esteja entre 1 e 3 m.
3. Coloque o detector de movimento na parte superior de um plano inclinado. Coloque assim de modo que a esfera nunca esteja mais próxima do que 0,4 m do detector.
4. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo o arquivo “Exp 04” da pasta *Physics with Computers* do Logger pro. Dois gráficos serão indicados: distância contra o tempo e a velocidade contra o tempo. A linha central vertical no gráfico da distância é escalada de 0 a 3 m. A linha central vertical no gráfico da velocidade é escalada 0 a 2 m/s. A linha central horizontal de ambos os gráficos é tempo escalados de 0 a 5 s.
5. Prenda a esfera rígida no plano inclinado aproximadamente 0,5 m do detector de movimento.
6. Clique  para começar a coletar dados; libere a esfera depois que o detector de movimento começar a estalar. Você pode ter que ajustar a posição e o alvo do detector de movimento diversas vezes antes que você obtenha uma medida satisfatória. Ajuste e repita esta etapa até que você obtenha uma boa medida que mostre a inclinação aproximadamente constante no gráfico da velocidade contra o tempo durante o rolamento da esfera.
7. O Logger pro pode ajustar a uma linha reta a uma parte de seu gráfico. Selecione primeiramente que parcela deve ser usada arrastando com o *mouse* através do gráfico para indicar os tempos de início e de término. Clique então sobre a linha de regressão, *Regression Line*,  para executar uma regressão linear dos dados selecionados. Use

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

esta ferramenta para determinar a inclinação do gráfico da velocidade contra o tempo, usando somente a parcela dos dados no intervalo de tempo em que a esfera estava rolando livremente. Da linha obtida, encontre a aceleração da esfera. Anote o valor em sua tabela dos dados.

8. Repita as etapas 5 – 7 mais duas vezes.
9. Meça o comprimento do plano inclinado,  $x$ , que está a uma distância entre os dois pontos de contacto da rampa. Veja Figura 6.
10. Meça a altura,  $h$ , a altura dos livros. Estas últimas duas medidas serão usadas para determinar o ângulo do plano inclinado.
11. Levante o plano inclinado colocando um segundo livro sob a extremidade. Ajuste os livros de modo que a distância,  $x$ , seja a mesma que a leitura precedente.
12. Repita as etapas 5 - 10 para o novo plano inclinado.
13. Repita as etapas 5 - 11 para 3, 4, e 5 livros.
14. Repita as etapas 5 - 13 usando um carrinho de baixo-atrito em vez da esfera.

## 5. Tabela de resultados

Dados usando a esfera							
Número de livros	Altura dos livros, $h$ (m)	Comprimento do plano inclinado, $x$ (m)	$\sin\theta$	Aceleração			Aceleração média ( $\text{m/s}^2$ )
				Tentativa 1 ( $\text{m/s}^2$ )	Tentativa 2 ( $\text{m/s}^2$ )	Tentativa 3 ( $\text{m/s}^2$ )	
1							
2							
3							
4							
5							

Dados usando o carrinho							
Número de livros	Altura dos livros, $h$ (m)	Comprimento do plano inclinado, $x$ (m)	$\sin\theta$	Aceleração			Aceleração média ( $\text{m/s}^2$ )
				Tentativa 1 ( $\text{m/s}^2$ )	Tentativa 2 ( $\text{m/s}^2$ )	Tentativa 3 ( $\text{m/s}^2$ )	
1							
2							
3							

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

4							
5							

## 6. Análise

1. Calcule a aceleração média para cada altura.
2. Usando a trigonometria e os seus valores de  $x$  e de  $h$  na Tabela de resultados, calcule o seno do ângulo de declive para cada altura. Observe que  $x$  é a hipotenusa de um triângulo retângulo.
3. Trace um gráfico da aceleração média (linha central de  $y$ ) contra o  $\sin(\theta)$ . Use a análise gráfica ou o papel milimetrado. Extrapole a linha central do  $\sin(\theta)$  para 1 (um) a fim de sair do quadrante para a extrapolação.
4. Trace uma linha reta à mão ou use a regressão linear do *Graphical Analysis* para obter a inclinação. A inclinação pode ser usada para determinar a aceleração da esfera em um declive de todos os ângulos.
5. No gráfico, extrapole a linha selecionada até  $\sin(90) = 1$  na linha central horizontal para ler o valor da aceleração.
6. Quão bem o valor extrapolado concorda com o valor aceito da aceleração da queda livre ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )?
7. Repita a análise, incluindo a extrapolação, para o carrinho sem atrito.
8. Por quais motivos você explica o fato de os dados para o carrinho levarem a um valor extrapolado de  $g$  que é mais próximo do valor aceito do que os dados da esfera?
9. Discuta a validade de extrapolar o valor da aceleração até um ângulo do  $90^\circ$ .

## PRÁTICA 4: QUEDA LIVRE

Nós dizemos que um objeto realiza movimento de queda livre quando a única força que atua nela é a força gravitacional da Terra. Nenhuma outra força pode atuar; em particular, a resistência de ar deve ser ou ausente ou tão pequena que pode ser ignorada. Quando o objeto em queda livre está perto da superfície da terra, a força gravitacional que atua sobre ele é quase constante. Em consequência, um objeto em queda livre acelera para baixo a uma taxa constante. Esta aceleração é representada geralmente com o símbolo  $g$ .

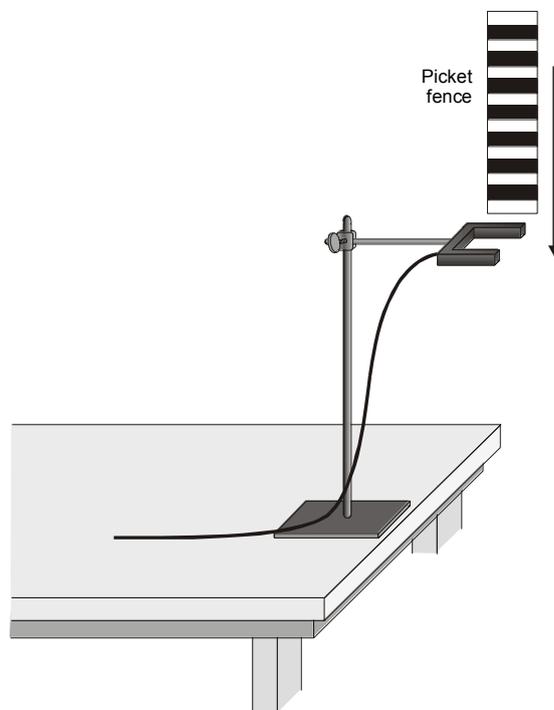


Figura 7: Aparato experimental para o estudo da queda livre.

Os estudantes da física medem a aceleração devido à gravidade usando uma grande variedade de métodos do sincronismo. Nesta experiência, você terá a vantagem de usar um temporizador muito preciso conectado ao computador e a um fotodetector. O fotodetector tem um feixe da luz infravermelha que viaja de um lado ao outro. Ele pode detectar sempre que o feixe é obstruído. Você deixará cair uma vareta de plástico com barras claras e escuras uniformemente espaçadas nela, conforme a Figura 7. À medida a vareta passa pelo fotodetector, o computador mede o tempo entre as obstruções atuais e as seguintes. Este sincronismo continua enquanto todas as oito barras passam pelo

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

fotodetector. Destes tempos medidos, o programa calculará as velocidades e as acelerações para este movimento e os gráficos serão traçados.

## 1. Objetivos

- Medir a aceleração de um corpo em queda livre ( $g$ ) com precisão melhor que 0,5% usando uma cerca de piquete e um Fotodetector.

## 2. Materiais

- PC com Windows XP
- Interface Universal Lab
- Logger *Pro*
- Fotodetector Vernier
- Vareta de barras
- Grampo ou tripé para segurar o fotodetector

## 3. Questões preliminares

1. Inspeccione sua vareta de barras. Você estará deixando-a cair diante de um fotodetector para medir o  $g$ . A distância, medida de uma borda de uma tira preta à mesma borda da tira seguinte, é 5,0 cm. Que informações adicionais você precisará para determinar a velocidade média da vareta enquanto se move na frente do fotodetector?
2. Se um objeto se está movendo com aceleração constante, que é a forma de sua velocidade contra o gráfico do tempo?
3. A velocidade inicial de um objeto tem qualquer coisa a ver com sua aceleração? Por exemplo, comparado a um objeto que você deixar cair, se você o joga para baixo a aceleração seria diferente após você tê-lo liberado?

## 4. Procedimento experimental

1. Prenda o fotodetector de maneira que ele se posicione horizontalmente, segundo as indicações da Figura 7. Observe que todo o comprimento da vareta deve poder cair livremente entre os terminais do fotodetector. Para evitar danificar a vareta, certifique-se de que tem ela cairá sobre uma superfície macia (tal como um tapete).
2. Conecte o fotodetector à entrada DG I no ULI.
3. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo “Exp 05” da pasta *Physics with Computers* do *Logger pro*. Dois gráficos aparecerão na tela. O gráfico

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

superior indica a distância contra o tempo, e o gráfico inferior, da velocidade contra o tempo.

4. Observe a leitura na barra de status do *Logger pro* na parte inferior da tela. Obstrua o fotodetector com sua mão; observe que o fotodetector está mostrado como obstruído. Remova sua mão e a exposição deve mudar para desbloqueado.

5. Clique  para preparar o fotodetector. Prenda a parte superior da vareta e deixe-a cair entre o fotodetector, liberando-a completamente antes que entre no Fotodetector. Seja cuidadoso ao liberar a vareta. Ela não deve tocar nos lados do fotodetector enquanto cai e precisa permanecer na vertical. Clique  para cessar o levantamento de dados.

6. Examine seus gráficos. A inclinação de um gráfico da velocidade contra o tempo é uma medida da aceleração. Se o gráfico da velocidade é aproximadamente uma linha reta de inclinação constante, a aceleração é constante. Se a aceleração de vareta parece constante, selecione uma linha reta a seus dados. Para fazer isto, clique  uma vez sobre o gráfico da velocidade para selecioná-lo, clique então para selecionar a linha  $y = mx + b$  aos dados. Anote a inclinação na tabela dos dados.

7. Para estabelecer a confiabilidade de sua medida da inclinação, repita as etapas 5 e 6 cinco vezes mais. Não use as medidas em que a vareta bate ou sai do fotodetector. Anote os valores da inclinação na tabela dos dados.

## 5. Resultados

Tabela de resultados

Tentativa	1	2	3	4	5	6
Inclinação ( $m/s^2$ )						

	Mínimo	Máximo	Média
Aceleração ( $m/s^2$ )			

Aceleração devida à gravidade, $g$	$\pm$	$m/s^2$
Precisão	%	

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## 6. Análise

1. De suas seis experimentações, determine o mínimo, o máximo, e o valor médio para a aceleração de queda da vareta. Anote-os na tabela dos dados.
2. Descreva em palavras a forma do gráfico da distância contra o tempo para a queda livre.
3. Descreva com palavras a forma do gráfico da velocidade contra o tempo. Como este gráfico está relacionado com aquele da distância contra o tempo?
4. A aceleração média que você determinou representa um valor único melhor, derivado de todas suas medidas. Os valores mínimo e máximo dão uma afirmação de quanto as medidas podem variar de experimentação à experimentação; isto é, indicam a precisão de sua medida. Uma maneira de indicar a precisão é tomar a metade da diferença entre os valores mínimo e máximo e usar o resultado como a incerteza da medida. Expresse seu resultado experimental final como o valor médio,  $\pm$  a incerteza. Fique atento para o fato de a incerteza e o valor médio devem estar ajustados para o mesmo número de casas decimais.<sup>‡</sup> Por exemplo, se seus valores do mínimo, os médios e os máximos são 9,12; 9,93 e 10,84 m/s<sup>2</sup>, expresse seu resultado como  $g = 9,9 \pm 0,9$  m/s<sup>2</sup>. Anote seus valores na tabela dos dados.
5. Expresse a incerteza como uma porcentagem da aceleração. Esta é a precisão do seu experimento.<sup>§</sup> Incorpore o valor a sua tabela de resultados. Usando o exemplo numérico da última etapa, a precisão seria  $\frac{0,9}{9,9} \times 100\% = 9\%$ .
6. Compare sua medida ao valor geralmente aceito de  $g$  (de um livro de texto ou de outra fonte qualquer). O valor aceito cabe dentro da escala de seus valores? Em caso afirmativo, sua experiência concorda com o valor aceitado.
7. Usando o gráfico da aceleração contra o tempo na tela, clique sobre  para determinar a aceleração média. Como isto pode ser comparado com o valor da aceleração que você obteve, determinado a partir da inclinação do gráfico da velocidade?

---

<sup>‡</sup> Ver

Apêndice A: Expressando valores de amostragem.

<sup>§</sup> Veja também o

Apêndice B: Cálculo do erro percentual.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## 7. Extensões

1. Use o gráfico da distância contra o tempo e um ajuste parabólico para determinar  $g$ .
2. Deixando cair a vareta de uma altura maior acima do fotodetector, você esperaria alguma mudança nos parâmetros que você mediu? Tente-o.
3. Jogando a vareta para baixo, mas abandonando-a antes que entre no fotodetector, você acredita que isso mude algumas de suas medidas? E jogando a vareta para cima? Realize uma tentativa executando estas experiências.
4. Como a adição da resistência de ar mudaria os resultados? Tente adicionar um laço de fita livre à extremidade superior da vareta. Deixe cair a vareta modificada dentro do fotodetector e compare os resultados com seus resultados livres originais da queda.
5. Investigue como o valor de  $g$  varia em torno do mundo. Por exemplo, qual a influência da altura sobre o valor de  $g$ ? Que outros fatores fazem com que esta aceleração varie em posições diferentes? Quanto pode  $g$  variar em uma posição nas montanhas comparadas a uma posição ao nível do mar?

## PRÁTICA 5: SEGUNDA LEI DE NEWTON

Como um carro muda seu movimento quando você o empurra e puxa? Você pode pensar que quanto mais abruptamente você o empurra, mais rapidamente ele se move. A velocidade do carro está relacionada à força que você aplica? Ou a força apenas muda a velocidade? Além disso, o que a massa do carro tem a ver com a maneira com a qual o movimento muda.

Um dinamômetro e um acelerômetro deixá-lo-ão medir simultaneamente a força e a aceleração de um carro. A massa total do carro é fácil de variar adicionando massas. Usando estas ferramentas, você pode determinar como a força resultante sobre o carro, sua massa, e sua aceleração estão relacionadas. Esta relação é a segunda lei do movimento, de Newton.

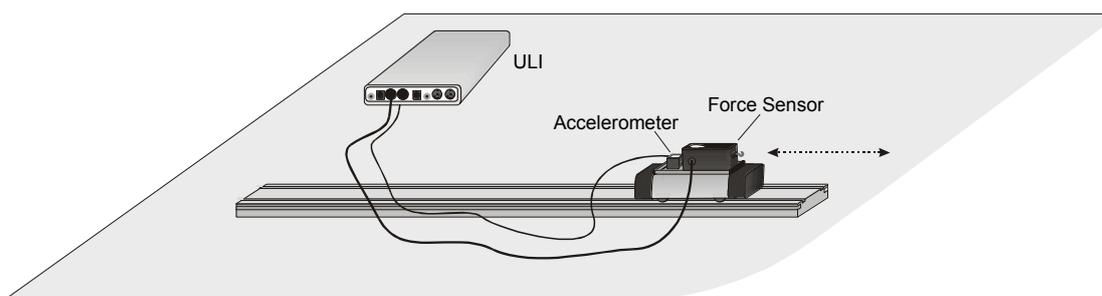


Figura 8: Estudo da 2ª lei de Newton.

### 1. Objetivos

- Coletar dados da força e aceleração para um carrinho que se move em vai-e-vem.
- Comparar gráficos da aceleração e da força contra o tempo.
- Analisar um gráfico da força versus aceleração.
- Determinar a relação entre força, massa e aceleração.

### 2. Materiais

- PC Windows
- Interface Universal Lab
- Sensor Force Vernier
- Acelerômetro Low-g Vernier
- Logger Pro
- Carrinho de baixo atrito
- Massas de 0,050 kg

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

## 3. Questões preliminares

1. Quando você impulsiona um objeto, como o valor da força afeta seu movimento? Se você empurra mais rapidamente, a mudança no movimento é menor ou maior? Você acha que esta relação é direta ou inversa?
2. Suponha que você tem uma bola de tênis e uma de boliche, cada uma suspensa por um barbante distinto. Se você bater em cada um destas bolas com um bastão qualquer de madeira, qual bola muda seu movimento por uma quantidade maior?
3. Na ausência de atrito e de outras forças, se você exerce uma força,  $F$ , em uma massa,  $m$ , a massa acelerará. Se você exerce a mesma força em uma massa de  $2m$ , você esperaria que a aceleração resultante fosse duas vezes maior ou duas vezes menor? Esta é uma relação direta ou inversa?

## 4. Procedimento experimental

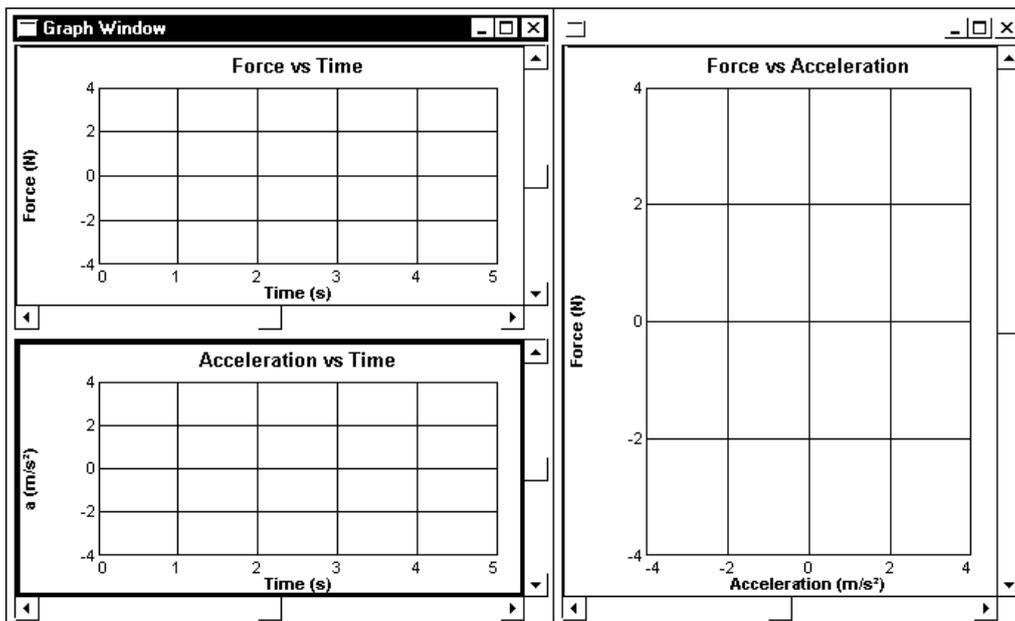


Figura 9: Gráficos do arquivo “Exp 09SF”, do Logger pro.

1. Se você está usando o “Vernier Dual-Range Force Sensor”\*\*, abra o arquivo “Exp 09DR” a partir da pasta *Physics with Computers* do Logger Pro. Ajuste a chave no dinamômetro para  $\pm 10$  N. Se você está usando o “ULI Force Probe”, abra o arquivo “Exp 09FP.” Se você está usando o “Student Force Sensor”, abra “Exp 09SF.” Três gráficos aparecerão na tela, como mostrado na Figura 9.

\*\* Caso esteja usando o sensor “Dual-Range Force” que tem uma chave de 5-N ao invés de 10-N, ajuste-o para 5-N.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

2. Conecte o dinamômetro à porta DIN 1 na Interface Universal Lab. Conecte também o acelerômetro ao DIN 2 na interface.
3. Para obter melhores resultados numéricos no seu experimento, você deve calibrar ambos os sensores. Os procedimentos estão descritos nos apêndices:
4. Apêndice C: Calibração do dinamômetro, e no
5. Apêndice D: Calibração do acelerômetro.
6. Prenda o dinamômetro a um carrinho de maneira que você possa aplicar uma força horizontal no gancho, dirigido ao longo da linha central e horizontal de seu dinamômetro. Em seguida, prenda o acelerômetro de maneira que a seta esteja na direção horizontal e paralela ao sentido no qual o carrinho se deslocará. Oriente a seta de modo que se você puxa no sensor-força o carro se mova no sentido da seta. Encontre a massa do carro com o sensor e o acelerômetro juntos. Anote a massa na tabela de dados.
7. Coloque o carrinho sobre uma superfície plana e horizontal (bancada). Certifique-se que o carrinho não está se movendo e clique em , e após, clique .

## Tentativa I

6. Agora você está pronto para coletar os dados da força e da aceleração para o seu experimento. Agarre o gancho do dinamômetro. Clique  e aguarde alguns segundos para mover para frente e para trás o carro sobre a bancada. Varie o movimento de modo que forças pequenas e grandes sejam aplicadas. Certifique-se de que sua mão está tocando somente no gancho do sensor-força e não no corpo do sensor ou do carro.
7. Observe a forma dos gráficos da força contra o tempo e da aceleração contra o tempo. Clique no botão *Examine*, , e mova o *mouse* pelo gráfico da força pelo tempo. Quando a força é máxima, a aceleração é máxima ou mínima?
8. O gráfico da força contra a aceleração deve parecer uma linha reta. Para ajustar os dados a uma linha reta dados, clique no gráfico, a seguir clique na tecla *Regression Line*, . Anote a equação para a linha de regressão na tabela dos dados.
9. Usando os gráficos, estime a aceleração do carro quando uma força de 1,0 N atuou sobre ele. Seletor *Interpolate* a partir do menu *Analyze*. Mova o *mouse* através do gráfico e determine a aceleração ( $x$ ) quando a força ( $y$ ) é aproximadamente 1,0 N. Anote os dados da força e da aceleração na tabela de dados.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

10. Repita o passo 9 usando uma força de  $-1,0$  N.

## Tentativa II

11. Prenda uma massa de  $0,500$  kg no carrinho. Anote a massa do carrinho, dos sensores e da massa adicional na tabela de dados.

12. Repita os passos 6 – 10.

## 5. Resultados

### Parte I

Massa do carro com sensores (kg)	
----------------------------------	--

Dados da linha de regressão para a força versus aceleração

	Força que puxa o carro (N)	Aceleração ( $m/s^2$ )
Força próxima de $1,0$ N		
Força próxima de $-1,0$ N		

### Parte II

Massa do carrinho com sensores e a massa adicional (kg)	
---	--

Dados da linha de regressão para a força versus aceleração

	Força que puxa o carro (N)	Aceleração ( $m/s^2$ )
Força próxima de $1,0$ N		
Força próxima de $-1,0$ N		

## 6. Análise

1. Compare os gráficos da força contra o tempo e da aceleração contra o tempo para uma tentativa particular.

2. A força resultante aplicada em um objeto e a aceleração desse objeto são diretamente proporcionais? Explique.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

3. Quais são as unidades da inclinação do gráfico da força contra a aceleração? Simplifique as unidades da inclinação às unidades fundamentais (m, kg, s).
4. Para cada tentativa compare a inclinação da linha de regressão à massa que está sendo acelerada. O que a inclinação do gráfico representa?
5. Escreva uma equação geral que relacione todas as três variáveis: força, massa, e aceleração.

## 7. Extensões

1. Use esta instrumentação como uma maneira de medir a massa. Coloque uma massa desconhecida no carro. Meça a aceleração para uma força conhecida e determine a massa desconhecida. Compare sua resposta com a massa real do carro, medida com uma balança.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## PRÁTICA 6: MÁQUINA DE ATWOOD

Um experimento clássico na física é a *máquina de Atwood*: Duas massas de cada lado de uma polia são conectadas por uma corda leve. Quando liberada, a massa mais pesada acelerará descendente enquanto a mais leve acelerará para cima à mesma taxa. A aceleração depende da diferença nas duas massas assim como da massa total.

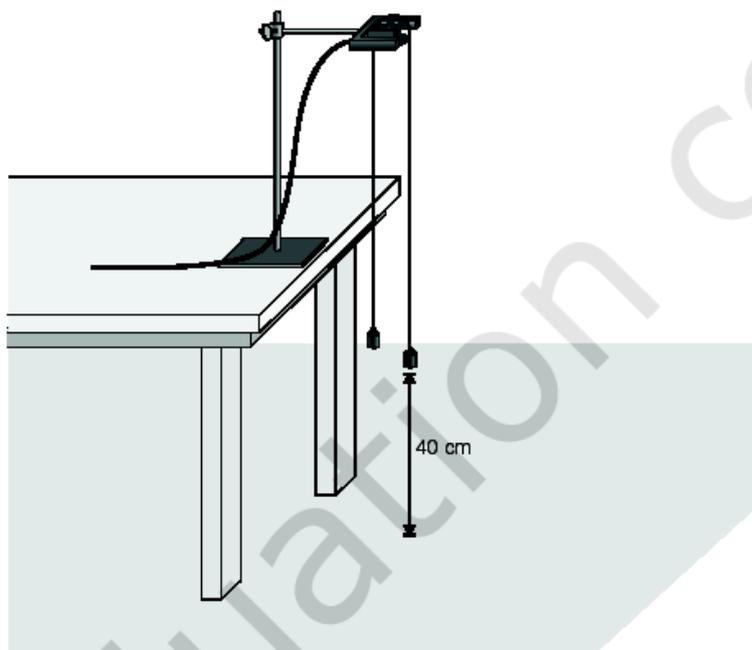


Figura 10: Montagem da máquina de Atwood.

Nesta prática, você determinará a relação entre os dois fatores que influenciam a aceleração da máquina de Atwood usando um fotodetector para a medida da aceleração.

### 1. Objetivos

- Usar um fotodetector para estudar a aceleração da máquina de Atwood.
- Determinar as relações entre as massas na máquina de Atwood e a aceleração.

### 2. Materiais

- PC Windows
- Interface Universal Lab
- Logger Pro
- Fotodetector Vernier com polia sem atrito
- Conjunto de massas
- Segunda polia (sem fotodetector)
- Barbante
- *Graphical Analysis* ou papel milimetrado

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## 3. Questões preliminares

1. Se duas massas iguais estão suspensas pelas extremidades (diferentes) de um barbante que passa sobre uma polia leve (máquina de Atwood), que tipo do movimento você espera ocorrer? Por quê?
2. Para a máquina de Atwood, como você esperaria que a aceleração mudasse se você:
  - Movesse a massa de um lado para o outro, mantendo a massa total constante?
  - Aumentasse gradualmente a massa de ambos os lados?
3. Por que as duas massas têm a mesma aceleração?
4. Esboce um diagrama de corpo livre para a massa do lado esquerdo. Esboce outro para a massa do lado direito. Inclua todas as forças que atuam em cada massa.

## 4. Procedimento experimental

### Parte I: Mantendo a massa total constante

Para esta parte da experiência você manterá a constante a massa total usada, mas move pesos de um lado para o outro. A diferença entre as massas muda

1. Ajuste o instrumento da máquina de Atwood segundo as indicações de Figura 10.
2. Conecte o fotodetector com a polia ao porto DG I da Interface Universal Lab.
3. Prepare o computador para a aquisição de dados abrindo o arquivo “Exp 10” da pasta *Physics with Computers* do Logger pro. Um gráfico da velocidade contra o tempo será mostrado.
4. Arranje uma coleção das massas que totalizam 200 g no  $m_2$  e uma massa de 200 g em  $m_1$ . Qual é a aceleração desta combinação? Anote seus valores para a massa e a aceleração na tabela dos dados.
5. Mova 5 g de  $m_2$  para  $m_1$ . Anote as novas massas na tabela dos dados.
6. Posicione  $m_1$  mais alto que  $m_2$ . Clique  para iniciar a coleta de dados. Prenda as massas de modo que não balancem. Espere um segundo e libere-as. Segure a massa em queda antes que ela atinja o chão ou a bancada.
7. Clique no botão *Examine*, , e selecione a região do gráfico onde a velocidade estava aumentando a uma taxa constante. Clique na tecla *Linear Regression*,

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI



, para ajustar a linha  $y = mx + b$  aos dados. Anote a inclinação, que é a aceleração, na tabela dos dados.

8. Continue a mover massas do  $m_2$  para  $m_1$  em incrementos de 5 g, mudando a diferença entre as massas, mas mantendo a massa total constante. Repita os passos 6 - 7 para cada combinação de massa. Repita este passo até que você obtenha pelo menos cinco combinações diferentes.

## Parte II: Mantendo a diferença de massa constante

Para esta parte da experiência você manterá a diferença na massa entre os dois lados da máquina de Atwood constante e aumentará a massa total.

9. Ponha 120 g sobre  $m_1$  e 100 g sobre o  $m_2$ .

10. Repita os passos 6 - 7 para coletar dados e determinar a aceleração.

11. Adicione massa em incrementos de 20 g a ambos os lados, mantendo uma diferença constante de 20 gramas. Anote a massa resultante para cada combinação na tabela dos dados. Repita etapas 6 - 7 para cada combinação. Repita o procedimento até pelo menos cinco combinações diferentes.

## 5. Resultados

Tabela de resultados

Parte I: Mantendo a massa total constante					
Tentativa	$m_1$ (g)	$m_2$ (g)	Aceleração ( $m/s^2$ )	$\Delta m$ (kg)	$m_T$ (kg)
1					
2					
3					
4					
5					

Parte II: Mantendo a diferença de massa constante					
Tentativa	$m_1$ (g)	$m_2$ (g)	Aceleração ( $m/s^2$ )	$\Delta m$ (kg)	$m_T$ (kg)
1					
2					
3					

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

4					
5					

## 6. Análise

1. Para cada tentativa, calcule a diferença entre  $m_1$  e  $m_2$  em kilogramas. Anote o resultado na coluna  $\Delta m$ .
2. Para cada tentativa, calcule a massa total em kilogramas.
3. Usando o *Graphical Analysis* ou papel milimetrado, faça um gráfico da aceleração versus  $\Delta m$ , usando os dados da Parte I. Baseado em suas análises sobre o gráfico, responda qual é a relação entre a diferença de massa e a aceleração na máquina de Atwood?
4. Usando o *Graphical Analysis* ou papel milimetrado, faça um gráfico da aceleração versus a massa total, usando os dados da Parte II. Baseado em suas análises sobre o gráfico, responda qual é a relação entre a massa total e a aceleração na máquina de Atwood?
5. Obtenha uma única expressão para a aceleração em uma máquina de Atwood, combinando os resultados dos dois passos anteriores na análise.

## 7. Extensões

1. Desenhe um diagrama de corpo livre para  $m_1$  e outro para  $m_2$ . Usando esses diagramas, aplique a segunda lei de Newton a cada massa. Assuma que a tensão é a mesma em cada massa e que elas têm a mesma aceleração. A partir dessas duas equações, encontre uma expressão para a aceleração de  $m_1$  em termos de  $m_1$ ,  $m_2$ , e  $g$ . Compare esta expressão com seu resultado no passo 5 da Análise.
2. Para cada uma das medidas realizadas, calcule a aceleração esperada usando a expressão que você encontrou com a segunda lei de Newton do movimento e especifique as massas usadas. Compare estes resultados com seus resultados experimentais.<sup>††</sup> Os valores experimentais concordam com os valores teóricos? Por quê?

---

<sup>††</sup>

## PRÁTICA 7: TERCEIRA LEI DE NEWTON

Você pode ter aprendido esta declaração da terceira lei de Newton: “A cada ação há uma reação igual e oposta.” O que esta sentença significa? Ao contrário das primeiras duas leis de Newton, do movimento, que se referem somente a objetos individuais, a terceira lei descreve uma interação entre dois corpos. Por exemplo, o que acontece quando você puxa na mão do seu parceiro com a sua mão? Para estudar esta interação, você pode usar dois sensores de força (dinamômetros). Enquanto um objeto (sua mão) empurra ou puxa outro objeto (mão do seu parceiro), os dinamômetros registrarão aqueles momentos e puxões. Elas serão relacionadas de uma maneira muito simples como prevista pela terceira lei de Newton.

A ação referida na frase acima é a força aplicada por sua mão, e a reação é a força que é aplicada pela mão do seu parceiro. O conjunto é entendido como um par de forças. Esta simples e rápida experiência mostrará como as forças estão relacionadas.



Figura 11: Aplicando o par ação-reação.

### 1. Objetivos

- Calibrar dois sensores-força.
- Observar o relacionamento direcional entre pares da força.
- Observar a variação temporal em pares da força.
- Explicar a terceira lei de Newton numa linguagem simples.

### 2. Materiais

- PC Windows
- Dois dinamômetros Vernier
- Interface Universal Lab
- Logger *Pro*
- Massas de 500 g
- Barbante
- Tira de borracha

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## 3. Questões preliminares

1. Prenda uma tira de borracha entre suas mãos direita e esquerda. Puxe com sua mão esquerda. Sua mão direita experimenta alguma força? Sua mão direita aplica alguma força na tira de borracha? Em que sentido está aquela força comparada à força aplicada pela mão esquerda?
2. Puxe mais fortemente com sua mão esquerda. Isto muda de alguma maneira a força aplicada pela mão direita?
3. Como a força de sua mão esquerda, transmitida pela tira de borracha está relacionada à força aplicada por sua mão direita? Escreva uma regra (enunciado), em palavras, para a relação entre as forças.

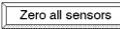
## 4. Procedimento experimental

1. Conecte os dois dinamômetros (*Student Force Sensors* ou *Dual-Range Force Sensors*) ao DIN 1 e DIN 2 da Interface Universal Lab.
2. Se você está usando o *Vernier Dual-Range Force Sensors*, abra o arquivo “Exp 11DR” da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro*. Ajuste a chave de escala no sensor para 50 N. Se você está usando a ponta de prova para a medida da força ULI, abra “Exp 11FP.” Para o dinamômetro do estudante, abra “Exp 11SF.” Um gráfico aparecerá na tela. A linha central vertical terá a força escalada de -20 a 20 N. A linha central horizontal tem o tempo escalado de 0 a 10s.
3. Os dinamômetros medem a força somente ao longo de uma direção; se você aplica uma força ao longo de outra direção, suas medidas não serão contadas.
4. Uma vez que você estará comparando as leituras de dois sensores de força diferentes, é importante que ambos leiam a força exatamente. Ou seja, você precisa calibrá-los. Execute o procedimento de calibração indicado no
5. Apêndice C: Calibração do dinamômetro. Siga as indicações inicialmente para o primeiro sensor.
6. Repita o processo para o segundo dinamômetro com uma exceção importante: em vez de colocar **4.9** no campo Value 2, coloque **- 4.9**. O sinal negativo indica que para o segundo sensor um puxão negativo. Para esta atividade é útil ajustar diferentemente os dois dinamômetros, uma vez que mais tarde você terá os sensores posicionados de modo que uma tração à esquerda gere o mesmo sinal da força em cada sensor.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

7. Você usará os sensores em uma orientação diferente daquela em que foram calibrados. Zere os sensores para resolver este problema. Prenda os sensores horizontalmente sem nenhuma força aplicada, e clique . Clique  para zerar ambos os sensores. Esta etapa faz ambos os sensores lerem exatamente **zero** quando nenhuma força é aplicada.
8. Clique  para fazer uma tomada de valores. Puxe em cada sensor e anote o sinal da leitura. Use isto para estabelecer o sentido positivo para cada sensor.
9. Faça um laço curto com um barbante com uma circunferência de aproximadamente 30 cm. Use-o para unir os ganchos dos sensores. Prenda um sensor em sua mão e mande seu parceiro prender o outro de tal maneira que você possa puxar usando a corda como um intermediário. Seja cuidadoso ao aplicar a força somente ao longo do sentido sensível de seu sensor.
10. Clique  para começar a coletar dados. Delicadamente puxe o dinamômetro do seu parceiro com seu dinamômetro, certificando-se que o gráfico não saia da escala mostrada na tela. Além disso, peça a seu parceiro que puxe o seu sensor. Você terá 10 segundos para tentar trações diferentes. Escolha *Store Latest Run* a partir do menu *Data*.
11. O que aconteceria se você usasse a tira de borracha em vez do barbante? Esboce um gráfico de sua previsão, e repita o passo 8 usando a tira de borracha em vez da corda.

## 5. Análise

1. Examine as duas tomadas de dados. O que pode você concluir sobre as duas forças (sua tração aplicada em seu parceiro e a dele aplicada em você)? Como os valores estão relacionados? Como os sinais estão relacionados?
2. Como a tira de borracha muda os resultados?
3. Quando você e seu parceiro estão puxando os sensores um do outro, seus sensores têm a mesma direção positiva? Que impacto sua resposta tem na análise dos pares da força?
4. Há alguma maneira de puxar o dinamômetro do seu parceiro sem que o dinamômetro dele puxe o seu? Tente fazê-lo.
5. Releia a declaração da terceira lei dada no início desta atividade. O igual e o oposto da frase devem ser interpretados com cuidado, uma vez que para dois vetores

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

serem iguais ( $\vec{A} = \vec{B}$ ) e opostos ( $\vec{A} = -\vec{B}$ ) então nós devemos ter  $\vec{A} = \vec{B} = 0$ ; isto é, ambas as forças são sempre zero. Que é o realmente significa ser *igual e oposto*? Expresse novamente a terceira lei de Newton com suas próprias palavras, sem usar as palavras “ação,” “reação,” ou “igual e oposto.”

## 6. Extensões

1. Prenda um dinamômetro a sua bancada de laboratório e repita as experiências. O banco puxa você como você o puxa? Tem alguma importa se o segundo dinamômetro não esteja segurado por uma pessoa?
2. Use uma haste rígida para conectar seus dinamômetros em vez de uma corda e experimente com os momentos mútuos em vez das trações. Repita as experiências. A haste muda a maneira com que os pares da força são relacionados?

## PRÁTICA 8: ATRITO ESTÁTICO E DINÂMICO

Se você tenta deslizar uma caixa pesada que repouse sobre o assoalho, você pode achar difícil começar a movê-la. O *atrito estático* é a força que está atuando de encontro à caixa. Se você aplica um momento horizontal que não mova a caixa, a força de atrito estático é igualmente pequena e diretamente oposta ao seu momento. Se você empurra mais fortemente, a força de atrito aumenta para igualar-se ao valor de seu momento. Há um limite ao valor do atrito estático, tal que eventualmente você pode aplicar uma força maior do que a força de atrito estático máxima, e a caixa mover-se-á. A força de atrito estático máxima é referida às vezes como *atrito inicial*. Nós modelamos o atrito estático,  $F_{static}$ , com a desigualdade  $F_{static} \leq \mu_s N$  onde  $\mu_s$  é o coeficiente de atrito estático e  $N$  é a força normal exercida por uma superfície no objeto. A força normal é definida como a componente perpendicular d

Uma vez que a caixa começa a deslizar, você deve continuar a exercer uma força para manter o objeto em movimento, ou o atrito acabará parando-o. O atrito que atua na caixa enquanto ela se move é chamado *atrito cinético*. A fim deslizar a caixa com uma velocidade constante, uma força equivalente à força de atrito cinético deve ser aplicada. O atrito cinético é referido às vezes como a *atrito deslizante*. O atrito estático e o cinético dependem das superfícies da caixa e do assoalho, e de como a caixa e o assoalho são pressionados um no outro. Nós modelamos o atrito cinético com  $F_{kinetic} = \mu_k N$ , onde  $\mu_k$  é o coeficiente de atrito cinético.

Nesta prática, você usará um dinamômetro para estudar a atrito estático e o atrito cinético em um bloco de madeira. Um Detector de Movimento será usado em conjunto para analisar a atrito cinético que atua em um bloco deslizante.

### 1. Objetivos

- Usar um dinamômetro para medir a força de atrito estático.
- Determinar a relação entre a força de atrito estático e o peso de um objeto.
- Medir os coeficientes de atrito estático e cinético para um bloco e uma trilha particulares.
- Usar um Detector de Movimento para medir independentemente o coeficiente de atrito cinético e compará-lo com valor previamente medido.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

- Determinar se o coeficiente de atrito cinético depende do peso.

## 2. Materiais

- PC Windows
- Interface Universal Lab
- Logger *Pro*
- Barbante
- *Graphical Analysis* ou papel milimetrado
- Detector de movimento Vernier
- Dinamômetro (dinamômetro) Vernier
- Bloco de madeira com gancho
- Régua
- Conjunto de massas

## 3. Questões preliminares

1. Ao empurrar uma caixa pesada sobre o chão, é a força que você precisa aplicar para começar a mover a caixa maior, menor, ou igual à força necessária para mantê-la em movimento? Em que você baseia sua resposta?
2. O que você acha da relação entre a força de atrito e o peso da caixa? Explique.

## 4. Procedimento experimental

### Parte I: Atrito inicial

1. Meça a massa do bloco e grave-a na tabela de resultados.
2. Conecte o dinamômetro à entrada PORT 1 da Interface Universal Lab.
3. Se você está usando um dinamômetro Dual-Range Vernier, abra o arquivo “Exp 12DR” da pasta *Physics with Computers* do Logger pro. Ajuste o interruptor de escala no dinamômetro para 50 N. Se você está usando a Ponta de Prova de ULI, abra “Exp 12FP.” Para o dinamômetro *Student*, abra “Exp 12SF.” Um gráfico aparecerá na tela. A linha central vertical terá a força escalada 0 a 20 newtons. A horizontal tem o tempo escalado 0 a 5 segundos.
4. Ate uma extremidade de um barbante ao gancho no dinamômetro e a outra extremidade ao gancho no bloco de madeira. Coloque uma massa de 1 quilograma sobre o bloco, seguro com as massas de maneira que não possam se deslocar. Experimente puxar o bloco e as massas com o dinamômetro usando este movimento em linha reta: Puxe lenta e delicadamente na direção horizontal com uma força pequena. Muito gradualmente, tomando um tempo de um segundo completo, aumente a força até que o

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

bloco comece a deslizar, e mantenha então o bloco em movimento a uma velocidade constante por outro segundo.

5. Esboce um gráfico da força contra o tempo para a força que você sentiu em sua mão. Marque a parte do gráfico que corresponde ao bloco em repouso, ao tempo quando o bloco apenas começou a se mover, e ao tempo em que o bloco estava se movendo à uma velocidade constante.

6. Prenda o dinamômetro na posição, pronto para puxar o bloco, mas sem tensão na corda. Clique  sobre na parte superior do gráfico para ajustar o dinamômetro a zero.

7. Clique  para começar a coletar dados. Puxe o bloco como antes, com cuidado em aumentar gradualmente a força. Repita o processo se necessário até que você tenha um gráfico que reflita o movimento desejado, incluindo puxar bloco à velocidade constante uma vez que ele comece a se mover. Imprima ou copie o gráfico para um estudo posterior. Escolha *Stored Latest Run* no menu *Data* para guardar essa medida como **Run 1** para análise posterior.

## Parte II: Atrito estático máximo e atrito cinético

Nesta seção, você medirá a força de atrito de estática máxima e a força de atrito cinético em função da força normal no bloco. Em cada tentativa, você puxará o bloco como antes, mas mudando as massas no bloco; assim, você variará a força normal no bloco. Veja a Figura 12.

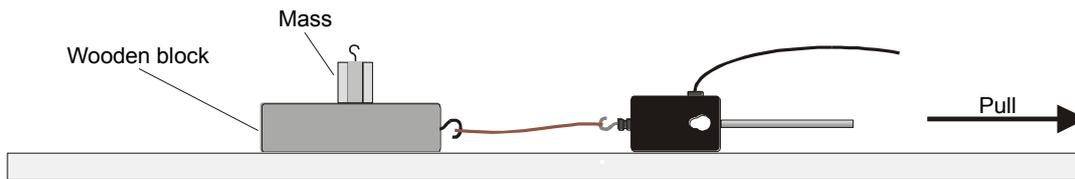


Figura 12: Estudo do atrito.

8. Remova todas as massas do bloco.

9. Clique  para começar a coletar dados e puxar como antes para a coleta de dados da força contra o tempo.

10. Examine os dados clicando a tecla  das estatísticas. O valor máximo da força ocorre quando o bloco começou deslizar. Leia este valor da força máxima da atrito de estática da caixa de flutuação e grave o número em sua tabela dos dados.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

11. Arraste através da região do gráfico que corresponde ao bloco que se move na velocidade constante. Estale sobre as estatísticas abotoam-se outra vez e lêem-se a força média durante o intervalo de tempo. Esta força é o valor da força de atrito cinética.
12. Repita etapas 9-11 para duas mais medidas e calcule a média dos resultados para determinar a confiabilidade de suas medidas. Grave os valores na tabela dos dados.
13. Adicione as massas que totalizam 250 g ao bloco. Repita etapas 9 - 12, gravando valores na tabela dos dados.
14. Repita para massas adicionais valores gravados de G. 500, 750, e 1000 em sua tabela dos dados.

## Parte III: Novamente o atrito cinético

Nesta seção, você medirá o coeficiente de atrito cinética uma segunda maneira e compará-lo-á à medida na parte II. Usando o Detector de Movimento, você pode medir a aceleração do bloco enquanto desliza a um batente. Esta aceleração pode ser determinada da velocidade contra o gráfico do tempo. Ao deslizar, a única força que atua no bloco no sentido horizontal é aquela da atrito. Da massa do bloco e de sua aceleração, você pode encontrar a força de atrito e finalmente, o coeficiente de atrito cinético. Veja a configuração do sistema na Figura 13.



Figura 13: Usando o detector de movimento.

15. Conecte o Detector de Movimento à Interface Universal Lab. Desconecte o dinamômetro. Abra “Exp 12MD” da pasta *Physics with* do Logger pro. Dois gráficos aparecerão na tela. A linha central vertical do gráfico superior terá a distância escalado 0 a 3 m, e o gráfico mais baixo tem a velocidade escalado do  $-2$  a 2 m/s. O horizontal tem o tempo escalado de 0 a 5 s.
16. Coloque o Detector de Movimento sobre a bancada distante 2 a 3 metros do bloco de madeira, segundo as indicações da Figura 13. Posicione o Detector de Movimento de modo que detecte o movimento do bloco à medida que ele desliza em direção ao Detector.
17. Pratique deslizar o bloco para o Detector de Movimento de modo que o bloco e sua mão deslize até o obstáculo. Minimize a rotação do bloco. Depois que deixa sua

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

mão, o bloco deve deslizar aproximadamente 1 m antes que pare e não deve vir mais perto do Detector de Movimento do que 0,4 m.

18. Clique  para começar coletar dados e dar ao bloco um momento de modo que deslize para o Detector de Movimento. O gráfico da velocidade deve ter uma parcela com uma seção linear de diminuição que corresponde ao movimento livremente de deslizamento do bloco. Repetição se necessário.

19. Selecione uma região da velocidade contra o gráfico do tempo que mostra a velocidade de diminuição do bloco. Escolha a seção linear. A inclinação desta seção do gráfico da velocidade é a aceleração. Arraste o rato sobre esta seção e determine a inclinação clicando na tecla *Regression Line*, . Anote o valor da aceleração em sua tabela de resultados.

20. Repita etapas 18 - 19 mais quatro vezes.

21. Coloque as massas que totalizam 500 g no bloco. Prenda as massas de modo que não se movam. Repita as etapas 18 - 19 cinco vezes para o bloco com massas. Anote os resultados da aceleração em sua tabela de resultados.

## 3. Resultados

### Parte I: Atrito inicial

Massa do bloco	kg
----------------	----

### Parte II: Atrito estático máximo e atrito cinético

Massa total (kg)	Força normal (N)	Atrito estático máximo			Atrito estático máximo médio (N)
		Tentativa 1	Tentativa 2	Tentativa 3	

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

Massa total (kg)	Força normal (N)	Atrito cinético			Atrito estático máximo médio (N)
		Tentativa 1	Tentativa 2	Tentativa 3	

## Parte III: Atrito cinético

Bloco sem massa adicional			
Tentativa	Aceleração ( $m/s^2$ )	Força de atrito cinético (N)	$\mu_k$
1			
2			
3			
4			
5			
Coeficiente de atrito cinético médio:			

Bloco com massa adicional de 500 g			
Tentativa	Aceleração ( $m/s^2$ )	Força de atrito cinético (N)	$\mu_k$
1			
2			
3			
4			
5			
Coeficiente de atrito cinético médio:			

## 4. Análise

1. Imprima ou esboce o gráfico da força contra o tempo extraído na Parte I (armazenado como tentativa 1). Selecione a parte do gráfico que corresponde ao bloco em repouso, do instante quando o bloco apenas começou se mover ao tempo em que o bloco se estava movendo a uma velocidade constante.
2. Ainda usando o gráfico da força contra o tempo que você criou na Parte I, compare a força necessária para manter o bloco deslizando (em movimento) com a força

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

necessária começar o deslizamento. Como a sua resposta se compara à sua resposta para Questão 1 na seção Questões Preliminares?

3. O *coeficiente de atrito* é uma constante que relaciona a força normal entre dois objetos (blocos e mesa) e a força de atrito. Baseado em seu gráfico (Tentativa 1) da Parte I, você esperaria que o coeficiente de atrito estático fosse maior, menor, ou igual ao coeficiente de atrito cinético?

4. Para a Parte II, calcule a *força normal* da mesa sobre o bloco sozinho e com cada combinação de massas adicionadas. Uma vez que o bloco está em uma superfície horizontal, a força normal terá o mesmo valor e sentido oposto ao peso do bloco e de todas as massas que ele suporta. Preencha as lacunas referentes à força normal para ambas as tabelas de resultados da Parte II.

5. Trace um gráfico da força de atrito estático máxima (linha central de  $y$ ) contra a força normal (linha central de  $x$ ). Use o programa Graphycal Analises ou papel milimetrado (papel de gráfico).

6. Uma vez que  $F_{\text{estático máximo}} = \mu_s N$ , a inclinação deste gráfico é o coeficiente de atrito estático  $\mu_s$ . Encontre o valor numérico da inclinação, incluindo todas as unidades. Uma linha reta ajustada a estes dados deve passar pela origem?

7. De uma maneira gráfica similar, encontre o coeficiente de atrito cinético  $\mu_k$ . Use um gráfico das médias das forças de atrito cinéticos contra a força normal. Lembre-se que  $F_{\text{cinético}} = \mu_k N$ . Uma linha reta ajustada a estes dados deve passar pela origem?

8. Seus dados da Parte III também permitem que você determine  $\mu_k$ . Desenhe um diagrama do livre-corpo para o bloco deslizando. A força de atrito cinético pode ser determinada a partir da lei da segunda lei de Newton, ou do  $\Sigma F = ma$ . Da massa e da aceleração, encontre a força de atrito para cada experimentação (tentativa), e incorpore-a à tabela dos dados.

9. Da força de atrito, determine o coeficiente de atrito cinético para cada experimentação e incorpore os valores à tabela dos dados. Além disso, calcule um valor médio para o coeficiente de atrito cinético para o bloco e para o bloco com as massas adicionadas.

10. O coeficiente de atrito cinético depende da velocidade? Explique usando seus dados experimentais.

11. A força de atrito cinético depende do peso do bloco? Explique.

12. O coeficiente de atrito cinético depende do peso do bloco?

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

13. Compare seus coeficientes de atrito cinético determinados na Parte III àquele determinado na Parte II. Discuta os valores. Você espera que eles sejam iguais ou diferentes?

## PRÁTICA 9: TRABALHO E ENERGIA

Trabalho é a medida de transferência de energia. Na ausência de atrito, quando trabalho positivo é realizado sobre um objeto, ocorrerá um aumento em sua energia cinética ou potencial. Para realizar trabalho sobre um objeto, é necessário aplicar uma força a favor ou contra a direção do movimento do objeto. Se a força é constante e paralela ao deslocamento do objeto, o trabalho pode ser calculado usando

$$W = F \cdot s,$$

onde  $F$  é a força constante e  $s$  é o deslocamento do objeto. Se a força não for constante, nós ainda podemos calcular o trabalho que usa uma técnica de gráficos. Se nós dividimos o deslocamento total em segmentos curtos,  $\Delta s$ , a força será quase constante durante cada segmento. O trabalho feito durante aquele segmento que usa a expressão prévia pode ser calculado. O trabalho total para o deslocamento global é a soma do trabalho realizado sobre cada segmento individual:

$$W = \sum F(s) \Delta s.$$

Esta soma pode ser determinada graficamente como a área sob o gráfico da força vs. distância. <sup>††</sup>

Estas equações para o trabalho podem ser avaliadas usando o Dinamômetro e o Detector de Movimento facilmente. Em qualquer caso, o teorema do trabalho-energia relaciona o trabalho realizado à mudança de energia como

$$W = \Delta PE + \Delta KE,$$

onde  $W$  é o trabalho realizado,  $\Delta PE$  é a mudança de energia potencial, e  $\Delta KE$  a mudança de energia cinética.

Nesta experiência você investigará a relação entre trabalho, energia potencial, e energia cinética.

---

<sup>††</sup> Se você tem conhecimentos de cálculo, você pode reconhecer essa soma como uma integral

$$W = \int_{s_{\text{inicial}}}^{s_{\text{final}}} F(s) ds.$$

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## 1. Objetivos

- Usar o detector de movimento e o dinamômetro (dinamômetro) para medir a posição e a força em uma massa suspensa, uma mola, e um carrinho.
- Determinar o trabalho realizado sobre um objeto usando o gráfico da força vs. distância.
- Usar o detector de movimento para medir velocidade e calcular a energia cinética.
- Comparar o trabalho realizado sobre um carrinho e sua mudança de energia mecânica.

## 2. Materiais

- PC Windows
- Detector de movimento Vernier
- Sensor-força (dinamômetro)
- Interface Universal Lab
- Logger *Pro*
- Carrinho
- Massas (200 g e 500 g)
- Mola com baixa constante elástica ( $\sim 10$  N/m)
- Fita adesiva
- Cesta para proteção do detector de movimento
- Tira de borracha

## 3. Questões preliminares

1. Levante um livro do chão para a mesa. Você realizou trabalho? Para responder a esta pergunta, considere que você aplicou uma força paralela ao deslocamento do livro.
2. Qual foi a força que agiu sobre o livro que foi levantado? Você poderia levantar o livro com uma força constante? Ignore o começo e o fim do movimento na resposta desta pergunta.
3. Segurando pela extremidade, estique a tira de borracha. Você realizou trabalho sobre a tira de borracha? Para responder a esta pergunta, considere que você aplicou uma força paralela ao deslocamento da extremidade da tira de borracha.
4. A força que você aplica quando você estira a tira de borracha é constante? Se não, em que ponto o alongamento da força é mínimo? Em que ponto a força é máxima?

## 5. Procedimento experimental

### Parte I: Trabalho quando a força é constante

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

Nesta parte você vai medir o trabalho necessário para levantar um objeto com velocidade constante. A força que você aplica equilibrará o peso do objeto, e assim é constante. O trabalho que usa o deslocamento e a força comum pode ser calculado, e também achando a área debaixo do gráfico força vs. distância.

1. Conecte o Detector de Movimento Vernier na PORT 2 e o Dinamômetro Vernier ao DIN 1 (PORT 1 se estiver usando ULI Força Probe) da Interface Universal Lab.

2. Se você estiver usando o Sensor Vernier Força Dual-Range<sup>2</sup>, abra o arquivo "Exp18DRA" na pasta *Physics with Computers* do Logger Pro. Ajuste a chave para 10 N. Se você está usando a ULI Force Probe, abra "Exp18FPA". Para o Estudante Force Sensor, você deve abrir "Exp18SFA". Três gráficos irão aparecer na tela: distância vs. tempo, força vs. tempo e força vs. distância. Serão coletados dados para 5 s.

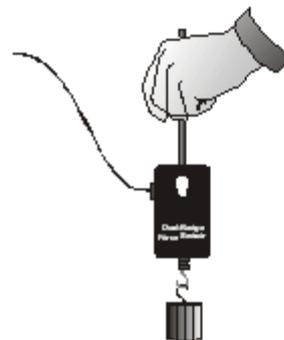


Figura 14: Aplicando uma força vertical constante.

3. Se você estiver usando a ULI Force



Probe, é necessário calibrar o sensor. Outros Sensores de Força podem ser calibrados opcionalmente usando o mesmo procedimento, ou então você pode saltar este passo. Para a calibração dos Sensores de Força (dinamômetro), veja

4. Apêndice C: Calibração do dinamômetro.

5. Mantenha o dinamômetro com o gancho apontando para baixo, mas com nenhuma massa presa a ele. Clique  e então  para zerar o Sensor-Força

6. Prenda uma massa de 200 g no dinamômetro.

7. Coloque o detector de movimento no chão, mas distante das pernas da mesa ou outros obstáculos que possa gerar interferências. Ponha a cesta protetora, se houver, conforme a Figura 14.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

8. Mantenha o dinamômetro e a massa cerca de espere aproximadamente 1,0 s após o começo dos estalos no detector de movimento, e então lentamente erga o sensor-força e a massa aproximadamente 0,5 m em linha reta para cima. Finalmente, mantenha o dinamômetro e a massa até que a coleta de dados pare após 5 s.
9. Examine os gráficos da distância *vs.* tempo e da força *vs.* tempo clicando no botão *Examine*, , e identifique quando o peso parou de se mover para cima com velocidade constante. Anote o instante da partida e a altura correspondente na tabela de resultados.
10. Examine os gráficos da distância *vs.* tempo e da força *vs.* tempo e identifique quando o peso parou de se mover para cima. Anote o instante da partida e a altura correspondente na tabela de resultados.
11. Determine a força média exercida enquanto você estava erguendo a massa. Faça isto selecionando a parte do gráfico da força *vs.* tempo que corresponde ao tempo você estava erguendo (recorra ao gráfico da posição para determinar este intervalo de tempo). Não inclua os períodos curtos quando o movimento para cima estava começando ou parando. Clique no botão *Estatistics*, , para calcular a força média. Anote o valor em sua tabela de dados.
12. No gráfico da força *vs.* distância selecione a região que corresponde ao movimento ascendente do peso. (Clique e segure o botão do *mouse* na posição inicial, então arraste o *mouse* à posição de parada e solte o botão.) Clique o botão *Integrate*, , para determinar a área sob a curva do gráfico da força *vs.* a distância durante o levantamento da massa. Anote o valor em sua tabela de dados.
13. Imprima os gráficos (se possível).

## Parte II: Trabalho realizado por uma mola

Na parte II você medirá o trabalho necessário para estirar uma mola. Ao contrário do trabalho necessário para erguer uma massa, o trabalho feito estirando uma mola não é constante. No entanto, o trabalho pode ainda ser calculado usando a área sob o gráfico da força *vs.* distância.

13. Se você estiver usando um Dinamômetro Dual Range Vernier, abra o arquivo “Exp18DRB” da pasta *Physics with Computers* do Logger Pro. Ajuste o interruptor para 10 N. Se você está usando a ULI Force Probe, abra “Exp18FPB”. Para o Dinamômetro

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

Student Force Sensor, abra “Exp18SFB”. Três gráficos aparecerão na tela: distância vs. tempo, força vs. tempo, força vs. distância. Os dados serão coletados durante 5 segundos.

14. Prenda uma extremidade da mola a um apoio rígido. Prenda o gancho do dinamômetro à outra extremidade. Apóie o dinamômetro na mesa com a mola estendida, mas relaxada, de forma que nenhuma força seja aplicada ao Dinamômetro.

15. Coloque o detector de movimento cerca de um metro do Dinamômetro, ao longo da linha da mola. Certifique-se de que não há nenhum objeto perto para interferir na medida de distância, conforme a Figura 15.

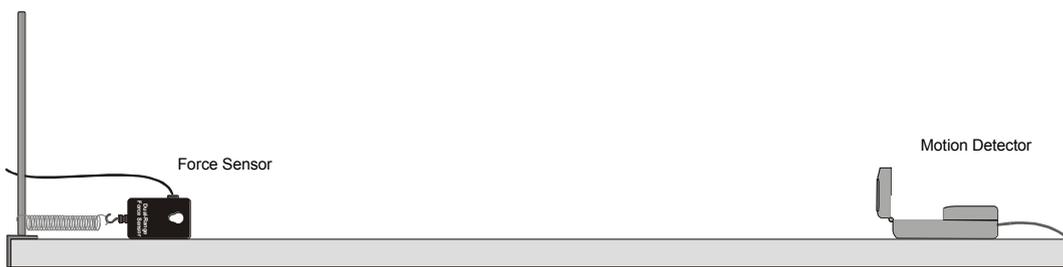


Figura 15: Aparência da montagem experimental para o estudo do Trabalho-energia usando a força elástica.

16. Usando fita adesiva colorida, marque a posição de uma extremidade do dinamômetro na mesa. O ponto de partida é quando a mola estiver em um estado relaxado. Mantenha a extremidade do Dinamômetro que está mais próximo do Detector de Movimento como mostrado na Figura 16. O Detector de Movimento medirá a posição da sua mão, não a do Dinamômetro. Com o resto de seu braço fora do caminho do Detector de Movimento, clique . Na caixa de diálogo que se aparece, clique . O Logger Pro usará agora um sistema de coordenadas que é positivo para o Detector de Movimento com a origem no Dinamômetro.

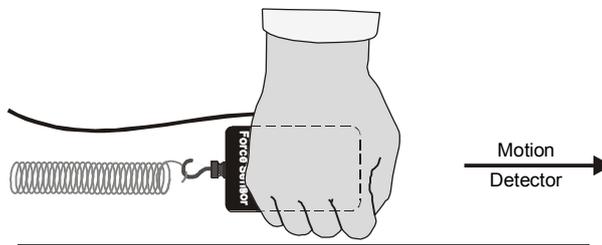


Figura 16: Aplicação da força elástica.

17. Clique  para começar a coleta de dados. Dentro dos limites da mola, mova o Dinamômetro e lentamente estire a mola aproximadamente 50 cm durante vários segundos. Mantenha seguro o Dinamômetro até que a coleta de dados cesse. Não se aproxime mais que 40 cm do Detector de Movimento.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

18. Examine os gráficos força vs. distância e força vs. tempo e clique no botão

Examine, . Identifique o instante no qual você começou a puxar a mola. Anote o instante e a posição da partida na tabela de dados.

19. Examine os gráficos distância vs. tempo e força vs. tempo e identifique o momento em que você deixou de puxar a mola. Anote o momento e a posição da parada na tabela de dados.

20. Clique no gráfico da força vs. distância, então clique o botão Regression Line,

, para determinar a inclinação do gráfico da força vs. distância. A inclinação é a constante da mola,  $k$ . Anote a inclinação na tabela de dados.

21. A área sob o gráfico da força vs. distância é o trabalho realizado para estirar a mola. Como o trabalho depende da intensidade do estiramento? No gráfico da força vs. distância, selecione a região que corresponde aos primeiros 10 cm de estiramento da mola. (Clique e segure o botão do mouse na posição inicial, então arraste o mouse até 10 cm e solte o botão.) Clique no botão *Integrate*, , para determinar a área sob a curva da força vs. distância durante o estiramento. Anote esta área na tabela de dados.

22. Agora selecione a parte do gráfico que corresponde aos primeiros 20 cm de estiramento (duas vezes o estiramento). Ache o trabalho realizado para estirar a mola 20 cm. Anote o valor na tabela de dados.

23. Selecione a parte do gráfico que corresponde o máximo estiramento que você alcançou. Ache o trabalho realizado para estirar a mola até esta posição. Anote o valor na tabela de dados.

24. Caso seja possível, imprima os gráficos.

## Parte III: Trabalho realizado para acelerar um carrinho

Na parte III, você empurrará um carrinho com o Dinamômetro, causando aceleração do carro. O Detector de Movimento lhe permite medir as velocidades iniciais e finais; junto com o Dinamômetro, você pode medir o trabalho que você faz no carro para acelerá-lo.

25. Se você estiver usando o Dinamômetro Vernier Dual Range, abra o arquivo “Exp18DRC” da pasta *Physics with Computers* do Logger Pro. Ajuste o interruptor para a posição 10 N. Se você está usando a ULI Force Probe, abra “Exp18FPC”. Para o

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

Student Force Sensor, abra “Exp18SFC”. Três gráficos aparecerão na tela: distância *vs.* tempo, força *vs.* tempo, força *vs.* distância. Serão coletados dados durante 5 segundos.

26. Remova a mola e o suporte. Determine a massa do carro. Anote na tabela de dados.

27. Coloque o carro em repouso aproximadamente 1,5 m do Detector de Movimento, pronto para rolar em direção ao detector.

28. Clique . Na caixa de diálogo que aparece, clique . Agora o Logger Pro usará um sistema de coordenadas que é positivo para o Detector de Movimento com a origem no carro.

29. Prepare para empurrar o carro suavemente em direção ao Detector de Movimento usando o Dinamômetro. Segure o Dinamômetro de tal maneira que a força que se aplica ao carro é paralela ao eixo sensível do Dinamômetro.

30. Clique  para começar a coleta de dados. Quando você ouvir o Detector de Movimento começar a estalar, suavemente empurre o carro para o Detector de Movimento usando somente o gancho do Dinamômetro. O empurrão deverá durar por volta de meio segundo. Deixe o carro rolar para o Detector de Movimento, mas pegue antes de golpear o detector.

31. Examine os gráficos da distância *vs.* tempo e da força *vs.* tempo clicando o botão *Examine*, . Identifique quando você começou a empurrar o carro. Anote o instante e a posição na tabela de dados.

32. Examine os gráficos da distância *vs.* tempo e da força *vs.* tempo e identifique quando você deixou de empurrar o carro. Anote o instante e a posição na tabela de dados.

33. Determine a velocidade do carro depois do empurrão. Use a inclinação do gráfico da distância *vs.* tempo que deve ser uma linha reta depois que o empurrão estiver completo. Anote a inclinação na tabela de dados.

34. Do gráfico da força *vs.* distancia, determine o trabalho que você realizou para acelerar o carro. Para fazer isto, selecione a região que corresponde ao empurrão (mas somente essa região). Clique no botão *Integrate*, , para medir a área sob a curva. Anote o valor na tabela de dados.

35. Imprima os gráficos (opcional).

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

## 6. Resultados

Parte I

	Tempo (s)	Posição (m)
Começo do movimento		
Fim do movimento		

Força média (N)	
Trabalho realizado (J)	
Integral (durante a inclinação): força vs. distância (N•m)	
$\Delta PE$ (J)	

Parte II

	Tempo (s)	Posição (m)
Começo do movimento		
Fim do movimento		

Constante elástica da mola (N/m)	
----------------------------------	--

	Estiramento		
	10 cm	20 cm	Máximo
Integral (durante o empurrão) (N•m)			
$\Delta PE$ (J)			

Parte III

	Tempo (s)	Posição (m)
Começo do movimento		
Fim do movimento		

Massa (kg)	
Velocidade final (m/s)	
Integral – durante o empurrão (N•m)	
$\Delta KE$ do carro (J)	

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## 7. Análise

1. Na Parte I, o trabalho você realizou no levantamento da massa não alterou sua energia cinética. O trabalho teve então que mudar a energia potencial da massa. Calcule o aumento da energia potencial gravitacional usando a equação abaixo. Compare este valor ao trabalho médio para a Parte I, e a área sob o gráfico da força *vs.* distancia:

$$\Delta PE = mg\Delta h,$$

onde  $\Delta h$  é a distância que a massa foi levantada. Anote seus valores na tabela de dados. O trabalho realizado sobre a massa corresponde à mudança da energia potencial gravitacional? Deveria corresponder?

2. Na Parte II, você realizou trabalho para estirar a mola. O gráfico da força *vs.* distância depende particularmente da mola que você usou, mas para a maioria das molas ele será em linha reta. Isto corresponde à lei de Hooke, ou  $F = -kx$ , onde  $F$  é a força aplicada pela mola quando ela é esticada a uma distância  $x$ .  $k$  é a constante elástica da mola, medida em N/m. Qual é a constante elástica da mola? Para o seu gráfico, a mola segue a lei de Hooke? Você acha que a lei de Hooke deveria ser sempre seguida, não importando quão longo seja o estiramento da mola? Por que a inclinação do seu gráfico é positiva, enquanto que a lei de Hooke tem um sinal negativo?

3. A energia potencial elástica armazenada por uma mola é determinada por  $\Delta PE = \frac{1}{2} kx^2$ , onde  $x$  é a distância. Compare o trabalho que você mediu relativo ao estiramento da mola para 10 cm, 20 cm, e para um estiramento máximo para a energia potencial armazenada prevista pela expressão. Eles deveriam ser semelhantes? **Nota:** Use unidades consistentes. Anote seus valores na tabela de dados.

4. Na Parte III, você trabalhou para acelerar o carro. Neste caso o trabalho foi mudando a energia cinética. Suponha que nenhuma mola esteja envolvida e que o carro move-se ao longo de uma superfície plana, e que não há mudança na energia potencial. Como o trabalho que você realizou compara-se com a mudança na energia cinética? Aqui, suponha que a velocidade inicial é zero,  $KE = \frac{1}{2} mv^2$ , onde  $m$  é a massa total do carro para qualquer peso adicionado, e  $v$  é a velocidade final. Anote seus valores na tabela de dados.

## 5. Extensões

1. Mostre que um N·m é igual a um J.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

2. Comece com uma mola estirada e deixe a mola atuar sobre o carro acelerando-o para o ponto fixo. Use o Detector de Movimento para determinar a velocidade do carro quando a mola alcançar a posição relaxada. Calcule a energia cinética do carro neste momento e compare ao trabalho medido na Parte II. Discuta os resultados.
3. Repita a Parte I, mas varie a velocidade de sua mão à medida que você erguer a massa. O gráfico da força vs. tempo deveria ser irregular. O gráfico da força vs. distancia irá mudar? Ou continuará correspondendo a  $mg\Delta h$ ?
4. Repita a Parte III, mas comece movendo o carro para longe do Detector de Movimento. Empurrando apenas na extremidade do Dinamômetro, suavemente pare o carro e faça-o voltar para o Detector. Compare o trabalho realizado no carro à mudança na energia cinética, levando em conta a velocidade inicial do carro.

## PRÁTICA 10: MOMENTO, ENERGIA E COLISÕES

A colisão de dois carros em um trilho pode ser descrita nos termos da conservação do momento e, em alguns casos, da conservação de energia. Se não há nenhuma força resultante externa experimentada pelo sistema de dois carros, então nós esperamos que o momento total do sistema seja conservado. Isto é verdade a menos que a força atue entre os carros. Ao contrário, a energia é somente conservada quando determinados tipos de forças são exercidos entre os carros.

As colisões são classificadas como *elástica* (a energia cinética é conservada), *inelástica* (energia cinética é perdida) ou *completamente inelástica* (os objetos permanecem juntos após a colisão). Às vezes as colisões são descritas como *super-elásticas*, se a energia cinética é aumentada. Nesta prática você pode observar a maioria destes tipos de colisões e testar a conservação do momento e da energia em cada caso.

### 1. Objetivos

- Observar colisões entre dois carros, testando a conservação do momento.
- Medir mudanças na energia durante diferentes tipos de colisões.
- Classificar colisões como elásticas, inelásticas ou completamente inelásticas.

### 2. Materiais

- PC Windows
- Dois Detectores de Movimentos
- Interface Universal Lab II (version 1.2) ou mais novo
- Logger *Pro*
- Carrinhos deslizantes
- Dois carrinhos deslizantes sem atrito com ganchos magnéticos ou Velcro

### 3. Questões preliminares

1. Considere uma colisão frontal entre duas bolas de bilhar. Uma está inicialmente em repouso e a outra se move em relação à primeira. Esboce um gráfico da posição contra o tempo para cada esfera, começando com tempo antes da colisão e terminando 1 s após a colisão.
2. O momento é conservado nesta colisão? A energia cinética é conservada?

# Física Experimental 1

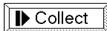
Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## 4. Procedimento

1. Meça as massas de seus carros e anote-os em sua tabela de resultados. Etiquete os carros como o **carro 1** e **carro 2**.
2. Ajuste o trilho de modo a ficar na posição horizontal. Teste isto liberando um carro no trilho a partir do repouso. O carro não deve mover-se.
3. Pratique provocando colisões leves colocando o carro 2 em repouso no meio do trilho, e libere o carro 1 de modo que o primeiro carro incida o amortecedor magnético contra o amortecedor magnético do primeiro. Os carros devem suavemente repelir um ao outro sem se tocar fisicamente.
4. Coloque um Detector de Movimento em cada extremidade do trilho, permitindo uma distância mínima de 0,4 m entre o Detector e o carro. Conecte os detectores à PORT 1 e PORT 2 da Interface Universal Lab.
5. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo o arquivo “Exp 19” da pasta *Physics with Computers* do Logger Pro. O Logger pro estará ajustado para a coleta de dados a partir dos dois Detectores de Movimento, traçando gráficos da distância vs. o tempo e da velocidade vs. o tempo.
6. Clique  para começar a coleta de dados. Repita a colisão que você praticou acima e use os gráficos da posição para verificar que o Detector de Movimentos pode seguir cada carro corretamente durante toda duração do movimento. Você pode precisar ajustar a posição de um ou ambos os Detectores de Movimentos.
7. Coloque os dois carros em repouso no meio do trilho, com seus amortecedores de Velcro um contra o outro e em contato. Mantenha suas mãos livres dos caminhos dos carros e clique . Clique em *All Sensors* para zerar ambos os Detectores de Movimento. Este procedimento estabelecerá o mesmo sistema de coordenadas para ambos os Detectores de Movimento. Verifique que a fixação no ponto zero foi bem sucedida clicando  e permitindo que os carros ainda ligados rolem lentamente pelo trilho. Os gráficos para cada Detector de Movimento devem ser quase os mesmos. Se não, repita o processo de fixação no ponto zero.

### Parte I: Amortecedores magnéticos

8. Reposicione os carros de modo que os amortecedores magnéticos fiquem um frente ao outro. Clique  para começar a tomada de dados e repita a colisão que

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

you practiced in step 3. Certify that you keep your hands out of the reach of the Motion Detectors after you push the car.

9. From the velocity graphs you can determine an average velocity before and after the collision for each car. To measure the average velocity during an interval of time, drag the cursor through the appropriate interval. Click the *Statistics*



to read the average value. To clear the statistics box, click the box in the top right corner. Measure the average velocity for each car, before and after the collision, and incorporate the four values into the data table.

10. Repeat step 9 as a second measurement with the magnetic dampers, recording the velocities in the data table.

## Parte II: Amortecedores de Velcro

11. Change the collision by turning the cars so that the Velcro dampers are facing each other. The cars should stay together after the collision. Practice making a new collision, starting another time with car 2 at rest.

12. Click the  to start data collection and repeat a new collision. Using the procedure in step 9, measure and record the velocities of the car in your data table.

13. Repeat the previous step as a second measurement with the Velcro dampers.

## Parte III: Do Velcro aos amortecedores magnéticos

14. Position a car with a Velcro damper in front of the other car with a magnetic damper. The cars will not stick together, but they will not separate abruptly. Practice this collision, starting another time with car 2 at rest.

15. Click the  to start data collection and repeat a new collision. Using the procedure in step 9, measure and record the velocities of the car in your data table.

16. Repeat the previous step as a second measurement with the Velcro damper in front of the magnetic dampers.

## 5. Resultados

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

Massa do carro 1 (kg)	Massa do carro 2 (kg)
-----------------------	-----------------------

Medida	Velocidade do carro 1 antes da colisão (m/s)	Velocidade do carro 2 antes da colisão (m/s)	Velocidade do carro 1 após a colisão (m/s)	Velocidade do carro 2 após a colisão (m/s)
1		0		
2		0		
3		0		
4		0		
5		0		
6		0		

Medida	Momento do carro 1 antes da colisão (kg·m/s)	Momento do carro 2 antes da colisão (kg·m/s)	Momento do carro 1 depois da colisão (kg·m/s)	Momento do carro 2 depois da colisão (kg·m/s)	Momento total antes da colisão (kg·m/s)	Momento total depois da colisão (kg·m/s)	Razão do momento total —————
1		0					
2		0					
3		0					
4		0					
5		0					
6		0					

Medida	KE do carro 1 antes da colisão (J)	KE do carro 2 antes da colisão (J)	KE do carro 1 depois da colisão (J)	KE do carro 2 depois da colisão (J)	KE total antes da colisão (J)	KE total após a colisão (J)	Razão de KE total —————
1		0					
2		0					
3		0					
4		0					
5		0					
6		0					

## 6. Análise

- Determine o momento ( $mv$ ) de cada carro antes da colisão, após a colisão, e o momento total antes e depois da colisão. Calcule a relação do momento total após a

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

colisão com o momento total antes da colisão. Incorpore os valores a sua tabela dos dados.

2. Determine a energia cinética ( $\frac{1}{2} mv^2$ ) para cada carro antes e depois da colisão. Calcule a relação da energia cinética total após a colisão e a energia cinética total antes da colisão. Incorpore os valores a sua tabela dos dados.

3. Se o momento total para um sistema é o mesmo antes e depois da colisão, nós dizemos que o momento é *conservado*. Se o momento foi conservado, qual seria a relação do momento total após a colisão com momento total antes da colisão?

4. Se a energia cinética total para um sistema é o mesmo antes e depois da colisão, nós dizemos que a energia cinética é *conservada*. Se a energia cinética foi conservada, o que seria a razão entre a energia cinética total após a colisão e a energia cinética total antes da colisão?

5. Para suas seis medidas, inspecione as razões do momento. Mesmo se o momento é conservado para uma dada colisão, os valores medidos não podem ser exatamente os mesmos antes e depois devido à incerteza de medida. No entanto, a razão deve ser próxima a um. O momento é conservado em suas colisões?

6. Repita a pergunta precedente para o caso da energia cinética. A energia cinética é conservada nas colisões com amortecedores magnéticos? E com os amortecedores de Velcro? A energia cinética é consumida no terceiro tipo de colisão? Classifique os três tipos de colisão como elásticos, inelásticos, ou completamente inelástico.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## Apêndices

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## Apêndice A: Expressando valores de amostragem

Em situações nas quais vários valores são tomados numa medida, é conveniente expressar o valor final como a média aritmética dos vários valores medidos. Assim, se são medidos os valores  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , então o valor medido deve ser

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Além disso, se várias medidas são realizadas, deve-se ainda expressar o desvio de cada valor medido  $x_i$  em relação ao valor médio  $\bar{x}$ . Esse desvio é calculado como segue. Toma-se o desvio  $\delta x_i$  para cada valor medido  $x_i$  em relação ao valor médio  $\bar{x}$ , ou seja,  $\delta x_i = x_i - \bar{x}$ , e em seguida calcula-se a média aritmética dos desvios:

$$\bar{\delta x} = \frac{\delta x_1 + \delta x_2 + \delta x_3 + \dots + \delta x_n}{n}$$

Por fim, o valor a ser apresentado como resultado da medida é

**Exemplo1:** Por exemplo, os seguintes valores são obtidos para a velocidade máxima em km/h alcançada por um carro de corrida numa volta completa do circuito de competição:

$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$
235	254	236	248	235	243

Assim, o valor médio é:

$$\bar{v} = \frac{235 + 254 + 236 + 248 + 235 + 243}{6} \text{ km/h}$$

E o desvio para cada medida é:

$$\delta v_1 = 235,00 - 241,83 = - 6,83$$

$$\delta v_2 = 254,00 - 241,83 = 12,17$$

$$\delta v_3 = 236,00 - 241,83 = - 5,83$$

$$\delta v_4 = 248,00 - 241,83 = 6,17$$

$$\delta v_5 = 235,00 - 241,83 = - 6,83$$

$$\delta v_6 = 243,00 - 241,83 = 1,17$$

Portanto,

$$\bar{v} = \frac{235 + 254 + 236 + 248 + 235 + 243}{6} \text{ km/h}$$

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

Enfim, o valor da velocidade média alcançada é

$$v_{\max} = (241,830 \pm 0,003) \text{ km/h}$$

O valor expresso indica que o valor da velocidade média está entre 241,833 km/h e 241,827 km/h.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## Apêndice B: Cálculo do erro percentual

O erro percentual  $Er\%$  dá uma precisão do resultado da medida através da diferença entre o valor esperado, também chamado valor teórico,  $X_{\text{teórico}}$ , e o valor medido, também chamado valor experimental,  $X_{\text{exp}}$ . Ele é definido como segue:

\_\_\_\_\_

O valor encontrado dá então a proximidade ou discrepância entre o valor esperado ou previsto pela teoria e o valor encontrado a partir do experimento.

Valores aceitáveis são aqueles até 10%. Além disso, considera-se que o experimento foi realizado de maneira mal sucedida ou com pouco zelo.

**Exemplo 2:** Como exemplo, suponhamos que a velocidade máxima fornecida pela equipe do piloto do exemplo anterior fosse de 248,00 km/h. Portanto, a discrepância entre o valor nominal e o valor verificado é:

\_\_\_\_\_

Assim, o valor verificado é perfeitamente aceitável.

Vale lembrar que as informações contidas neste texto são apenas orientações simplificadas, sem o rigor que concerne a completa Teoria Estatística. O objetivo é auxiliar na confecção dos relatórios. Textos mais rigorosos podem ser encontrados na literatura.<sup>1</sup>

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## Apêndice C: Calibração do dinamômetro

O procedimento de calibração do sensor-força (dinamômetro) deve ser realizado sempre que for solicitado durante a prática. O procedimento de calibração é o que segue:

1. Escolha *Calibrate* a partir do menu *Experiment*. Clique no ícone PORT 1 (DIN 1 de maneira que ele fique aceso. Clique .
2. Remova toda e qualquer força do sensor. Digite **0** (zero) no campo *Value 1*. Mantenha o sensor verticalmente com o gancho apontando para e aguarde a leitura mostrada no *Input 1* estabilizar. Clique . Isto define a condição de força zero.
3. Prenda uma massa de 500 g no dinamômetro. Isto aplica uma força de 4,9 N. digite **4.9** no campo *Value 2*, e apos a leitura mostrada no *Input 1* ficar estável, clique . Clique  para encerrar a caixa de calibração.

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## Apêndice D: Calibração do acelerômetro

O procedimento de calibração do acelerômetro deve ser realizado sempre que for solicitado durante a prática. O procedimento de calibração é o que segue:

Clique no ícone *Acceleration* que aparece no DIN 2.

- Clique no botão .
- Aponte a seta do acelerômetro para baixo. (É importante que o sensor esteja na vertical e em absoluto repouso.)
- Digite **-9.8** no *Value 1* da caixa de edição.
- Quando a voltagem mostrada em *Input 1* estabilizar, clique .
- Aponte o acelerômetro com a seta para cima.
- Digite **9.8** no *Value 2* da caixa de edição.
- Quando a voltagem mostrada em *Input 2* estabilizar, clique , e então clique .

# Física Experimental 1

Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

---

## Referências

---

<sup>1</sup> Otaviano A. M. Helene; Vito R. Vanin; TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1981.