

Experimentos de Física com o Gravador do PC

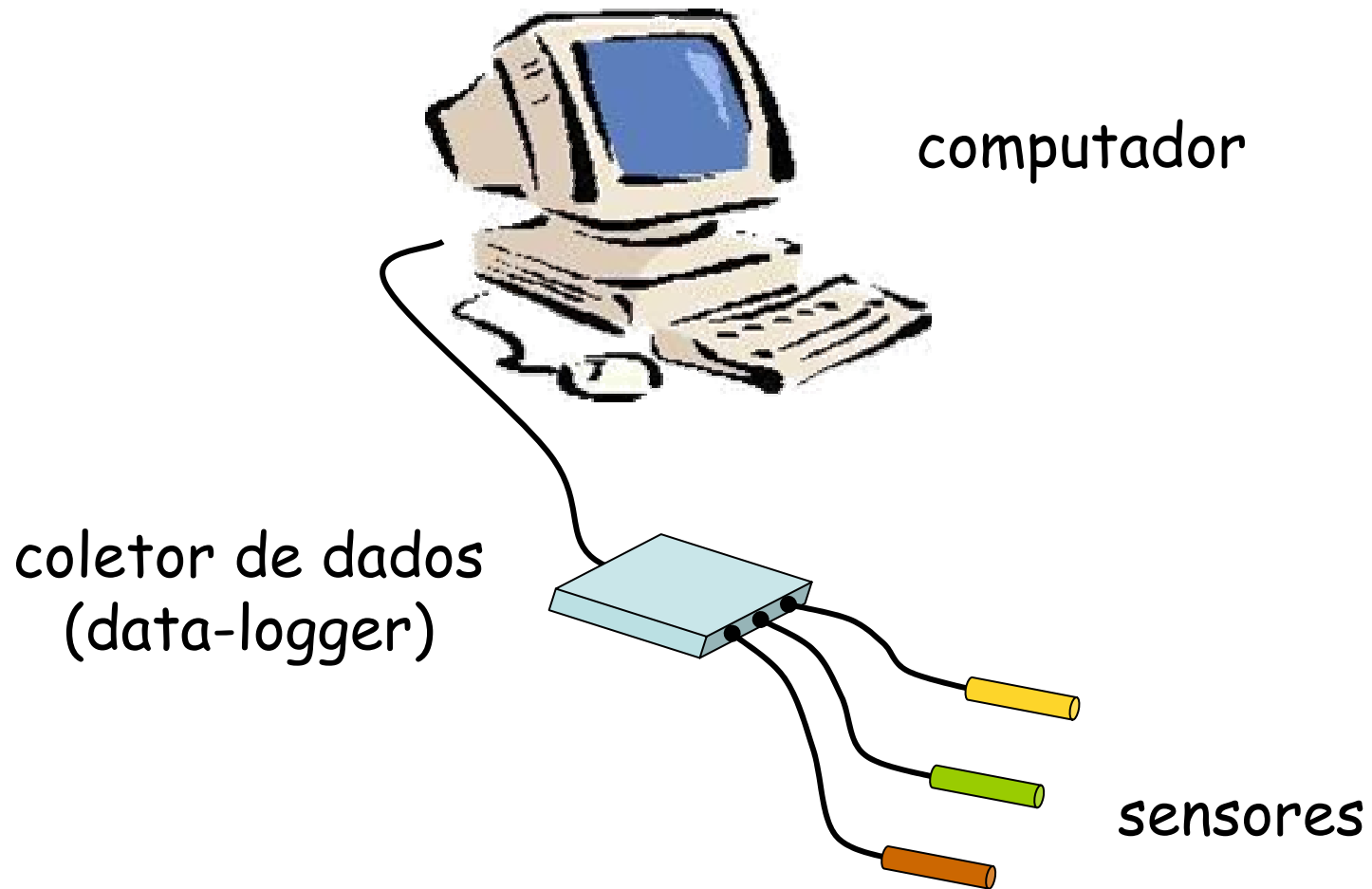
Carlos Eduardo Aguiar

Instituto de Física
Universidade Federal do Rio de Janeiro

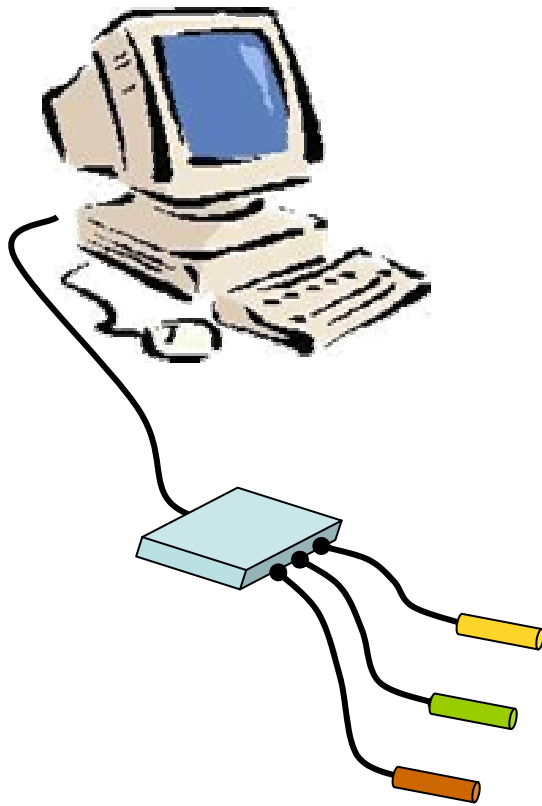
Resumo

- O computador no laboratório didático
- Gravação e análise de sons no PC
- Alguns experimentos usando áudio digital
 - ✓ Velocidade de uma bola de futebol
 - ✓ Velocidade do som
 - ✓ Queda livre
 - ✓ Coeficiente de restituição
 - ✓ Reverberação
- Comentários finais

O computador no laboratório didático



O computador no laboratório didático



- Instrumento muito versátil.
- Ótimo para medidas envolvendo:
 - tempos muito longos;
 - tempos muito curtos;
 - grandes quantidades de dados.
- Torna mais simples fazer:
 - análises gráficas;
 - análises estatísticas;
 - modelagem matemática.

Data-loggers e sensores

- Normalmente encontrados na forma de *kits* comerciais: pacotes com o *data-logger*, sensores e programa de aquisição de dados.
- Fabricantes: Vernier, Pasco, Picotech, Phywe, ...
- Dispendiosos para a típica escola brasileira.

Alternativas?

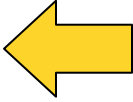
Alternativa 1: Construir seu próprio sistema de aquisição de dados

Envolve:

- Encontrar sensores apropriados.
- Montar um conversor analógico-digital.
- Escrever um programa de aquisição de dados.

Meio complicado...

Alternativa 2: Aproveitar as interfaces já existentes no computador

- *Joystick*
- *Mouse*
- *Webcam* (ou câmeras digitais)
- Microfone (ou gravadores digitais) 
- ...

Microfone e Placa de Som



microfone:
“sensor”



placa de som:
“data-logger”

Microfone e Placa de Som

Para que servem?

- Experimentos envolvendo som (óbvio).
- Cronômetro capaz de medir fração de milisegundo.

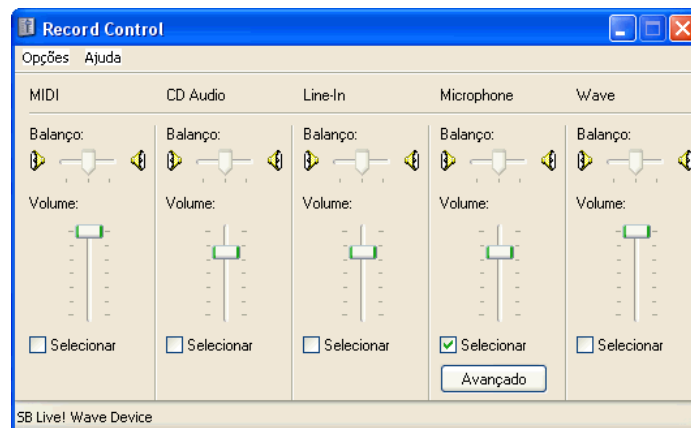
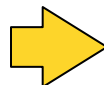
Gravadores digitais



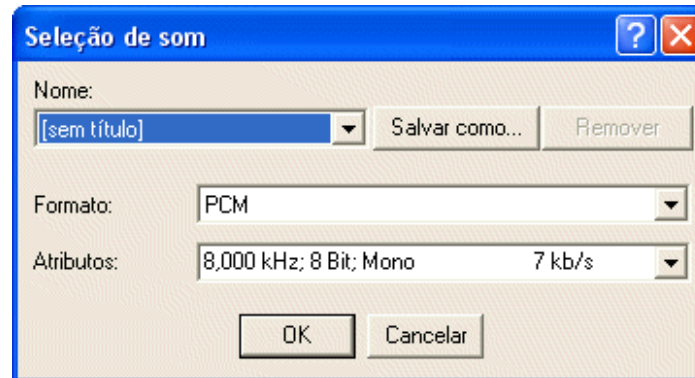
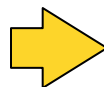
- Sensor e *data-logger* no mesmo instrumento.
- Mais portátil e prático que o computador.
- Gravações são facilmente transferidas para o PC.
- Muitos alunos possuem um (como *MP3 player*).

Gravação de som no PC / Windows

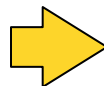
Mixer: determina as entradas do sinal de áudio (microfone, line-in, ...)



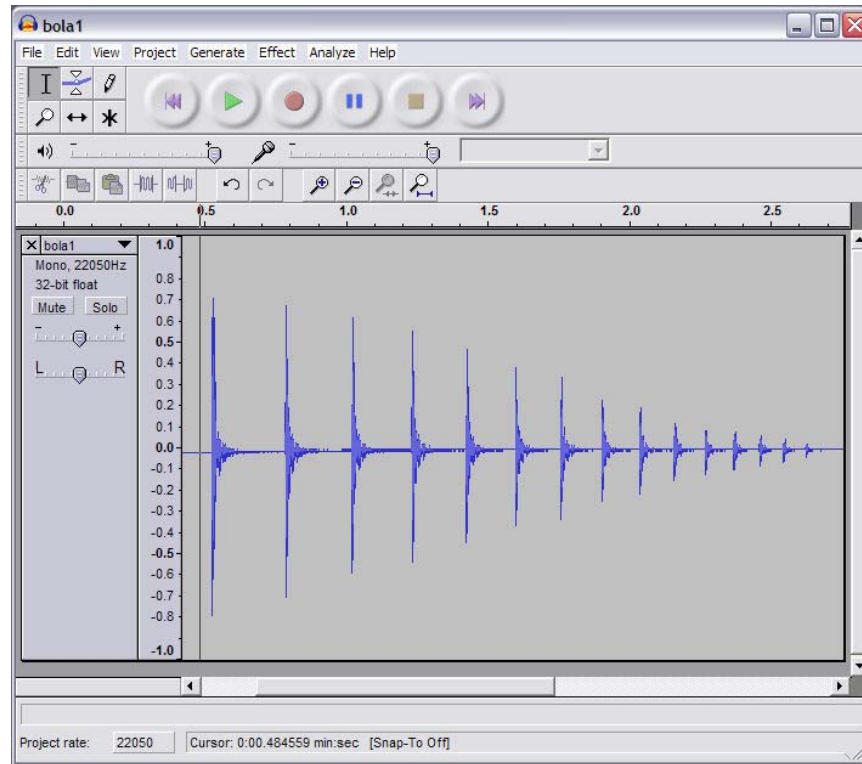
Propriedades da digitalização: formato (tipo de compressão), taxa de amostragem, resolução, canais (mono/estéreo)



Gravador: digitaliza e salva em arquivo o sinal de áudio.



Análise dos arquivos de áudio

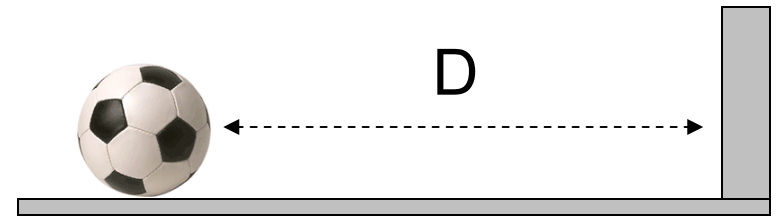


Audacity

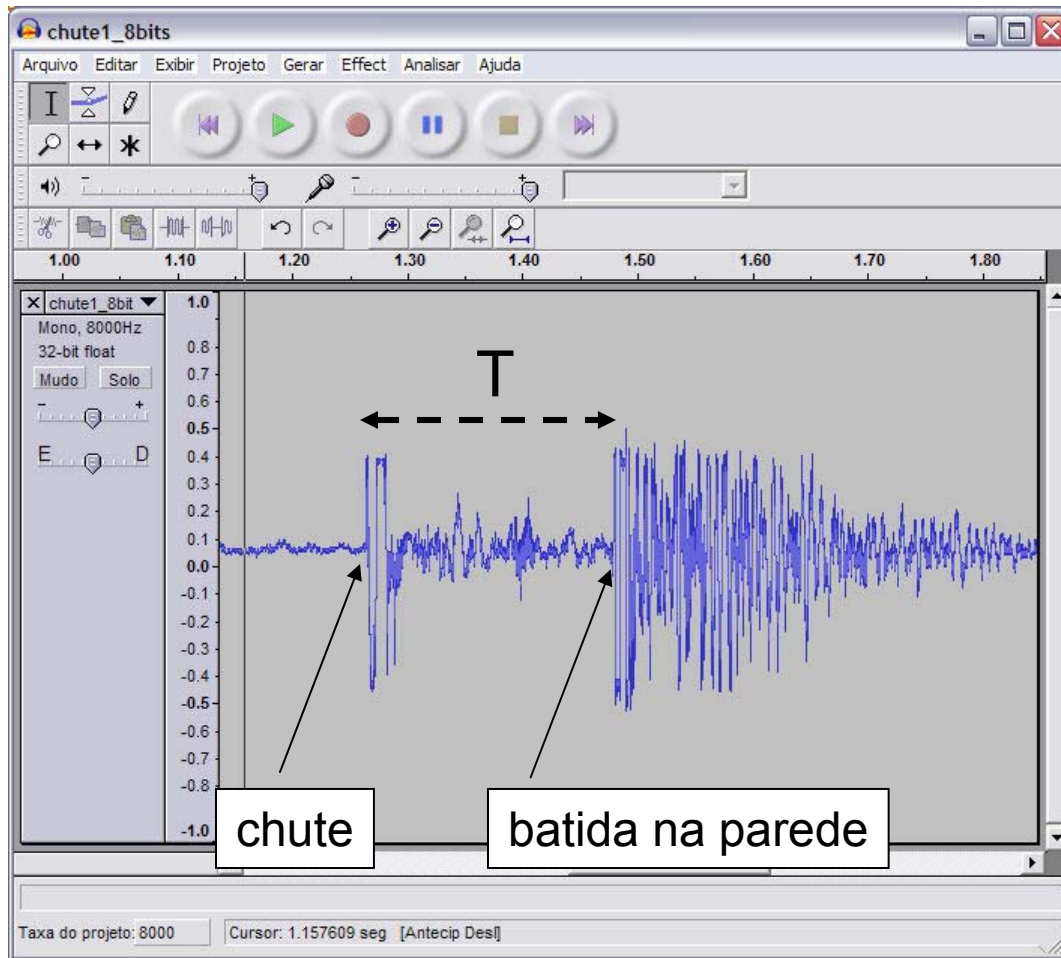
- Outros editores de áudio: *Goldwave*, *CoolEdit*, ...
- Podem ser usados para fazer a gravação.

Alguns experimentos de Física baseados em gravações digitais

Com que velocidade você chutou a bola?



Com que velocidade você chutou a bola?



Elisa (14 anos)

- $T = 0,214$ s
- $D = 2,5$ m



velocidade da bola

$$\begin{aligned} V &= D / T \\ &= 12 \text{ m/s} \\ &= 42 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Num CIEP carioca

Aquisição de dados



Análise dos dados



alguns
resultados

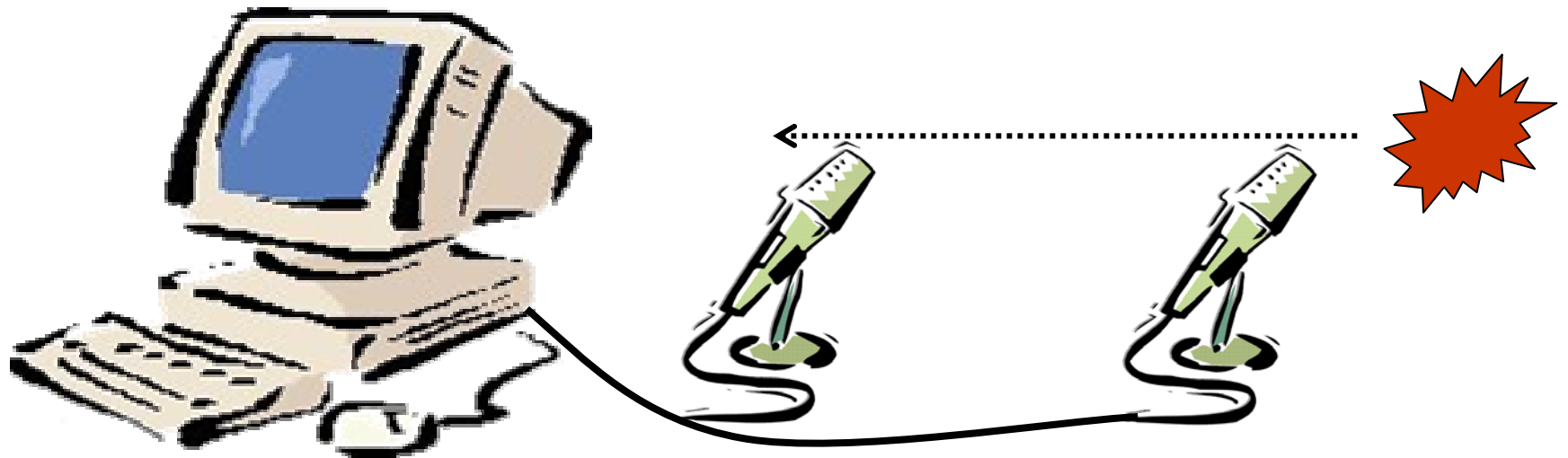
Nome	Distância (m)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)
Kátia	3	0,138	21,7	78
Jusinéia	4	0,301	13,3	48
Carlos	3	0,229	13,1	47
Josué	3	0,318	9,4	34

Comentários

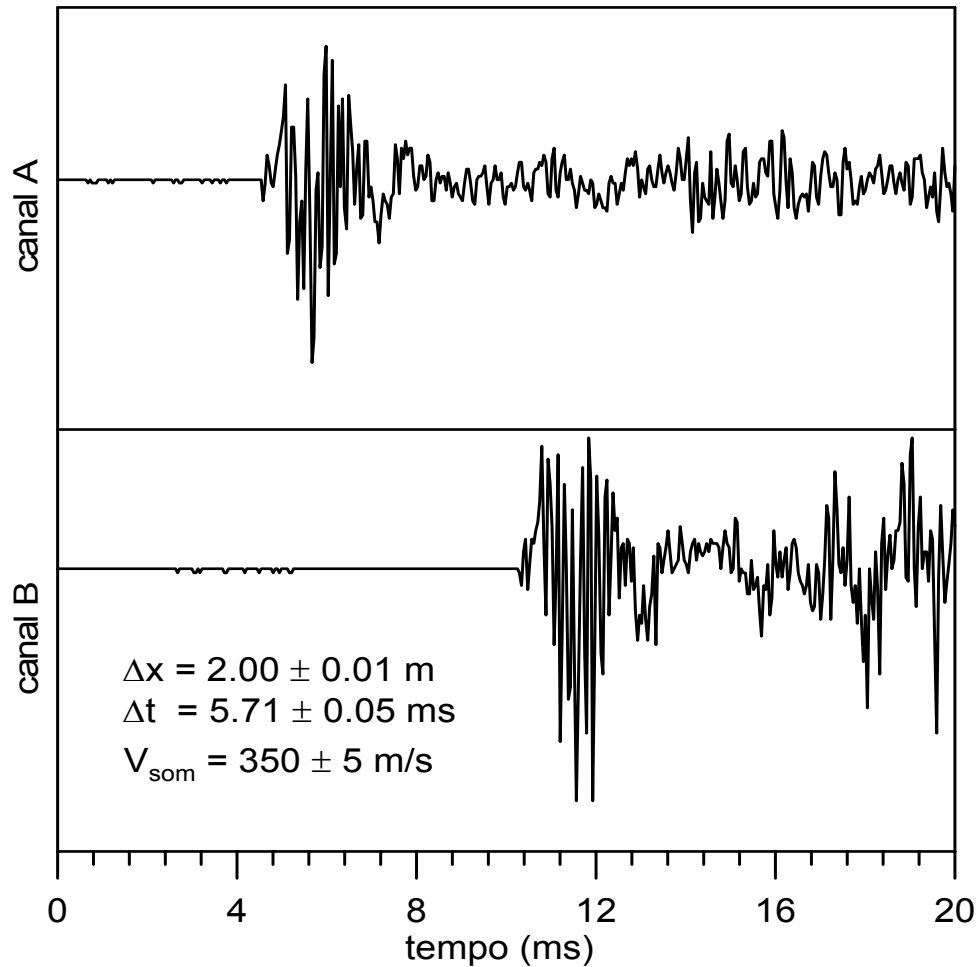
- Formalização do conceito de velocidade num contexto atraente aos alunos.
- Medida impossível com cronômetro.
- Projeto: investigar efeitos da técnica de chute, da idade, etc.

Medindo a velocidade do som

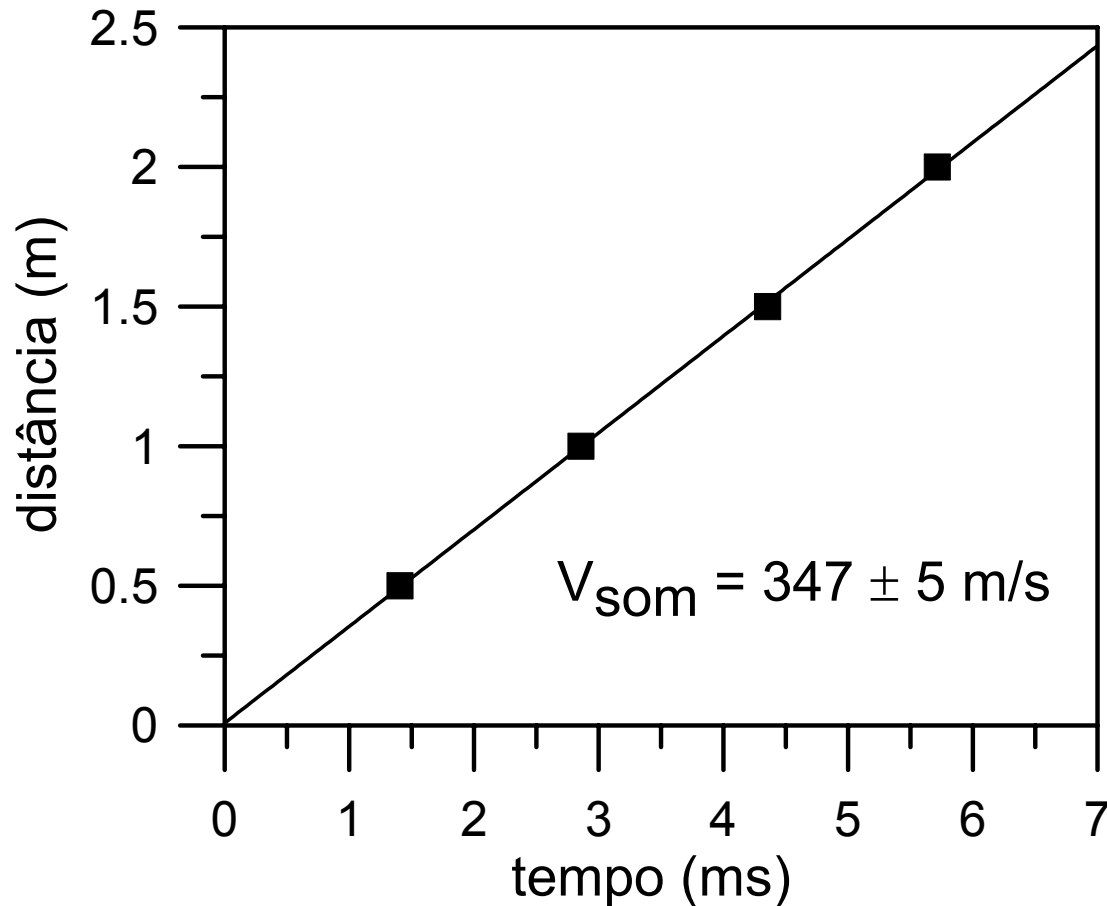
$$V = \text{distância} / \text{tempo}$$



Medindo a velocidade do som



Medindo a velocidade do som

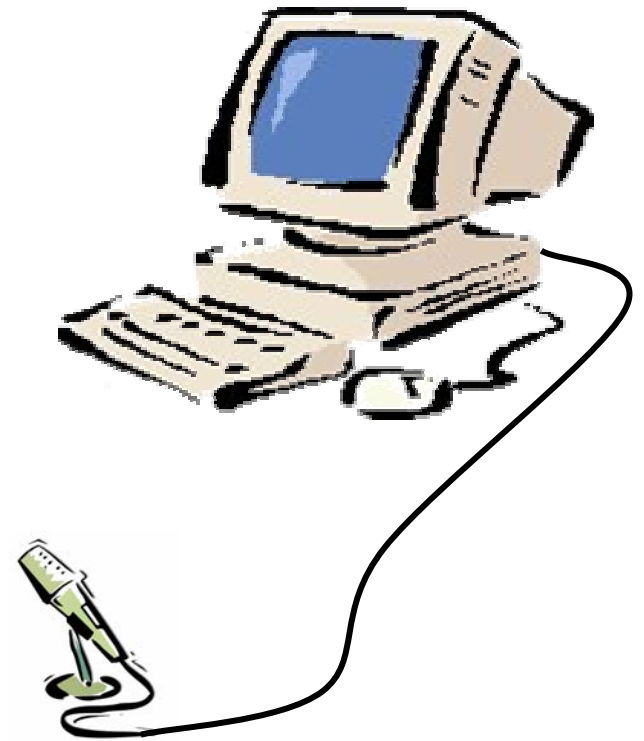
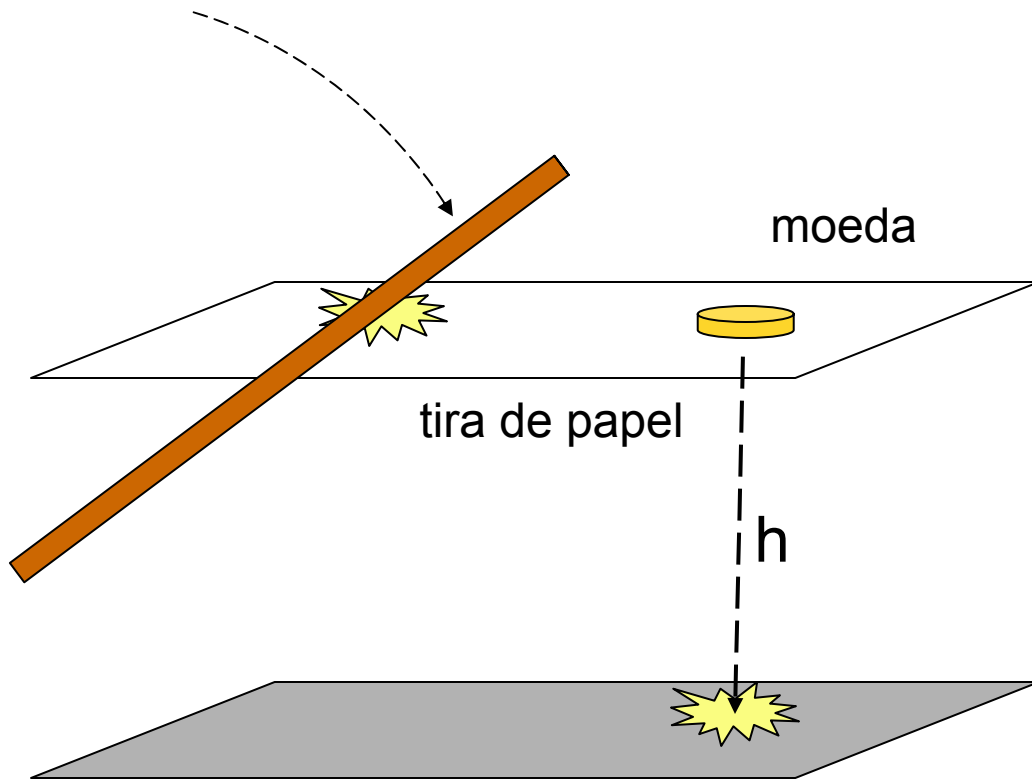


A 25 °C a velocidade do som é 346 m/s.

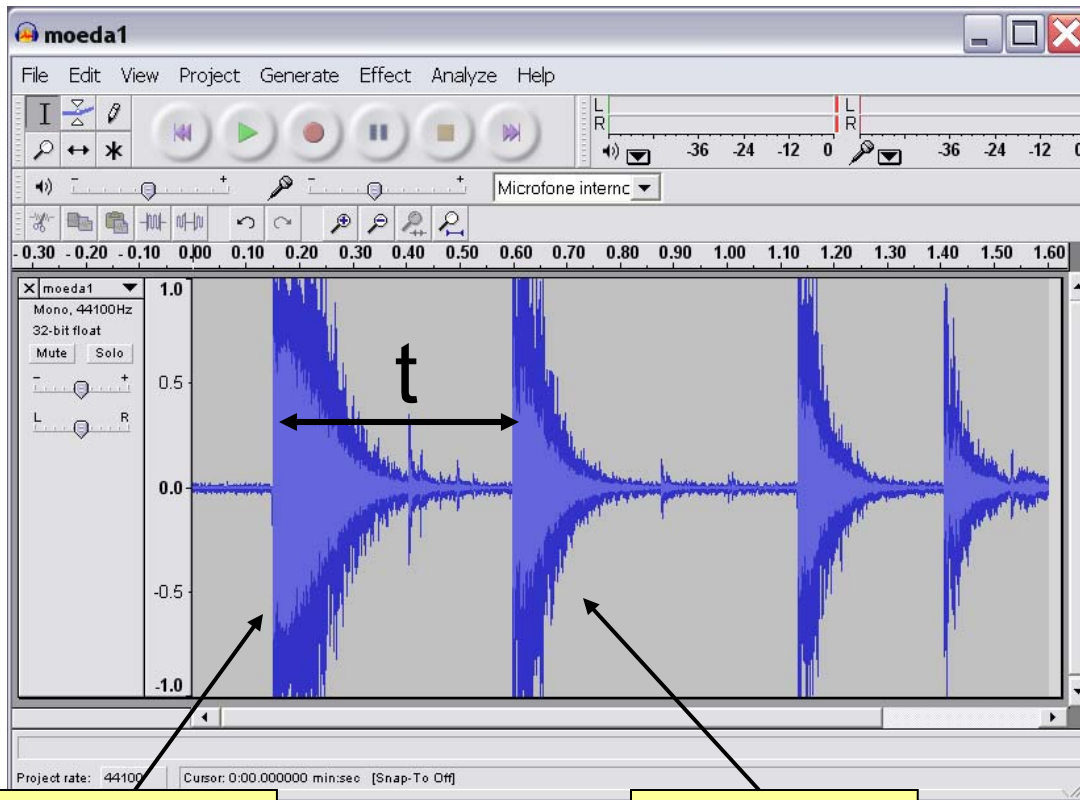
Comentários

- Medida conceitualmente simples: $V = D / T$.
- Os métodos usuais são baseados na observação de ressonâncias: $V = \lambda f$.
- Projeto: velocidade de ondas de choque.

Escutando a queda livre



Escutando a queda livre



pancada na
tira de papel

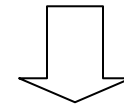
moeda cai
no chão

Tempo de queda
medido:

$$\underline{t = 0,449 \text{ s}}$$

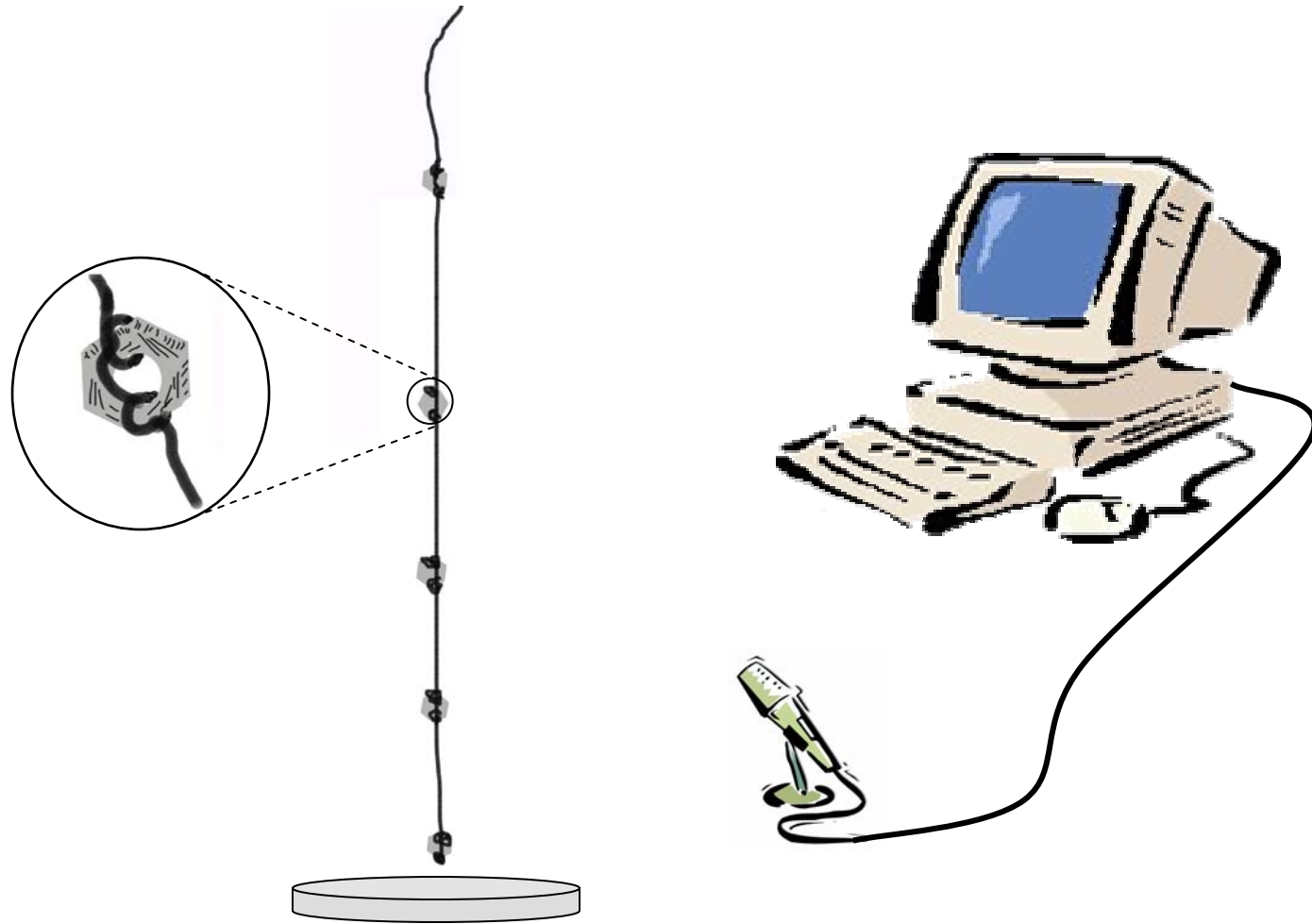
Queda livre:

- $h = 96,1 \text{ cm}$
- $g = 978,8 \text{ cm/s}^2$



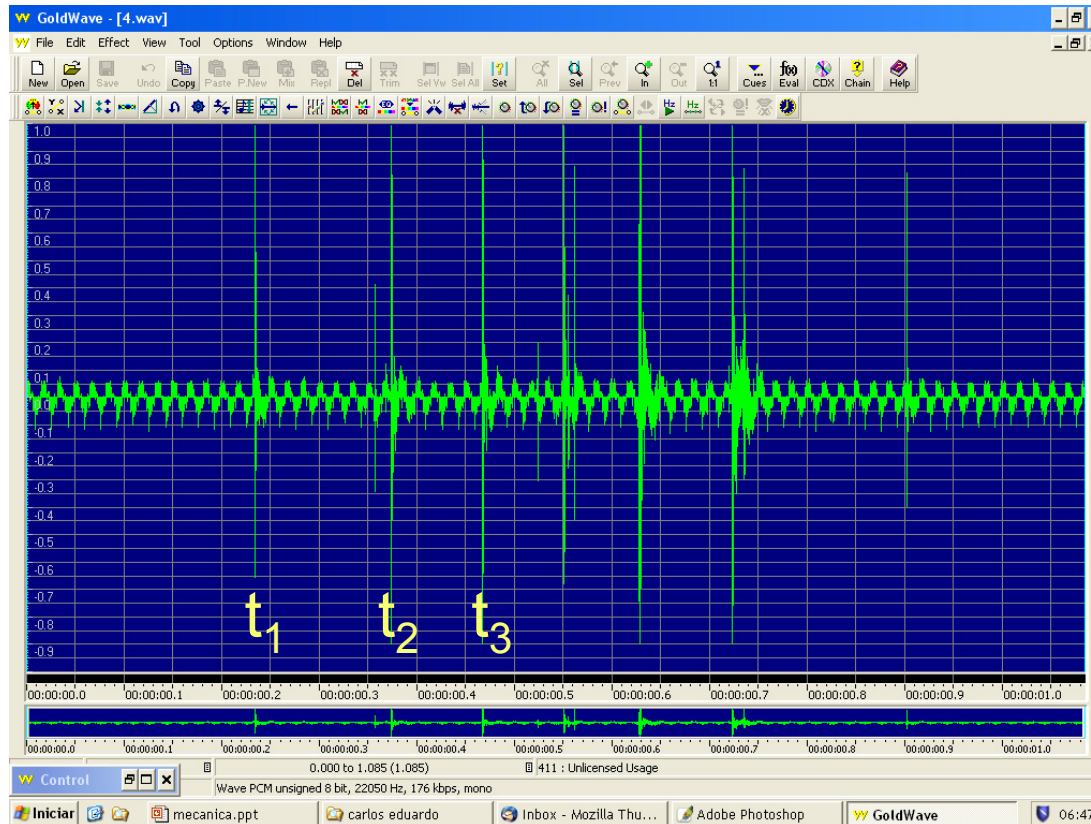
$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.443 \text{ s}$$

Escutando a queda livre (II)



Atualização de um experimento clássico descrito no livro de R.M. Sutton, *Demonstration Experiments in Physics* (exp. M84).

Escutando a queda livre (II)



Velocidade média vs. tempo médio

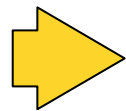
$$x_n = \frac{1}{2}gt_n^2$$



$$\begin{aligned}x_{n+1} - x_n &= \frac{1}{2}g(t_{n+1}^2 - t_n^2) \\ &= \frac{1}{2}g(t_{n+1} + t_n)(t_{n+1} - t_n)\end{aligned}$$

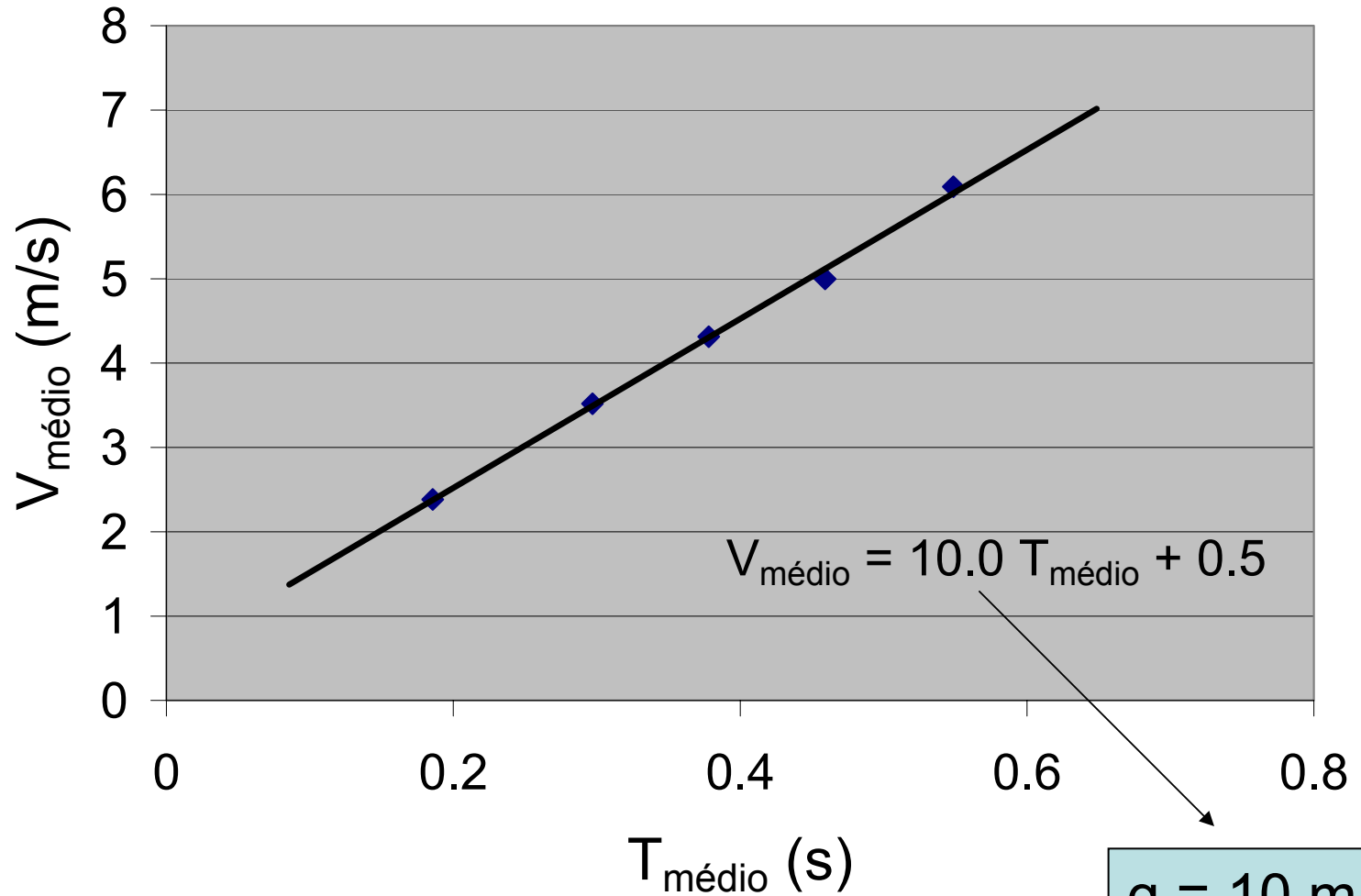


$$\frac{x_{n+1} - x_n}{t_{n+1} - t_n} = g \frac{t_{n+1} + t_n}{2}$$



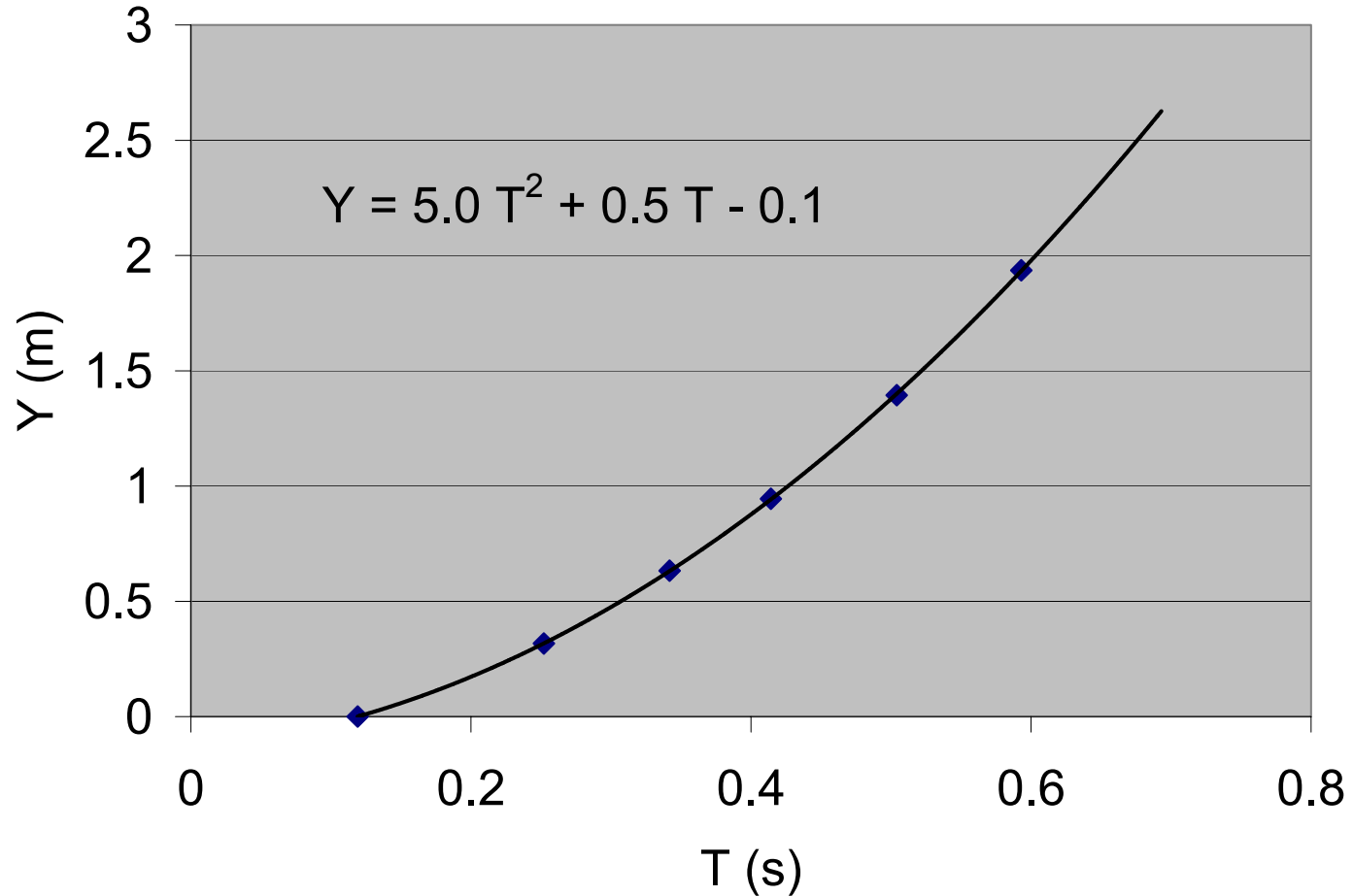
$$v_{\text{média}} = gt_{\text{médio}}$$

Escutando a queda livre (II)



$g = 10 \text{ m/s}^2$

Escutando a queda livre (II)



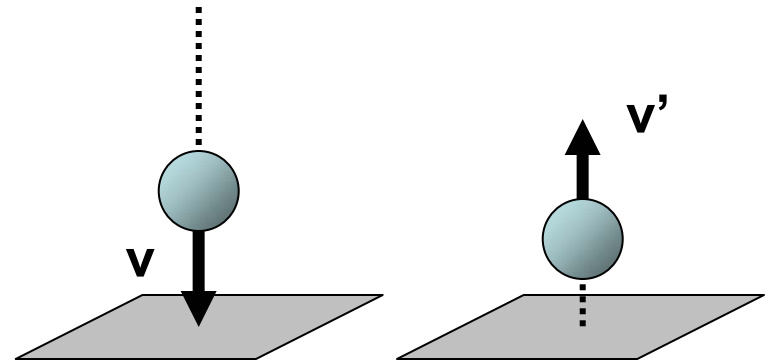
Comentários

- Verificação experimental de que a queda livre ocorre com aceleração constante.
- Medida conceitualmente simples da aceleração gravitacional, embora não muito precisa.
- Impossível de realizar com cronômetro.

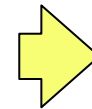
Ouvindo o coeficiente de restituição



Berenice Abbott & PSSC

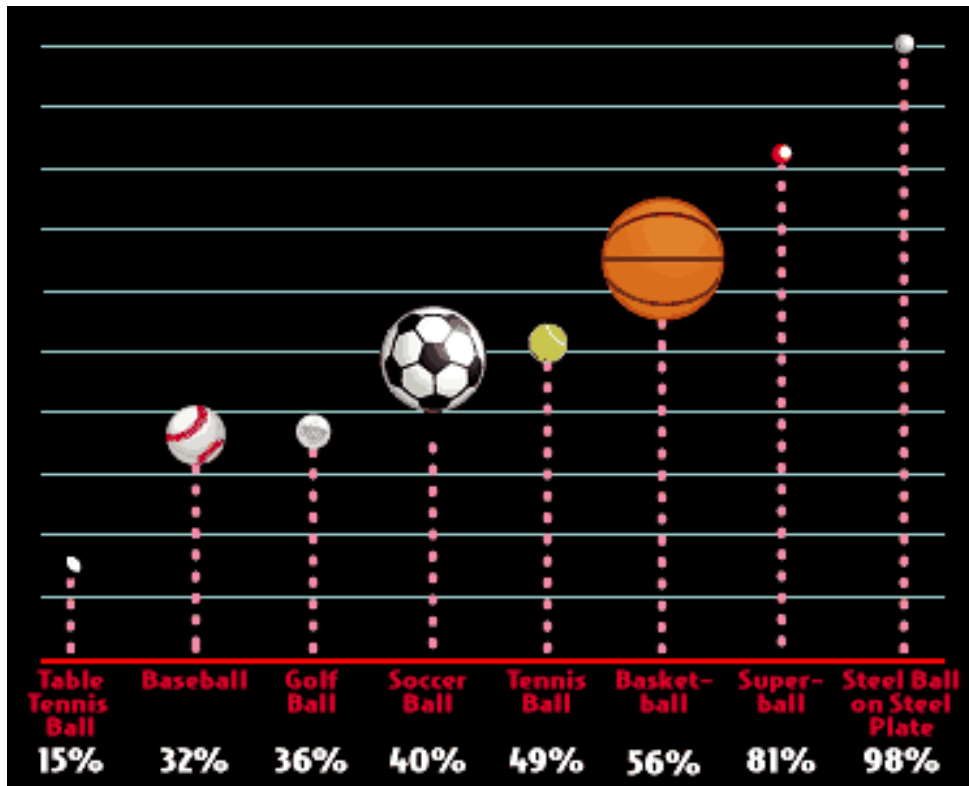


coefic. de
restituição



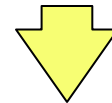
$$\varepsilon = \frac{v'}{v}$$

Altura após o quique da bola



$$h = v^2 / 2g$$

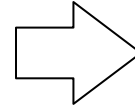
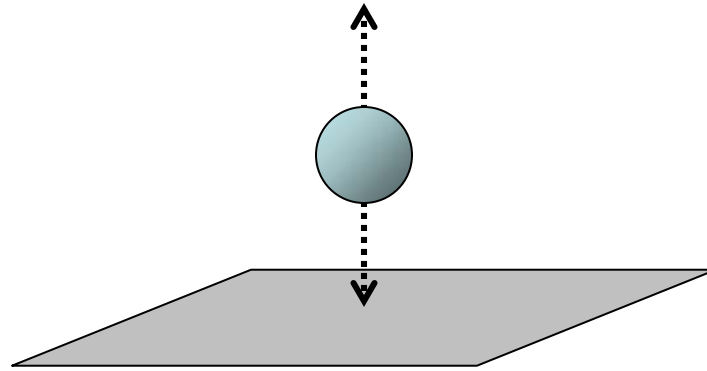
$$v' = \epsilon v$$



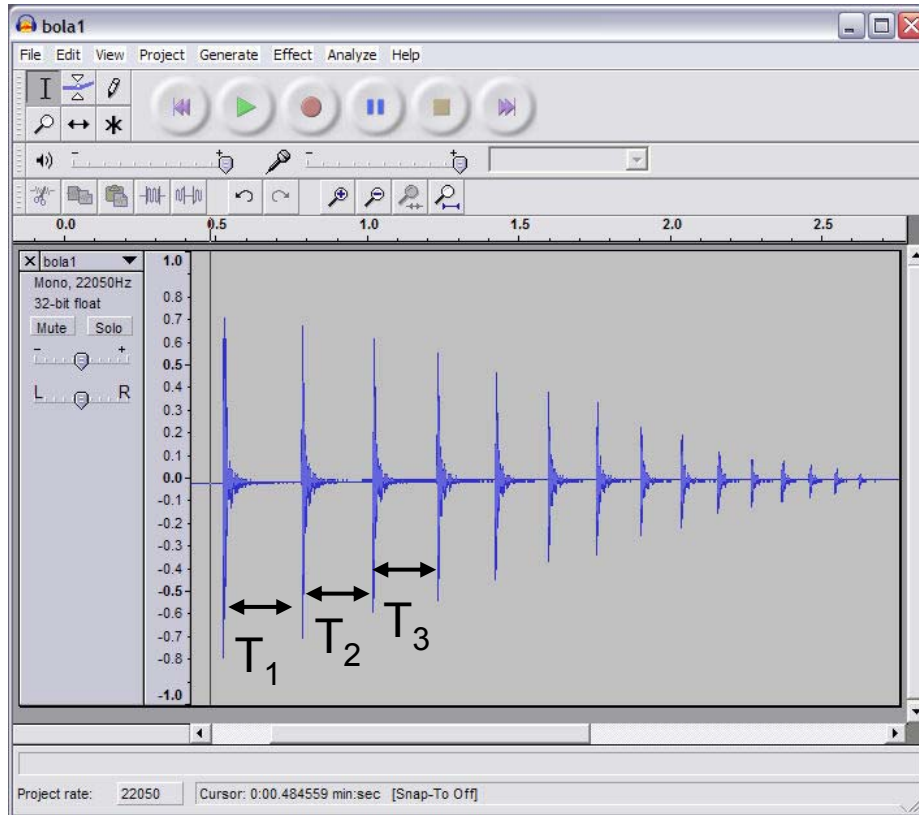
$$\frac{h'}{h} = \epsilon^2$$

http://www.exploratorium.edu/baseball/bouncing_balls.html

Ouvindo o coeficiente de restituição



Ouvindo o coeficiente de restituição



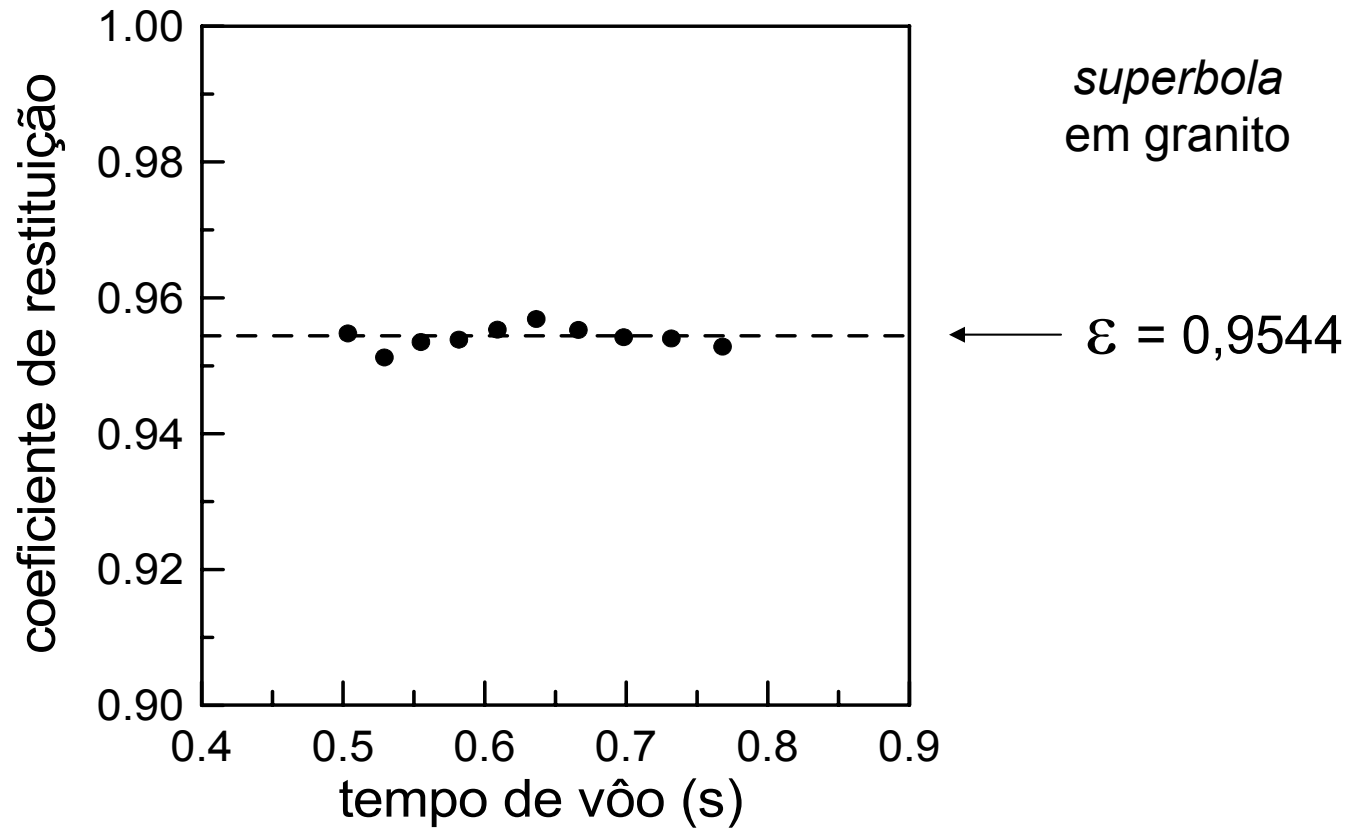
T_n = tempo de vôo após o n-ésimo quique

V_n = velocidade logo após o n-ésimo quique

$$V_n = gT_n / 2$$

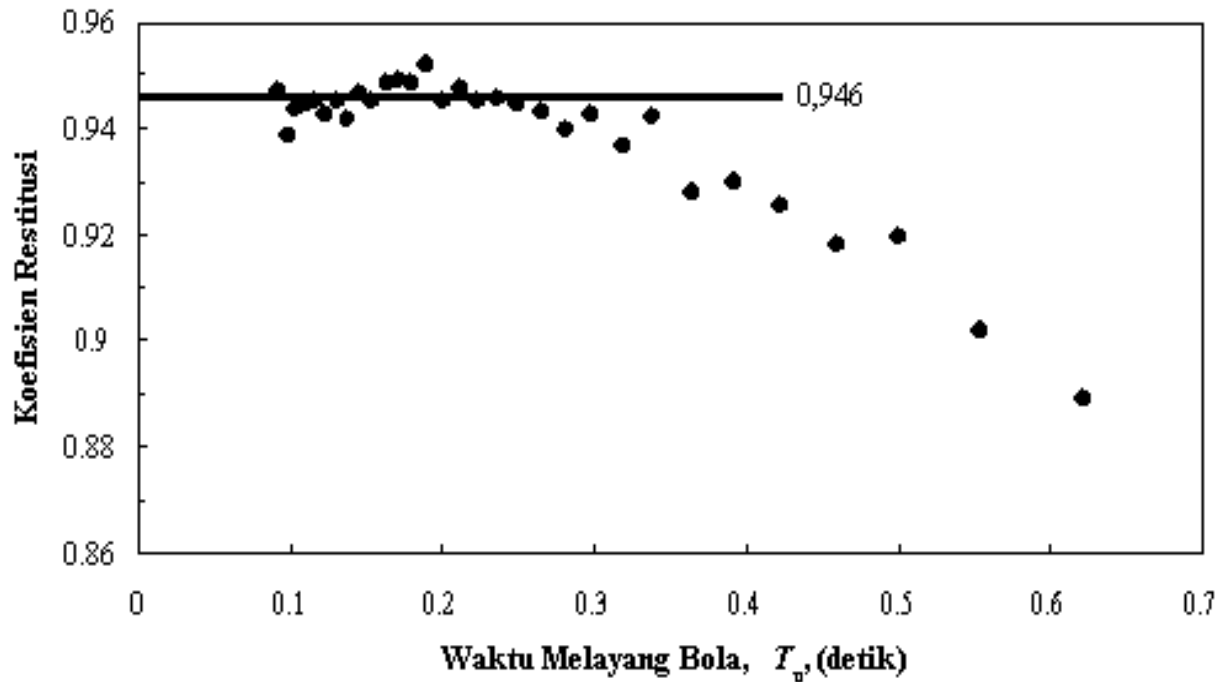
$$\varepsilon = V_{n+1} / V_n = T_{n+1} / T_n$$

Ouvindo o coeficiente de restituição



$$V_{\text{impacto}} \approx (4,9 \text{ m/s}^2) T_{\text{vôo}}$$

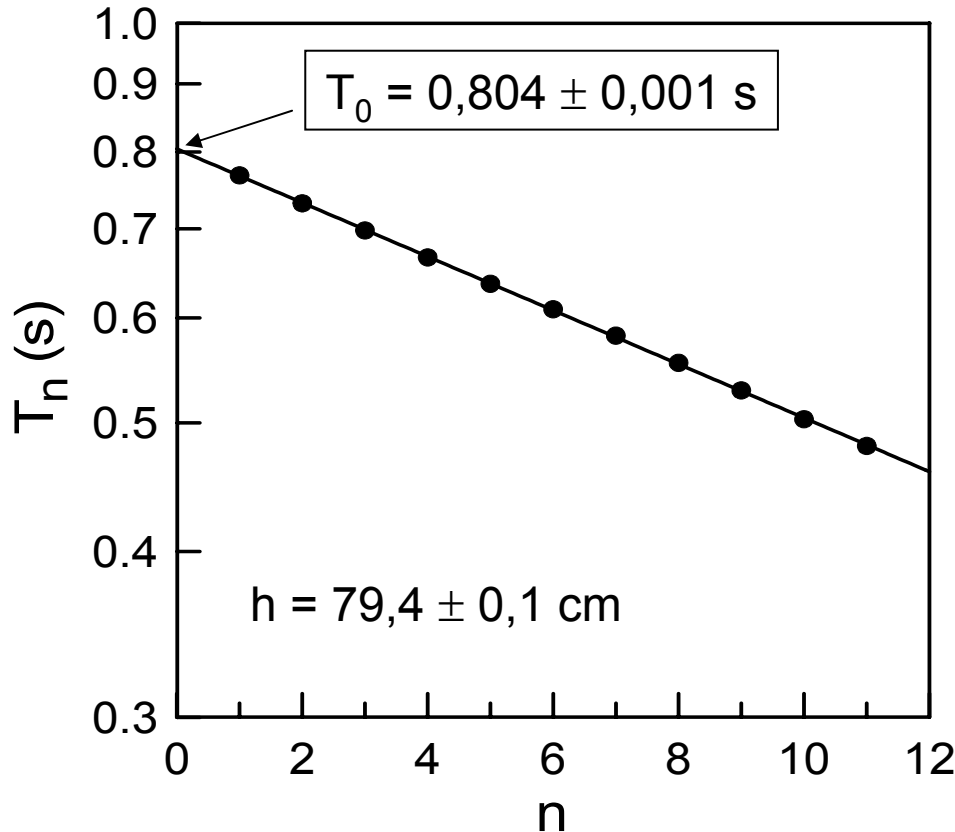
Ouvindo o coeficiente de restituição



bola de *pingpong*
em cerâmica

Ikhsan Setiawan (Indonésia)

Ouvindo a aceleração gravitacional



$$T_n = T_0 \varepsilon^n$$

$$\log T_n = \log T_0 + n \times \log \varepsilon$$

$\log T_n$ vs. $n \leftrightarrow$ linha reta:

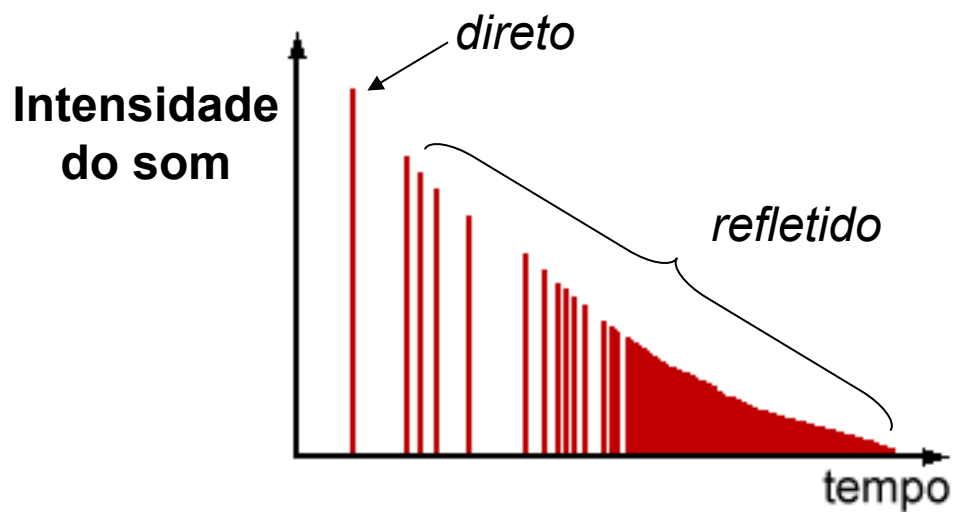
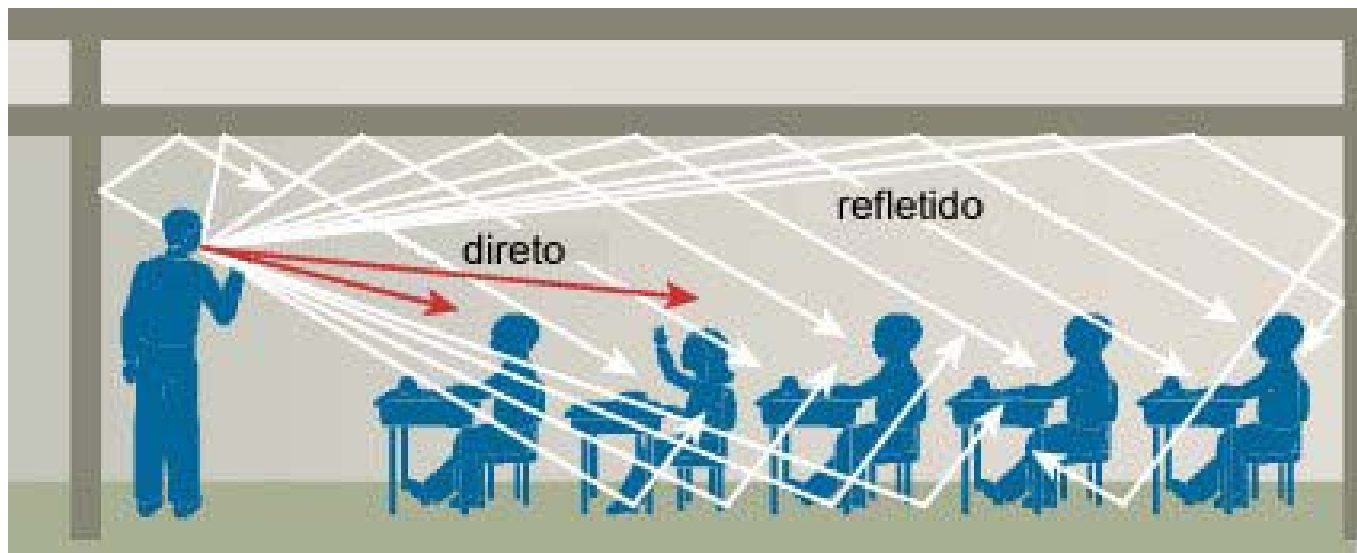
- coef. angular $\rightarrow \varepsilon$
- coef. linear $\rightarrow T_0$

$$g = \frac{8h}{T_0^2} = 982 \pm 3 \text{ cm/s}^2$$

Comentários

- Medida simples do coeficiente de restituição, inclusive da dependência na velocidade.
- Medida bastante precisa ($\sim 1\%$) da aceleração gravitacional.

Reverberação



Acústica na sala de aula

- Ambiente acústico da sala de aula:
 - fator importante no rendimento escolar;
 - relacionado a problemas de saúde vocal, comuns entre professores.
- Variáveis acústicas relevantes:
 - reverberação;
 - ruído.

Acústica na sala de aula

reverberação sinal/ruído percentagem de palavras reconhecidas

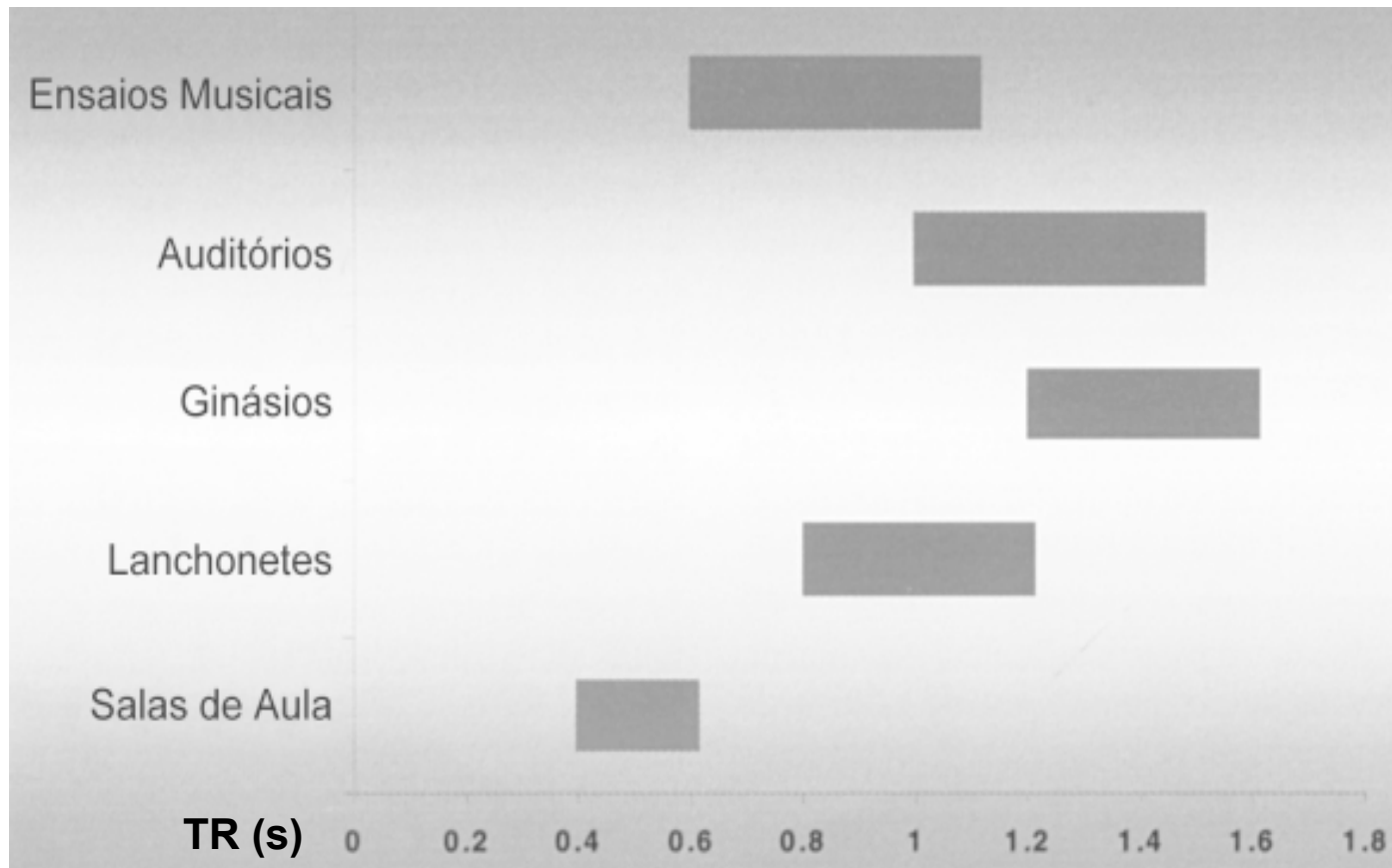
Test environment		Hearing sensitivity	
RT	SNR	Normal	Slightly impaired
0.0 second	quiet	94.5	83.0
	+12 dB	89.2	70.0
	+6 dB	79.7	59.5
	0 dB	60.2	39.0
0.4 second	quiet	92.5	74.0
	+12 dB	82.8	60.2
	+6 dB	71.3	52.2
	0 dB	47.7	27.8
1.2 seconds	quiet	76.5	45.0
	+12 dB	68.8	41.2
	+6 dB	54.2	27.0
	0 dB	29.7	11.2

boa sala de aula

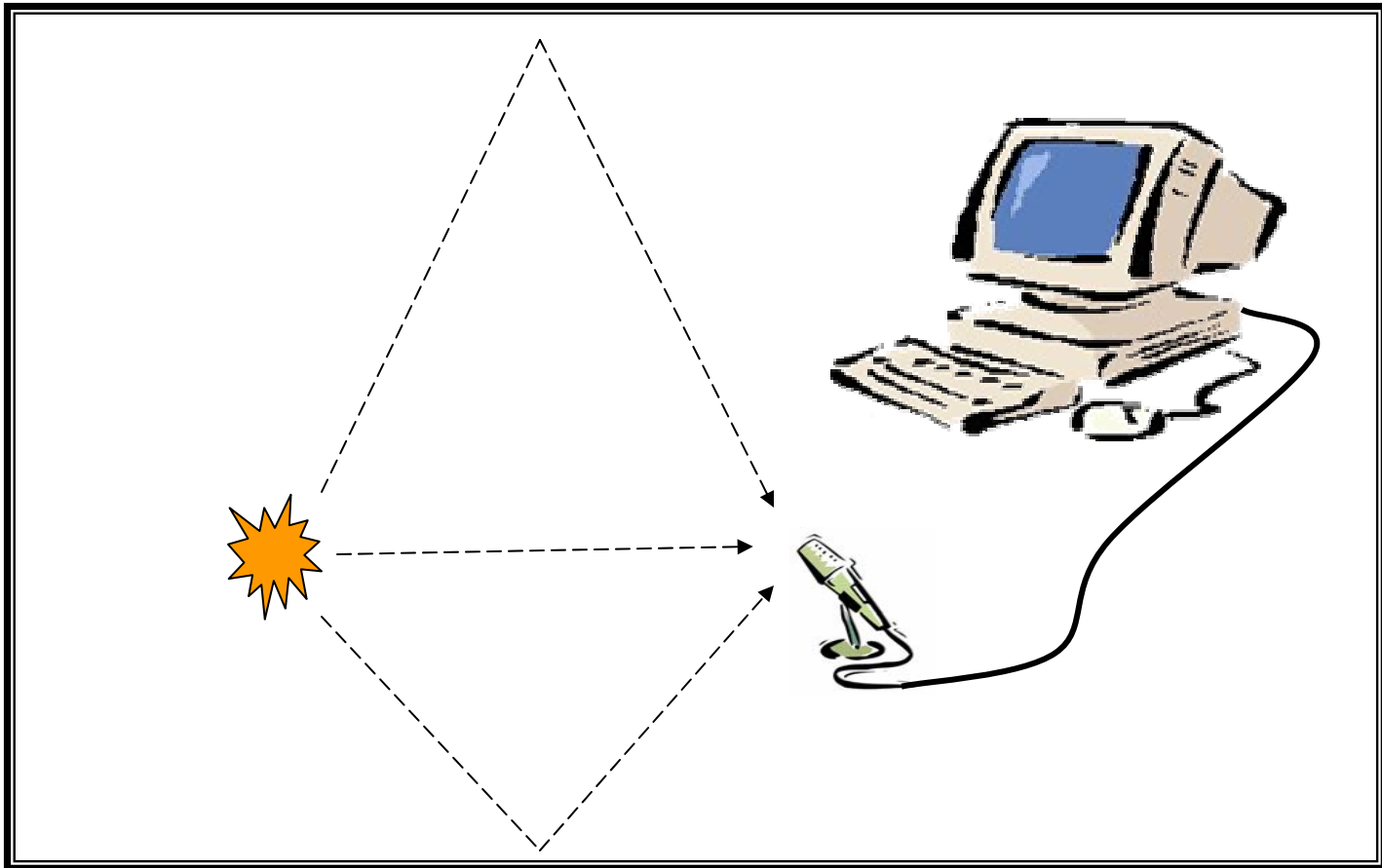
sala de aula comum

Tempo de reverberação

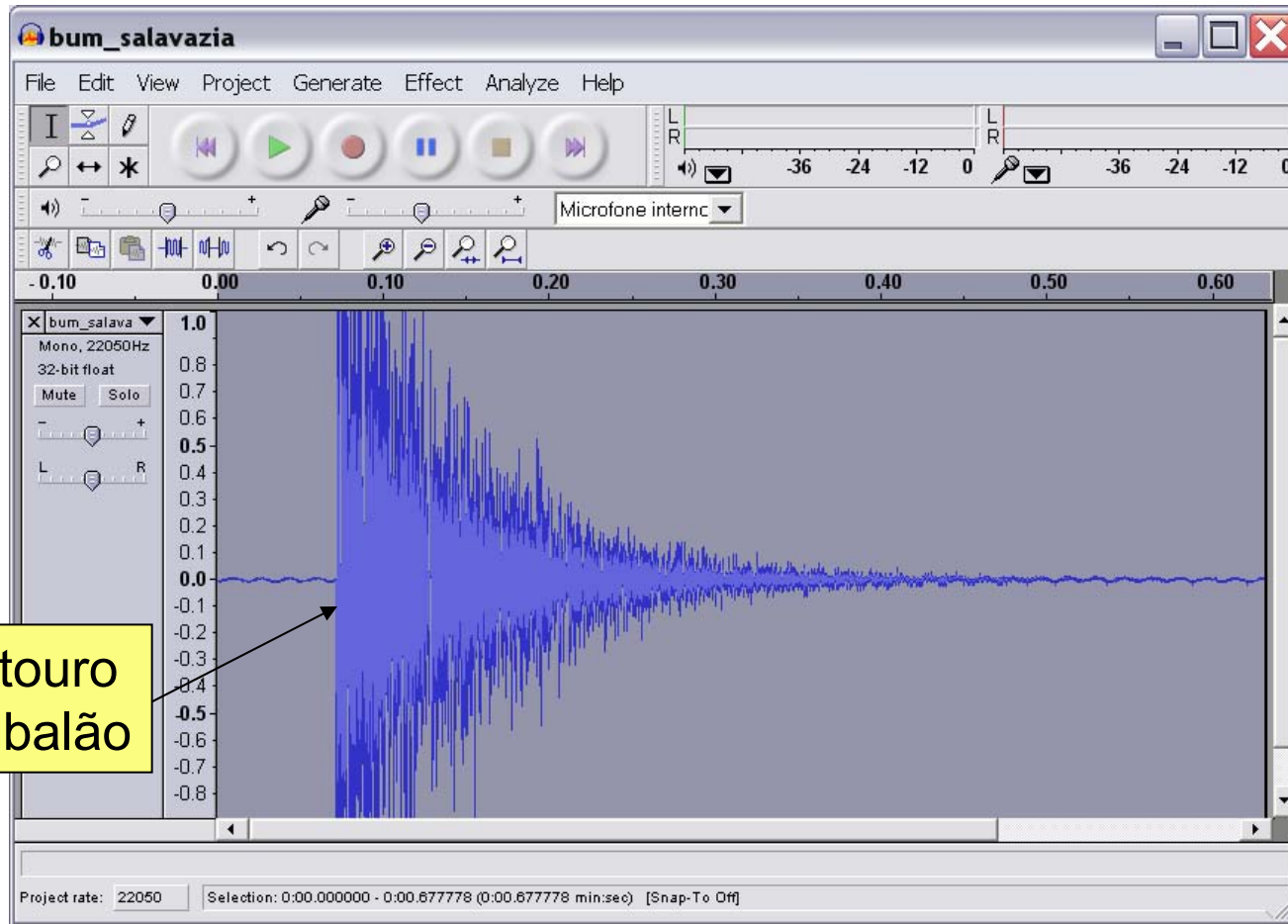
TR = tempo para a intensidade do som cair por um fator 10^6 (60 dB).



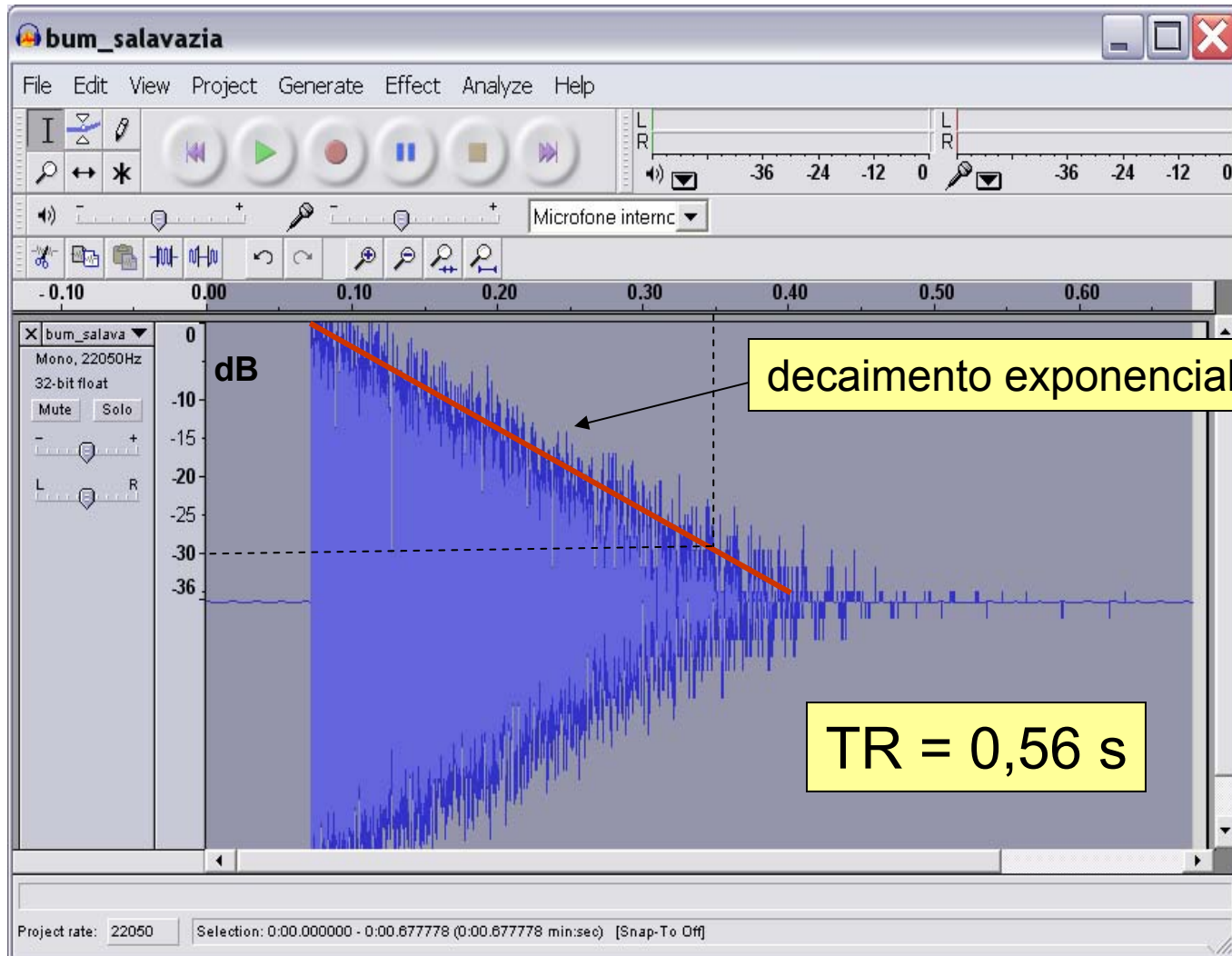
Medindo a reverberação na sala de aula



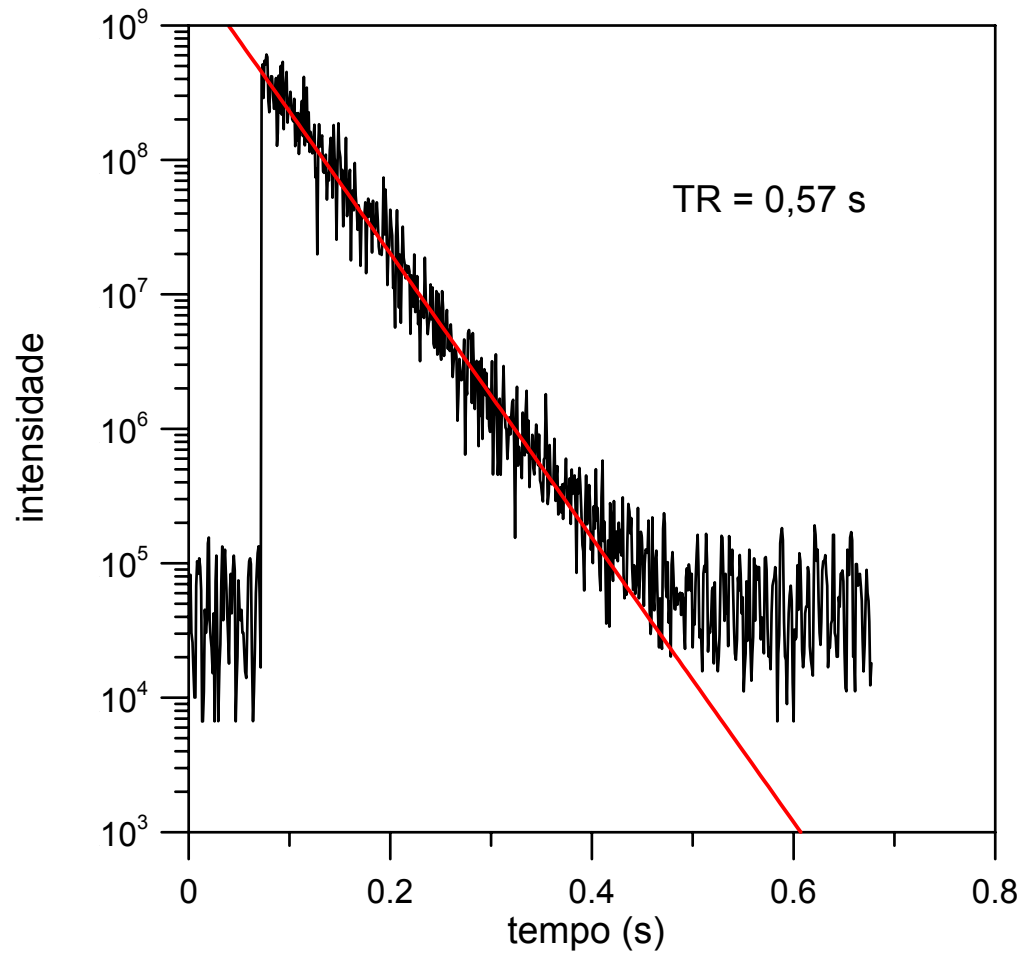
Reverberação na sala de aula



Reverberação na sala de aula



Reverberação na sala de aula



Comentários

- Projeto interdisciplinar: a física do ambiente escolar.
- Atenção para a (falta de) qualidade acústica das salas de aula: problemas de aprendizagem e saúde.
- Matemática importante: decaimento exponencial (progressão geométrica).

Comentários finais

- O gravador do PC pode ser usado como sistema de aquisição de dados em muitos experimentos de Física:
 - ondas sonoras, acústica;
 - mecânica (cronômetro capaz de medir fração de ms).
- Facilidade na montagem, execução e análise dos experimentos.
- Custo quase zero, se o computador já existe.
- Introdução à aquisição digital de dados:
 - o microfone como transdutor;
 - a placa de som como conversor analógico-digital.

Comentários finais

- Computadores domésticos e seus periféricos usuais podem ser utilizados com muito proveito como instrumentos de laboratório didático.
- Experimentos com gravações de áudio digital representam apenas pequena parte do que pode ser feito.
- Custos relativamente baixos:
 - *laptops* de ~ R\$ 1.000 já existem;
 - o *laptop* de US\$ 100 vem aí.
- Maneira muito econômica de se montar um laboratório didático.

Projetos futuros

- Implementar em sala de aula os experimentos descritos.
- Desenvolver novos experimento baseados em gravações de áudio digital: efeito Doppler, instrumentos musicais, espectros sonoros, ...
- Desenvolver experimentos baseados em outras interfaces comuns: webcam, joystick, mouse ótico, ...
- Desenvolver aplicações de novas interfaces: WiiMote, ...

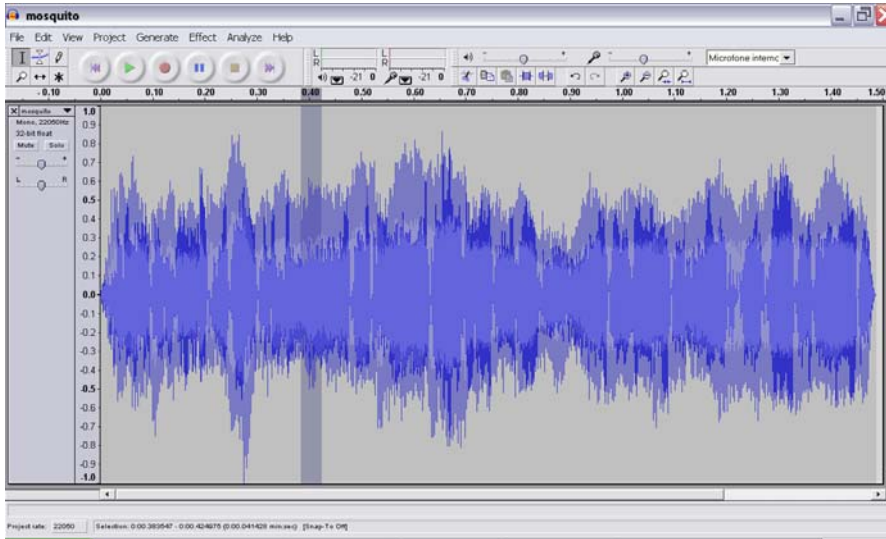
Existe apoio financeiro da Faperj para execução desses projetos (2008-2009)

Colaboradores

- Francisco Laudares
- Euclides Barbosa
- Marco Antonio Freitas
- Bernardo Medina
- Roberto Pimentel (CAp-UFRJ)
- Marta Máximo (CAp-UFRJ)
- ...

Material extra

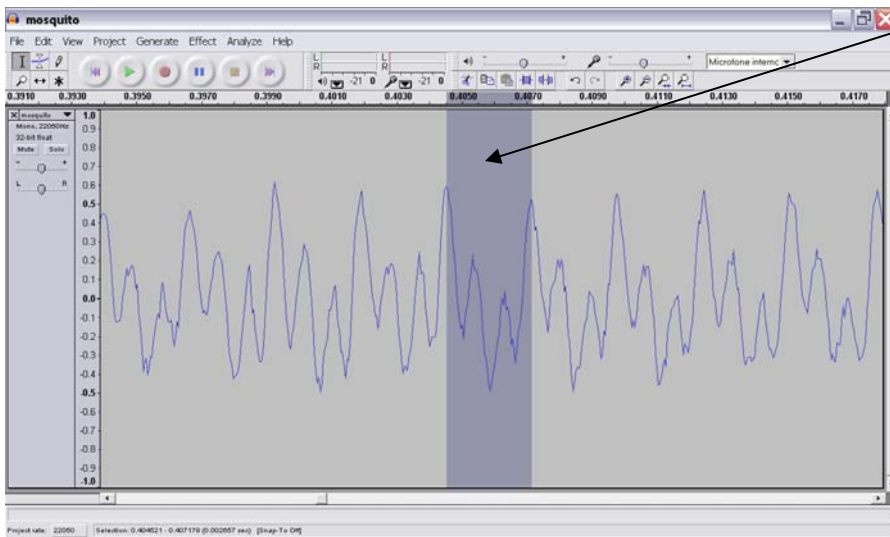
Com que frequência o mosquito bate as asas?



zumbido de mosquito

período = 0,0027 s

frequência = 370 Hz

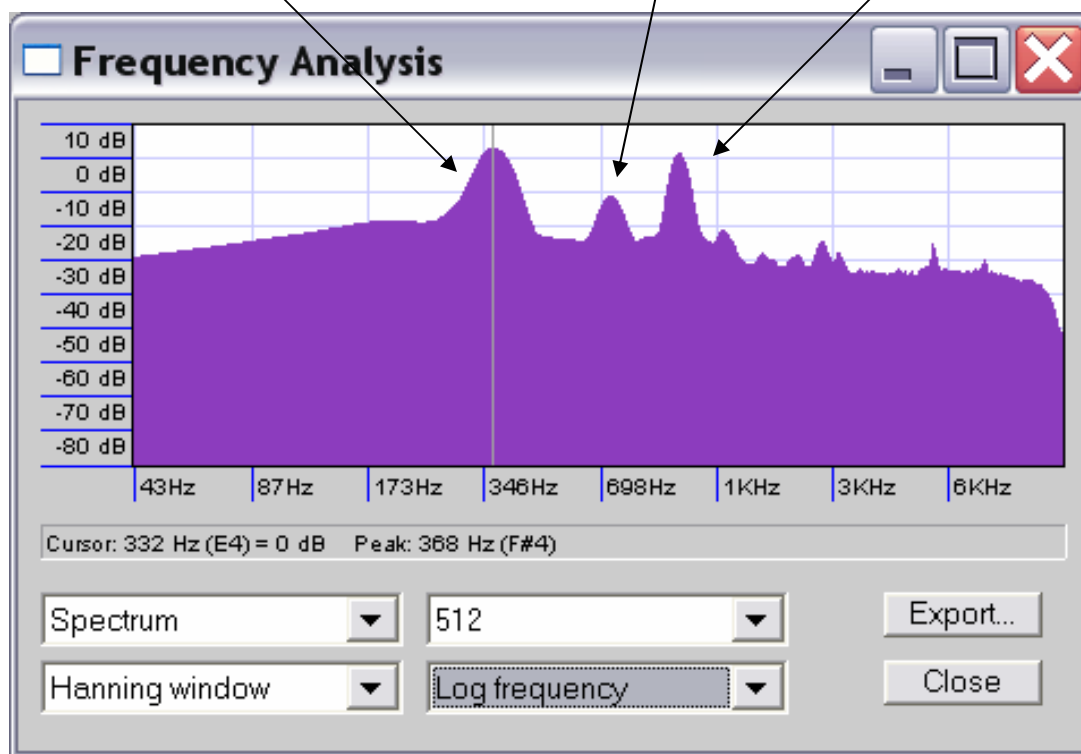


Com que frequência o mosquito bate as asas?

$f = 370 \text{ Hz}$

$2 f$

$3 f$



Espectro de frequências (obtido com o Audacity)