

Estudo dos dígitos “preferidos” e “proibidos” de cronômetros digitais com Arduino

Zwinglio O. Guimarães-Filho

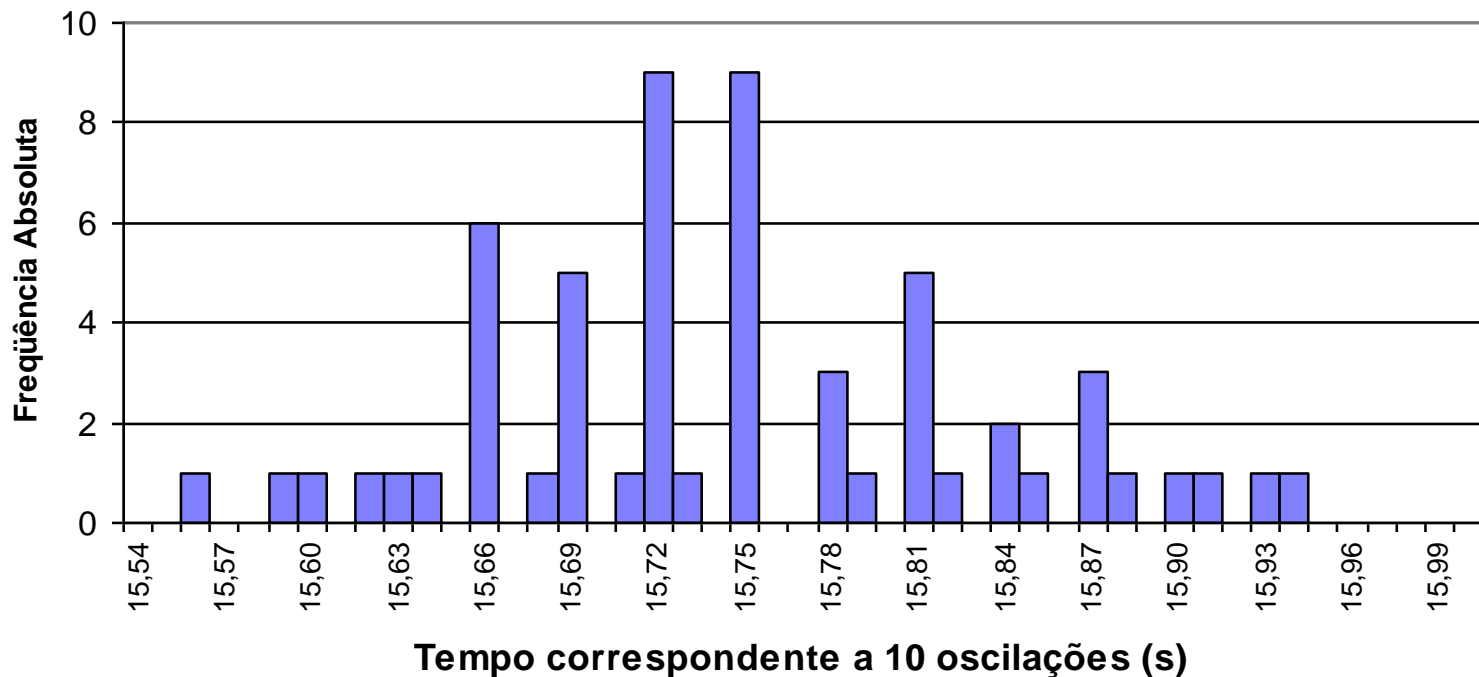
Marco A. B. Andrade, Dennis L. Toufen, Fábio O. Jorge

Departamento de Física Aplicada do Instituto de Física da USP

Motivação:

Distribuições improváveis de resultados de cronometragens obtidas por alunos

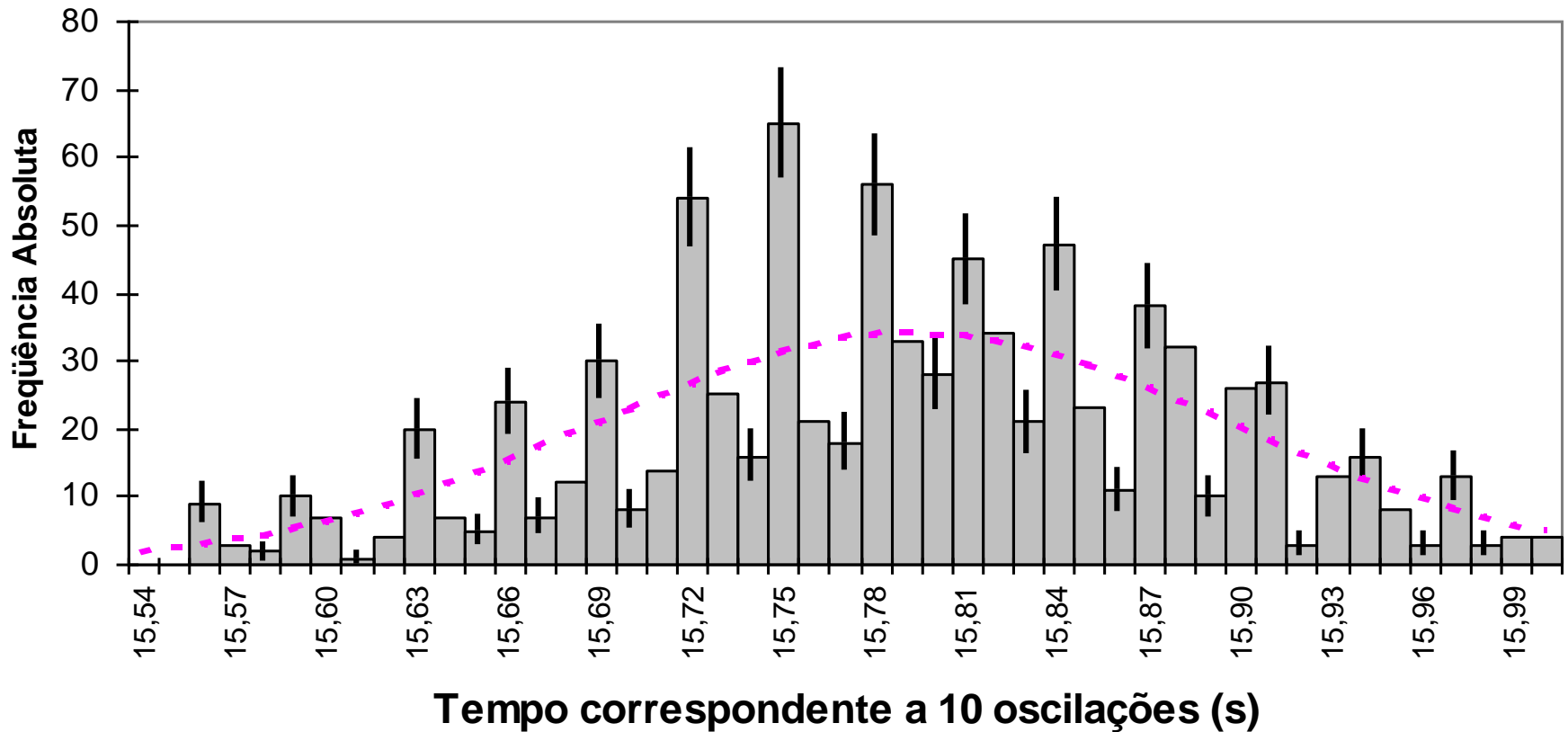
Exemplo: Histograma do tempo de 10 oscilações de um pêndulo



➤ **Sugere a existência valores preferidos e rejeitados**

Resultados de todos os alunos da turma (cerca de 1000 medições)

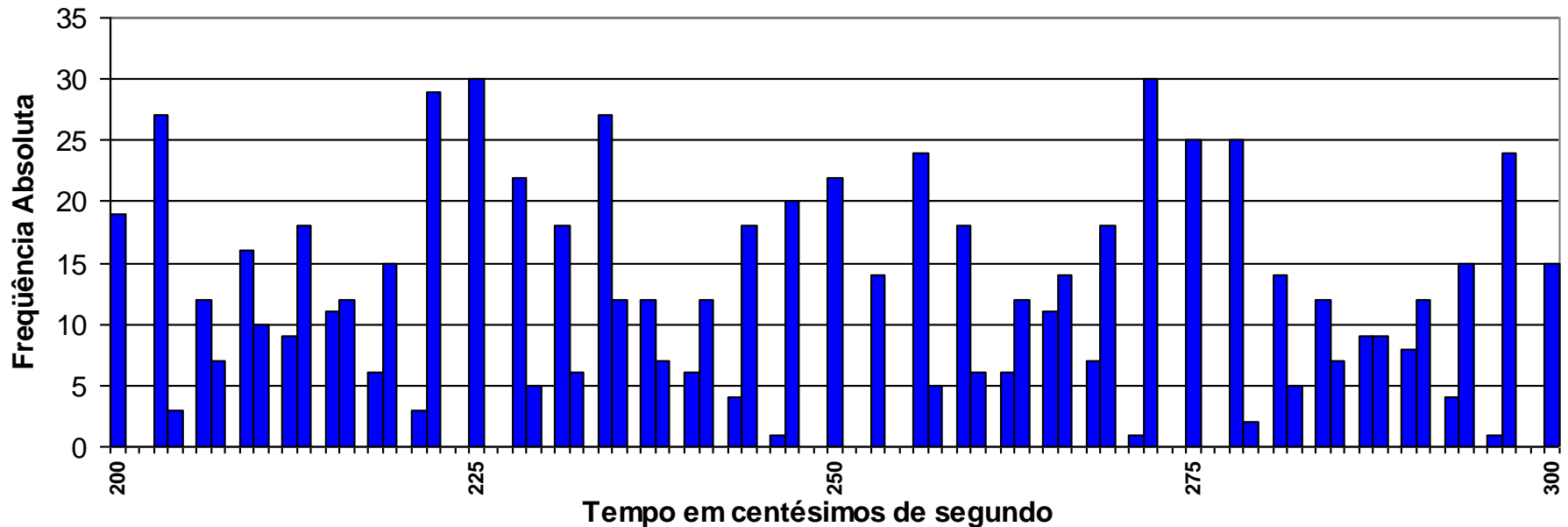
Histograma dos tempos obtidas por todos os alunos de uma turma em cronometragens de pêndulos semelhantes (diversos modelos de cronômetros)



➤ Certamente há preferência por alguns valores

Testes com cronômetros que tem o efeito

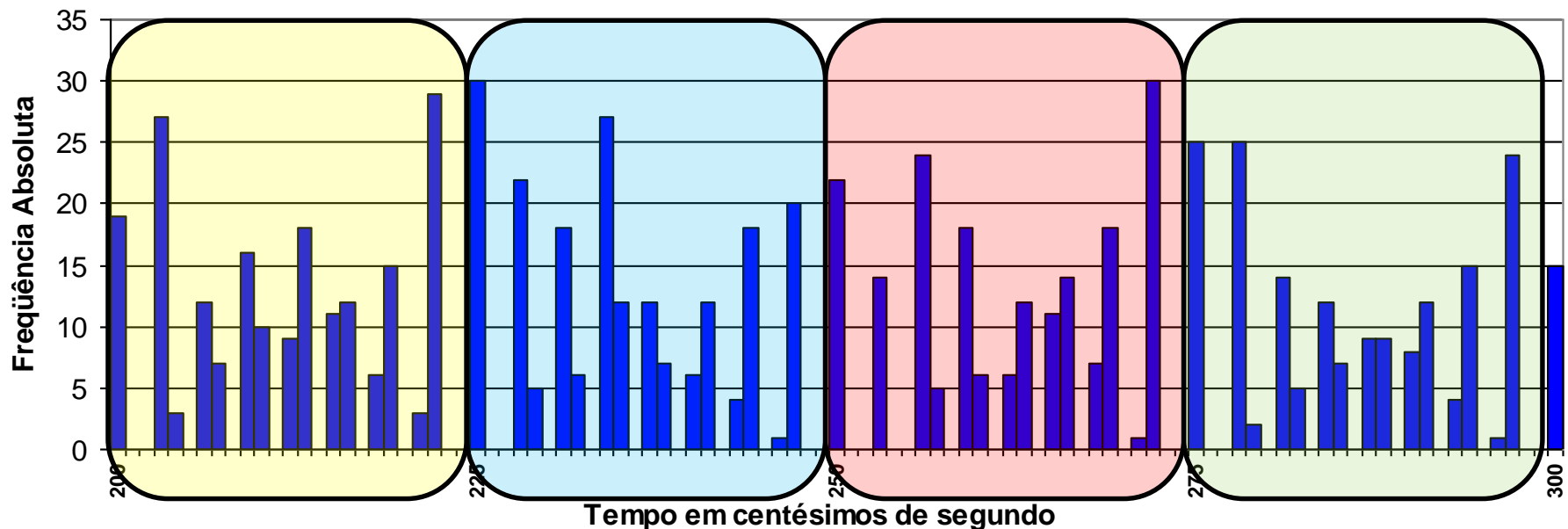
Resultados de **3 445** cronometragens de intervalos de tempo distribuídos de forma aproximadamente uniforme entre 2 e 3 segundos



➤ ***Claramente há dígitos preferidos e rejeitados***

Testes com cronômetros que tem o efeito

Resultados de **3 445** cronometragens de intervalos de tempo distribuídos de forma aproximadamente uniforme entre 2 e 3 segundos

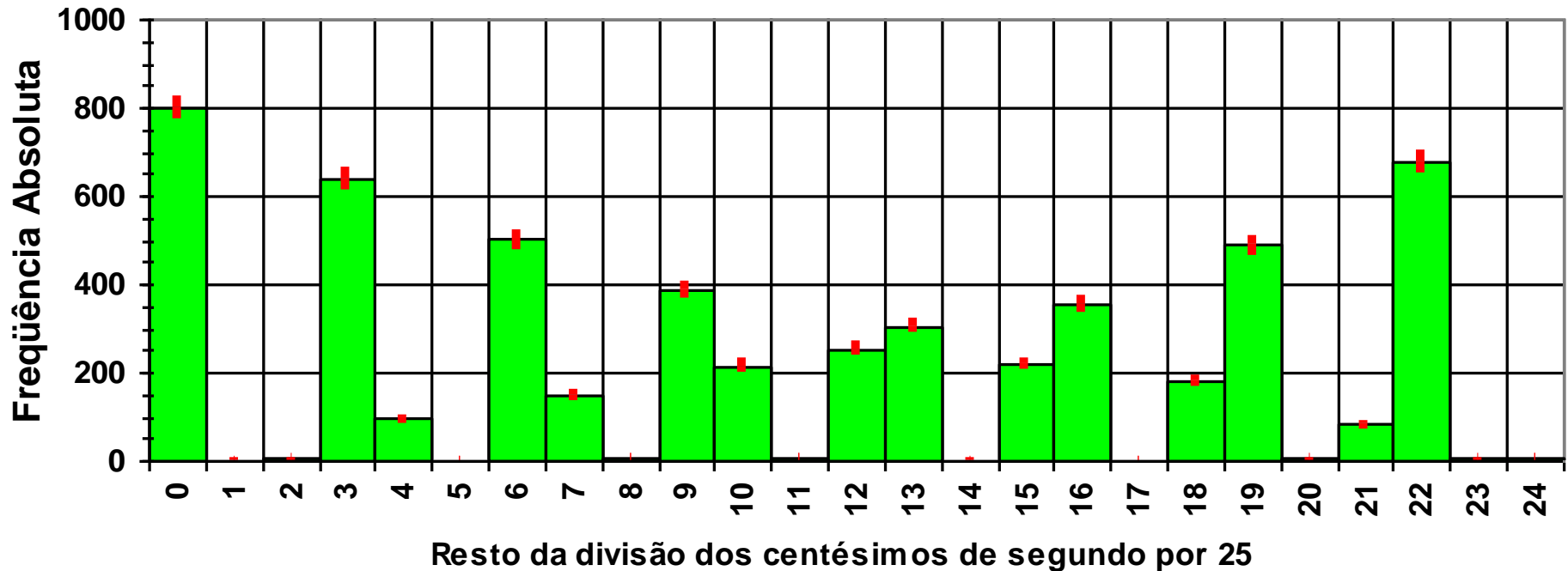


➤ **Claramente há dígitos preferidos e rejeitados**

➤ **Ciclos de preferência e rejeição se repetem a cada 25 cs**

Agrupando-se os dados de cada ciclo

*Resto da divisão do intervalo de tempo medido por 25 cs em **5 391** cronometragens feitas com modelos de cronômetros que apresentam o efeito*



➤ **40% dos dígitos são “proibidos”:**

*resto **1, 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23 e 24** não são obtidos*

➤ **Há 8 conjuntos de dígitos permitidos por ciclo de 25 cs**

Conclusões das observações iniciais

- Há cronômetros com dígitos “preferidos” e “proibidos”
 - Fabricantes diversos, sempre os mesmos dígitos
- ***Consequências sobre os tempos medidos***
 - *Esse efeito produz erro sistemático residual?*
 - *Isso afeta a dispersão das cronometragens?*

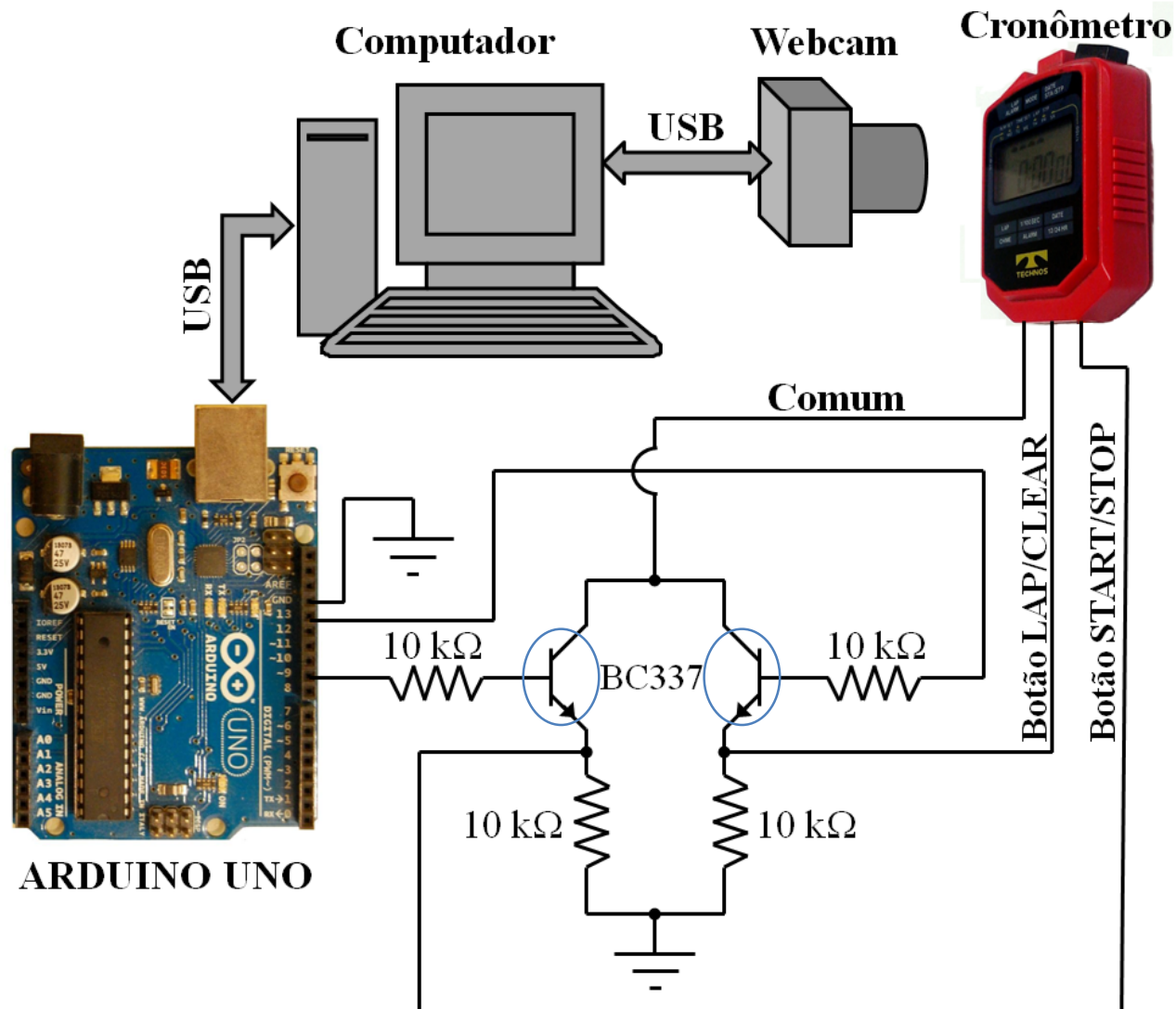
Esses resultados foram apresentados no SNEF de 2005



OS CRONÔMETROS DIGITAIS E SEUS DÍGITOS “PREFERIDOS”

Zwinglio O. Guimarães-Filho^a [zwinglio@if.usp.br]
Ruy M. Castro^{a,b,c} [rmcastro@ieav.cta.br]
Lighia B. Horodynski-Matsushigue^a [lighia@if.usp.br]
Paulo R. Pascholati^a [pascholati@if.usp.br]
Fabio de Oliveira Jorge^a [fjorge@if.usp.br]

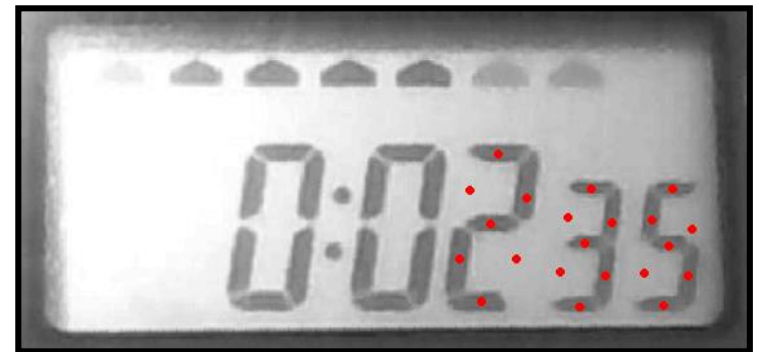
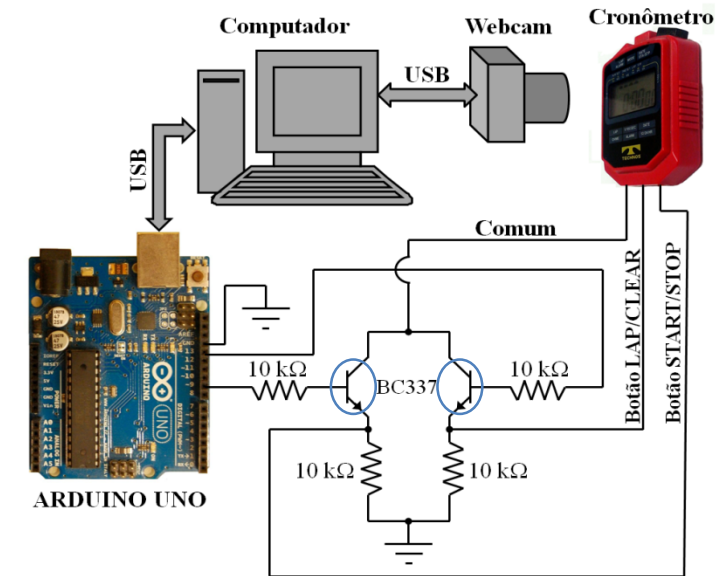
Estudo do efeito com Arduino e WebCam



Estudo dos erros das cronometragens com Arduino e WebCam

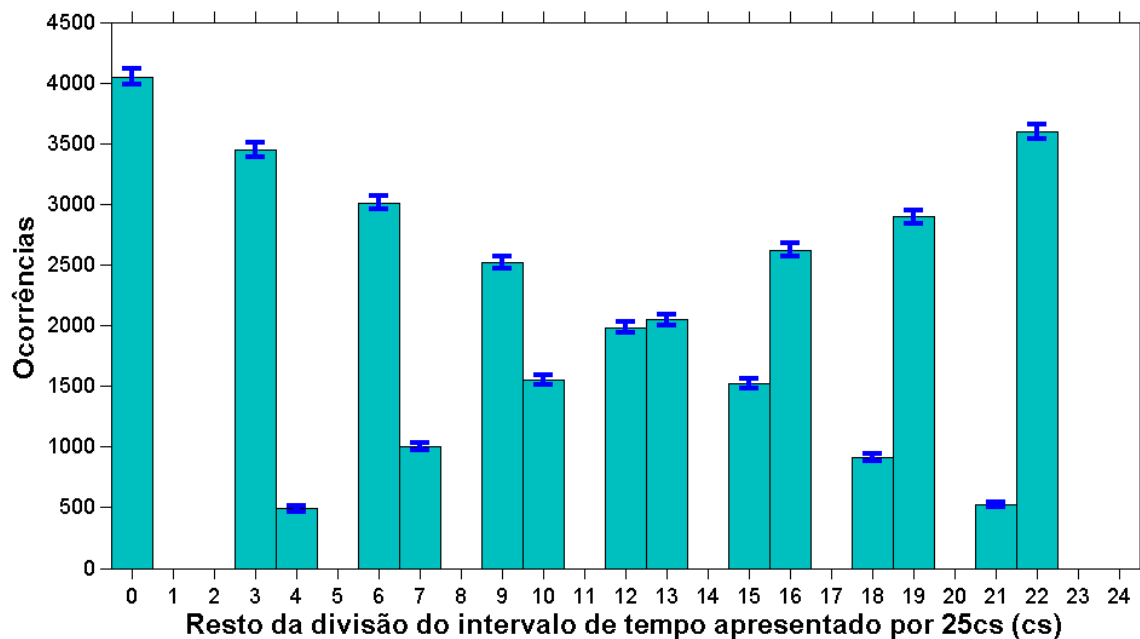
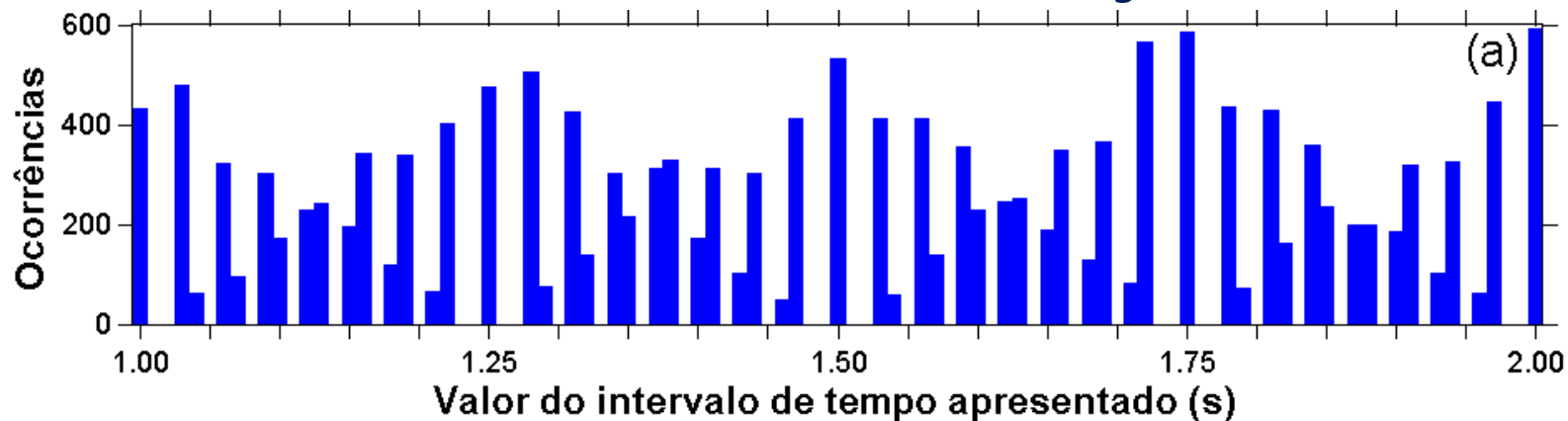
Para cada cronometragem:

- **Computador sorteia um** valor aleatório para o **intervalo de tempo** múltiplo de 1 ms entre 0,5 e 2,5 s e o **envia para o Arduino**
- **Arduino aciona o cronometro** com o intervalo de tempo escolhido
- **Computador tira uma fotografia do display do cronômetro** ao final da cronometragem e grava a imagem e o valor do tempo solicitado
- **Imagem é analisada de forma automática** para identificar o valor mostrado no display
- **Erro de cada cronometragem é obtido pela diferença entre o intervalo de tempo do acionamento e o valor mostrado**



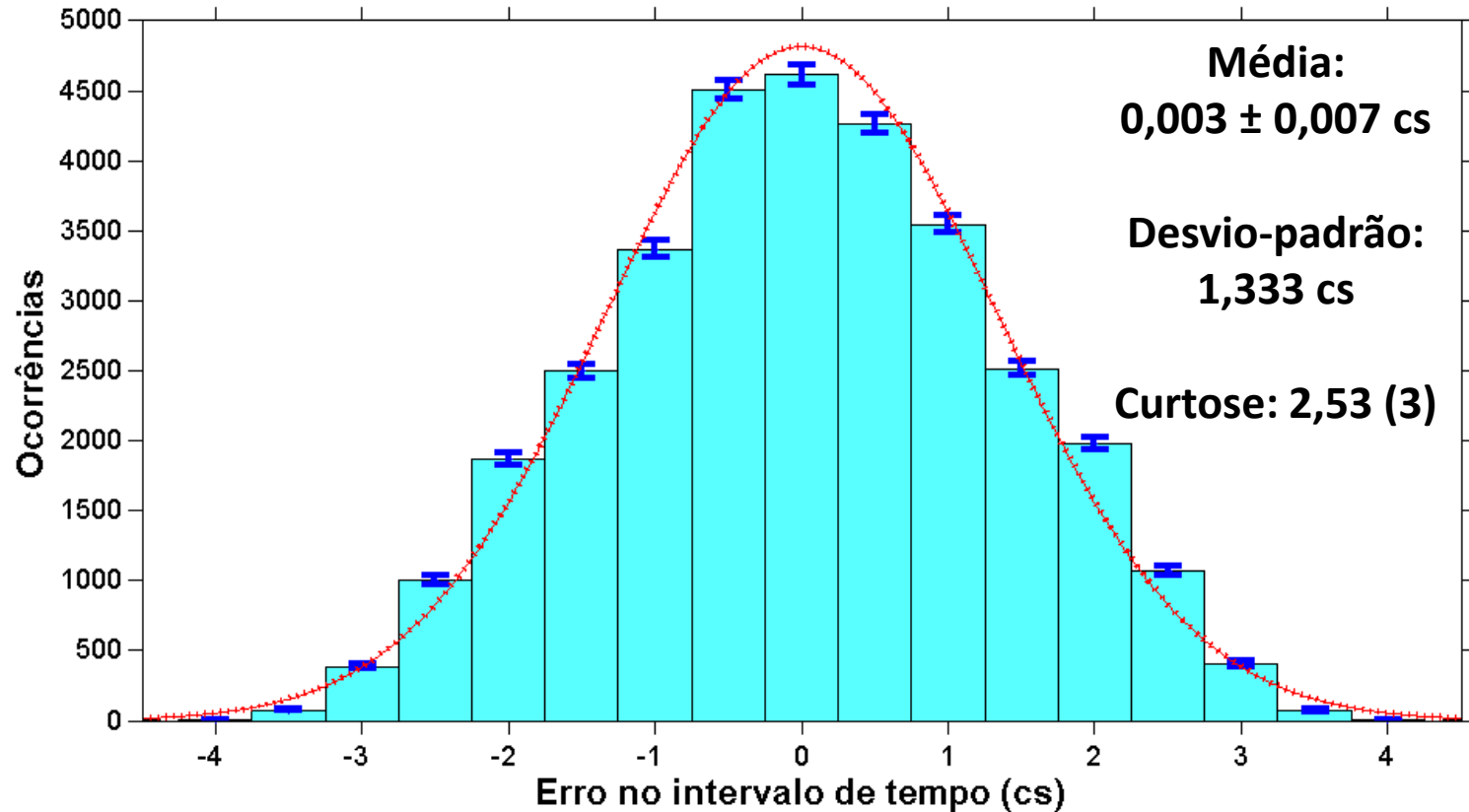
Resultados das cronometragens automatizadas

Valores obtidos em 32 181 cronometragens



Apesar dos dígitos preferidos e proibidos, não há erro sistemático residual

Histograma dos erros nas 32 181 cronometragens



Erro médio é compatível com zero → ausência de erro sistemático residual

Dispersão de 1,3 cs → muito menor que a do acionamento manual (cerca de 5 cs)

Um possível modelo para o cronômetro

Considerando que:

- Cronômetros digitais tem um cristal de 16 384 Hz ($=2^8$ Hz)
- Divisores binários e portas lógicas E, OU, NOT são usuais em circuitos digitais
- Menor divisão 1 cs (equivalente à 100 Hz) não é múltiplo do sinal original

Possível modelo:

- Há um divisor de 8 bits que gera um pulso de 128 Hz ($=2^7$ Hz)
- Parte desses pulsos são desprezados para contar 100 pulsos por segundo:

... 1110 . 1110 . 1110 . 1110 . 1110 . 1110 . 1110 . 1111 ...

- Aquisições só podem começar e terminar ao final dos conjuntos de 4 pulsos
→ Clock básico é de 32 Hz (correspondente a 3, 125 cs)

3 cs → 1110

6 cs → 1110 . 1110

4 cs → 1111

7 cs → 1110 . 1111 ou 1111 . 1110

Previsões decorrentes do modelo proposto

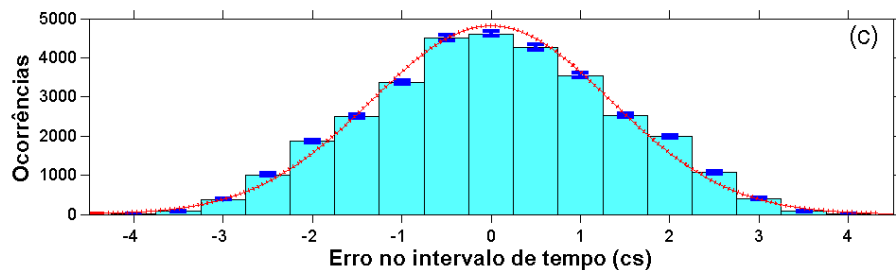
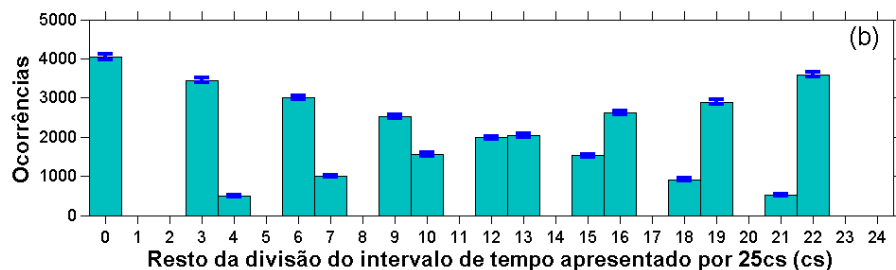
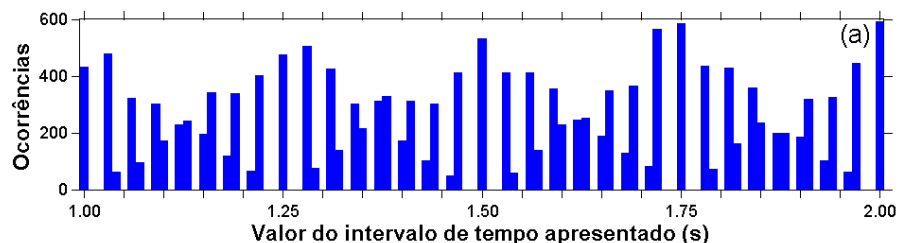
... 1110 . 1110 . 1110 . 1110 . 1110 . 1110 . 1110 . 1111 ...

- dígitos 1 e 2 não podem ser obtidos
- dígito 3 → 1110 é 7 vezes mais frequente que o 4 → 1111
- dígito 5 não pode ser obtido
- o 6 → 1110.1110 é 3 x mais frequente que o 7 → 1110.1111 ou 1111.1110
- ...
- Medições de intervalos de tempo múltiplos de 25 cs são exatas
- Medições em sequencia sem zerar o cronômetro são independentes
- Acionamentos do botão com duração menor que 3, 125 cs podem não ser reconhecidos pelo cronômetro

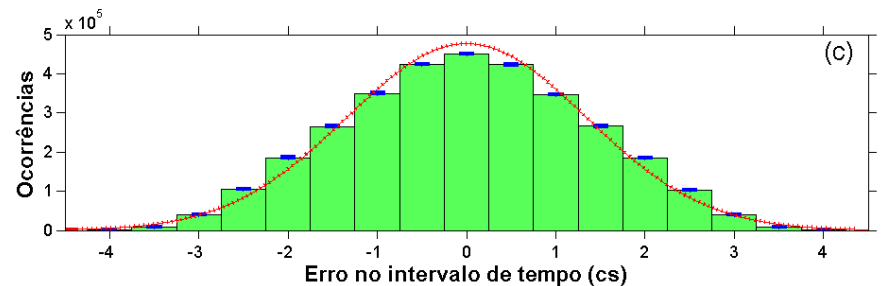
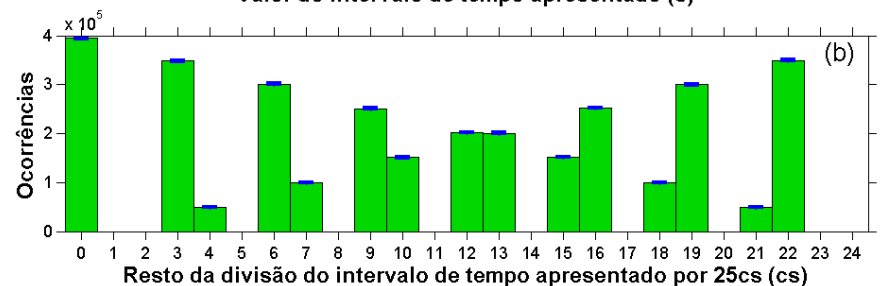
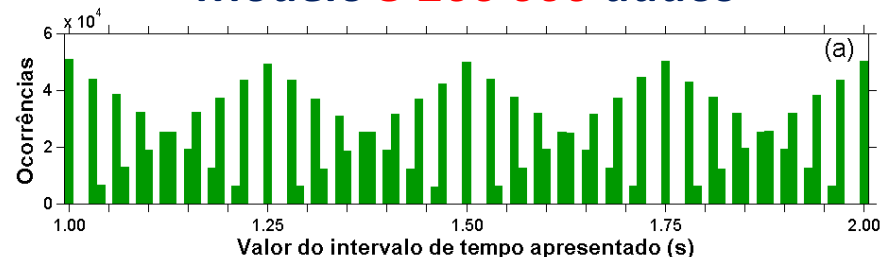
Comparação com dados simulados

(modelo no artigo publicado nos anais do SNEF 2015)

Experimento 32 181 dados



Modelo 3 200 000 dados



Modelo reproduz todas as características observadas, inclusive o pequeno desvio do histograma dos erros em relação à distribuição gaussiana: Curtose = 2,496 (3)

Conclusões

- Há modelos de cronômetros com dígitos *preferidos* e *proibidos*
- *Uso do Arduino e Webcam possibilitou descrever melhor o efeito*
- ***Efeito não compromete a qualidade dos dados***
 - *Não gera erro sistemático e não aumenta a dispersão de cronometragens*
- *Foi desenvolvido um possível modelo que explica as observações*
- *Trabalho ilustra cuidados com equipamentos digitais*
 - *Ex: não-linearidades diferencial e integral, taxa de amostragem, ...*
- *Outras observações:*
 - *Clock do Arduino UNO não é muito acurado (usa um oscilador cerâmico)*
 - ***Uso do LAP desloca o efeito em 2 cs e provoca erro sistemático residual***