

Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental

Prof. Zwinglio Guimarães

2º semestre de 2016

Tópico 1 – Revisão e nomenclatura

Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental – 2º Semestre 2016

- Professor: Zwinglio Guimarães
 - Departamento de Física Aplicada
 - Sala 221 Ed. Basílio Jafet
- Monitor: Leonardo Werneck
 - Departamento de Física Matemática
- Plantão de dúvidas
 - Segunda-feira, 16:00 às 17:00, com o professor (sala 221 Ed. Basílio Jafet)
 - Agendar horário para atendimento com o monitor
 - Dúvidas também podem ser enviadas pelo STOA

TEFE – 2º Semestre 2016

Bibliografia

- **Textos redigidos por professores do IFUSP**
 - Apostila de MEFE – 2015 (ler os capítulos 1 e 2 para a 2ª aula)
 - Outros textos disponíveis no STOA
 - Texto sobre termos usados em metrologia (ler para a 2ª aula)
 - Recomendação INC-1 (1980) sobre Incertezas Experimentais
- **Livros**
 - *Otaviano A. M. Helene & Vito R. Vanin*, Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental, Ed. Edgard Blücher (**Livro de referência da disciplina**)
 - *José Henrique Vuolo*, Fundamentos da Teoria de Erros, Ed. Edgard Blücher

TEFE – 2º Semestre 2016

Bibliografia suplementar

- **Guias disponibilizados pelo INMETRO (link no STOA)**
 - GUM – Guia para Expressão da Incerteza de Medições
 - VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia
- **Artigos**
 - *O. Helene et al.*, O que é uma medida?, Rev. Brasileira de Ensino de Física **v. 13** (1991) p. 12.
 - P. L. Junior e F. L. da Silveira, Sobre as incertezas do tipo A e B e sua propagação sem derivadas: uma contribuição para a incorporação da metrologia contemporânea aos laboratórios de física básica superior, Rev. Brasileira de Ensino de Física **v. 33** (2011) p. 2303.

Avaliações e critérios de aprovação

- Exercícios feitos em aula (E_x)
- Trabalho com apresentação de seminário (T_r)
- Provas individuais (P_1 e P_2)
 - Haverá uma prova extra (que substituirá a menor nota)
- A **média final (M)** é calculada por:

$$M = \frac{E_x + T_r + P_1 + P_2}{D}$$

o denominador D depende dos desempenhos notáveis:

$$D = 4 - 0,1 * N(\text{nota} \geq 9) + 0,4 * N(\text{nota} \leq 4)$$

Revisão de conceitos fundamentais sobre análise de dados

- **Algarismos significativos**
- **Erro e Incerteza. Origens e tipos de erros:**
 - Erros devidos a efeitos aleatórios e sistemáticos
 - Precisão, veracidade, exatidão
- **Procedimentos para a avaliação da incerteza:**
 - Desvio-padrão e Desvio-padrão da média; Incerteza devida a efeitos sistemáticos; Combinação de fontes de incerteza
 - Propagação de incertezas
- **Análise gráfica**
- **Conceito de redução de dados**

Alguns conceitos sobre medições

- Resultados experimentais sempre estão sujeitos a **erros**
 - De acordo com o efeito das fontes de erros em uma série de medições eles são classificados em aleatórios ou sistemáticos:
 - **Erros aleatórios** são aqueles que afetam de maneira diferente cada um dos dados medidos
 - Provocam a variação dos valores obtidos em medições repetidas
 - Seu efeito pode ser reduzido aumentando-se o número de dados
 - **Erros sistemáticos** são aqueles que afetam de maneira igual todos os dados medidos
 - Seu efeito não depende do número de dados medidos

A possibilidade de haver erros é que dá origem à **incerteza**

Erros

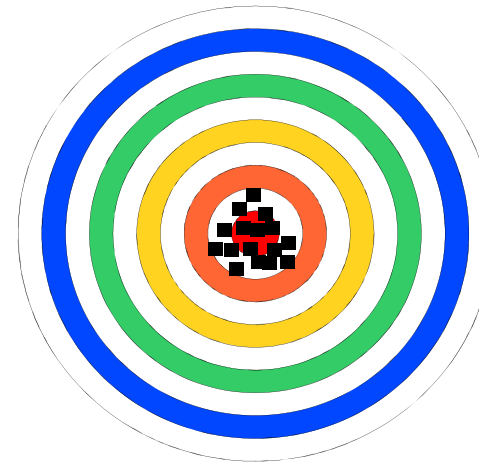
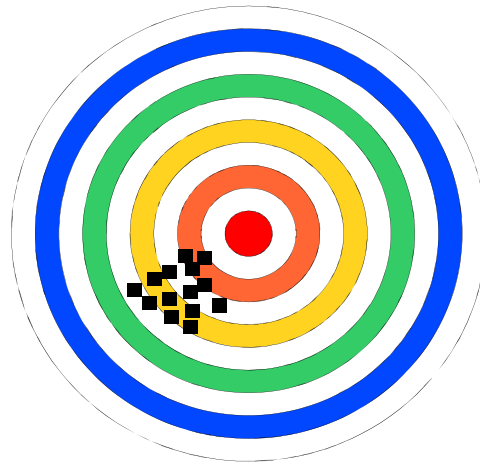
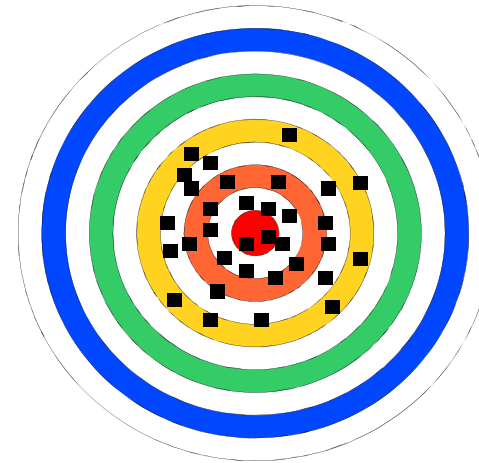
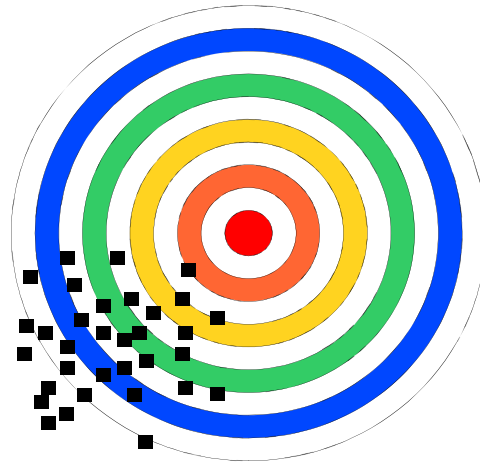
- O **erro** (ε) de uma medição é a diferença entre o valor medido (x) e o valor verdadeiro do mensurando (x_0):

$$x = x_0 + \varepsilon$$

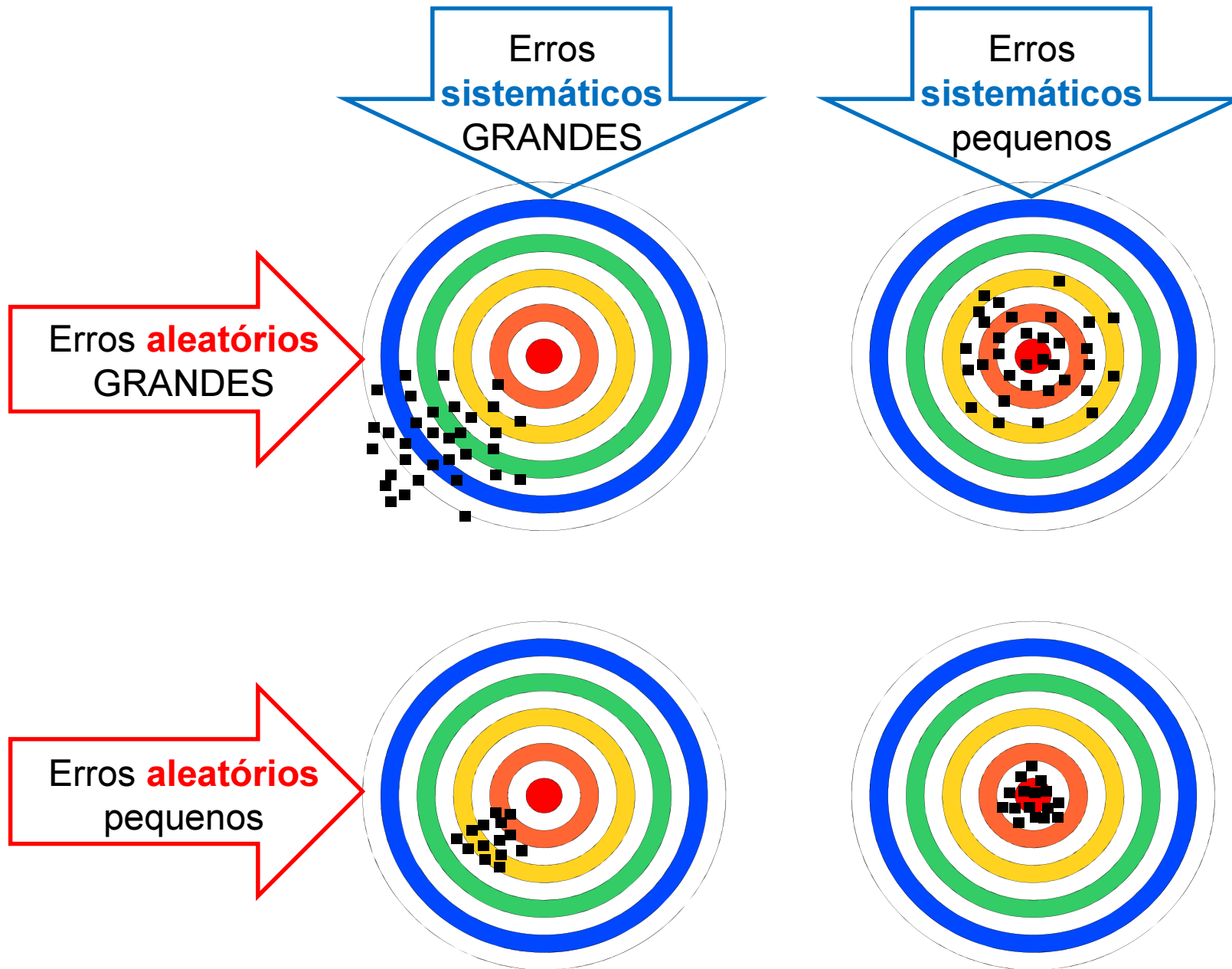
- O erro pode ser devido a diversos efeitos e toda medição está sujeita a erros.
- O erro corresponde à soma do erro aleatório (ε_a) com o sistemático (ε_s):

$$\varepsilon = \varepsilon_a + \varepsilon_s$$

Erros **aleatórios** e **sistemáticos**: 4 possibilidades



Erros **aleatórios** e **sistemáticos**: 4 possibilidades

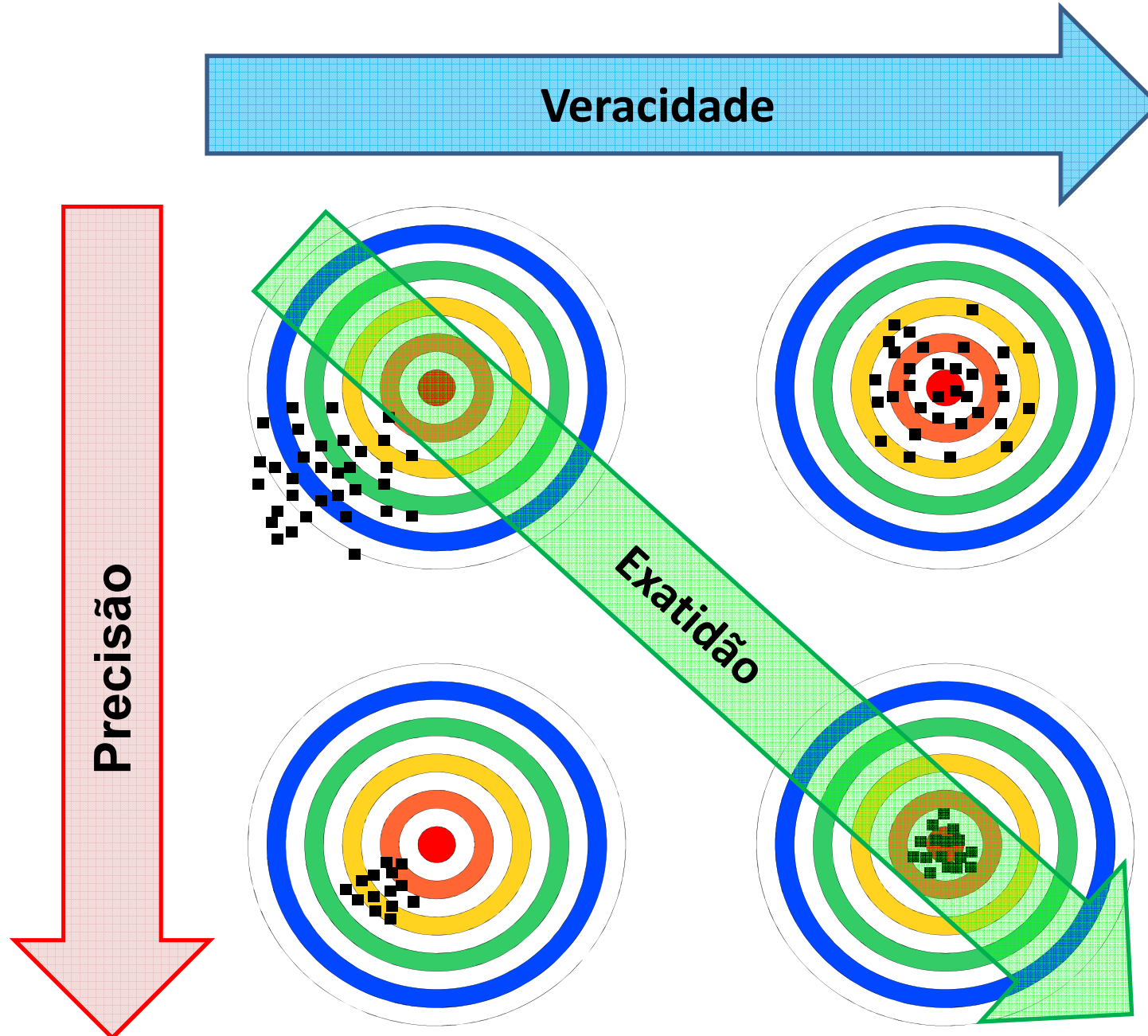


Termos úteis para qualificar medições

- Segundo o **VIM** (Vocabulário Internacional de Medições):
 - **Precisão** (*precision*): grau de concordância entre os valores obtidos em medições repetidas
 - Está relacionada apenas com os erros aleatórios
 - **Veracidade** (*trueness*): grau de concordância entre a média de infinitas medições repetidas e um valor de referência
 - Está relacionada apenas com os erros sistemáticos
 - **Exatidão** (*accuracy*) indica o grau de concordância entre o valor de uma medição e um valor de referência
 - Está relacionada tanto com os erros aleatórios quanto sistemáticos

Os **algarismos significativos** são úteis para se transmitir **toda** (e **somente**) as informações **relevantes** obtidas no experimento

Na nomenclatura do VIM:



Incerteza

- De acordo com o GUM, “A incerteza do resultado de uma medição caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando”
 - Embora seja importante fornecer a incerteza-padrão do resultado, é preciso ter em mente que há uma probabilidade considerável (cerca de $1/3$) de que o módulo do erro seja maior do que a incerteza-padrão.
 - Por esse motivo, na hora de avaliar o intervalo valores razoáveis do mensurando normalmente se considera um intervalo com algumas vezes (geralmente 3) a incerteza-padrão.

Combinação de incertezas

- A incerteza-padrão do resultado final precisa considerar as contribuições devidas aos erros aleatórios e sistemáticos e é dada por:

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_m)^2 + (\sigma_s)^2}$$

- σ_m é o desvio-padrão da média (incerteza na média devida ao efeito dos erros aleatórios)
- σ_s é a incerteza sistemática residual

Lei geral de propagação de incertezas:

$$\sigma_w^2 = \left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y \right)^2 + \dots$$

$$w = w(x, y, \dots)$$

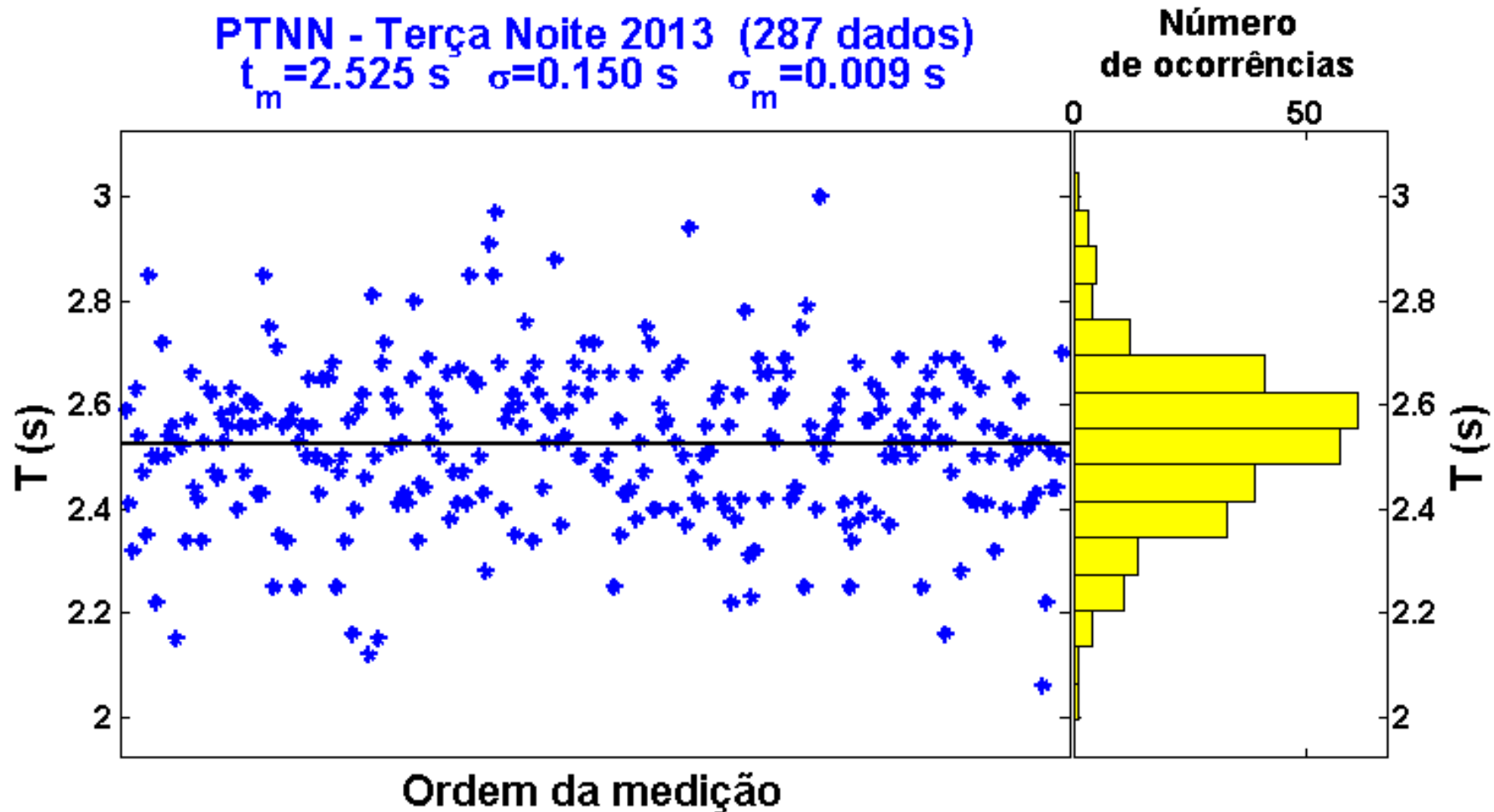
$$+ 2 \frac{\delta w}{\delta x} \frac{\delta w}{\delta y} \text{cov}(x, y) + \dots$$

Com dados estatisticamente independentes (covariâncias iguais a 0):

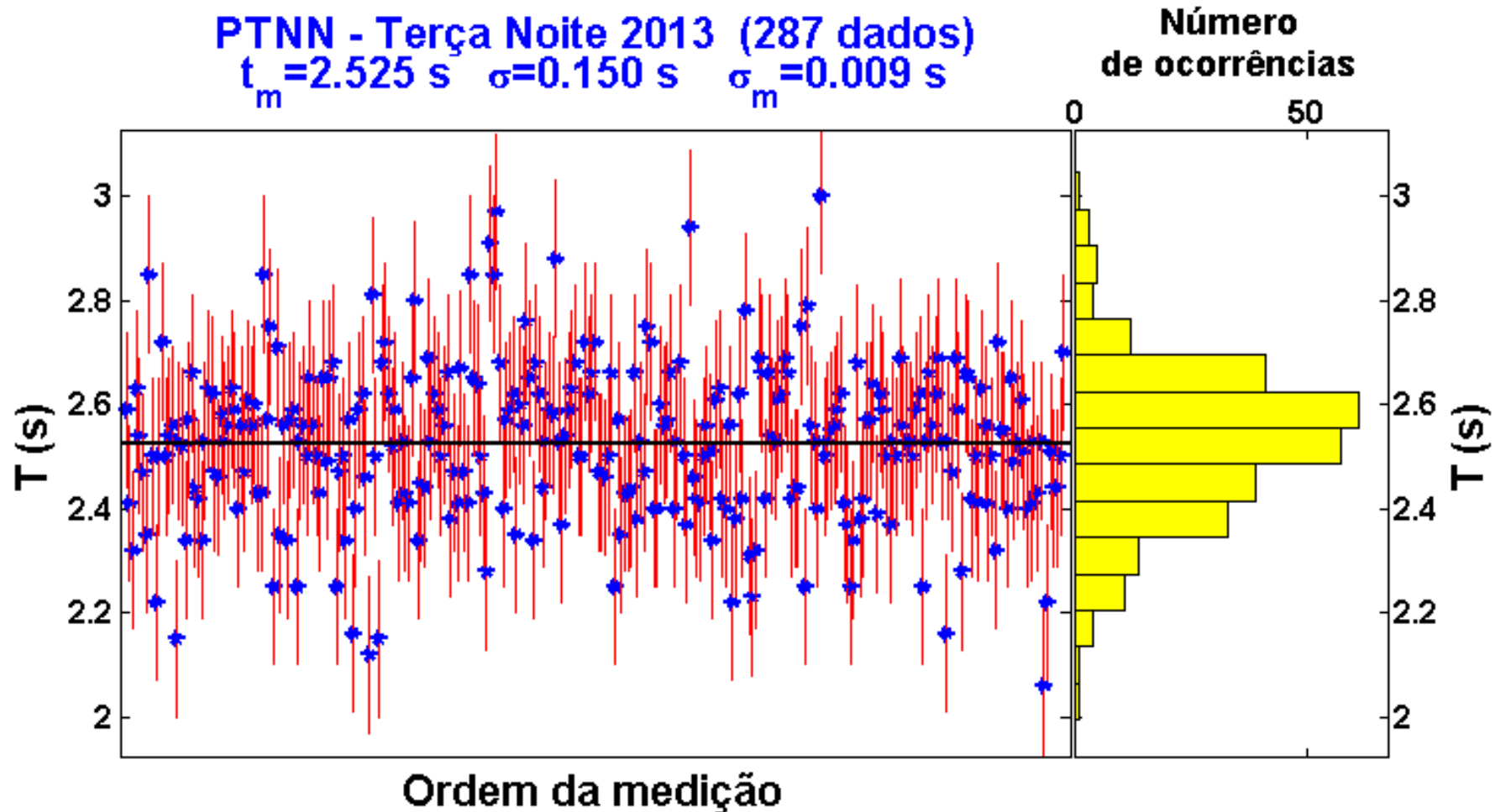
$$\sigma_w^2 = \left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y \right)^2 + \dots$$

Experimento dos balões

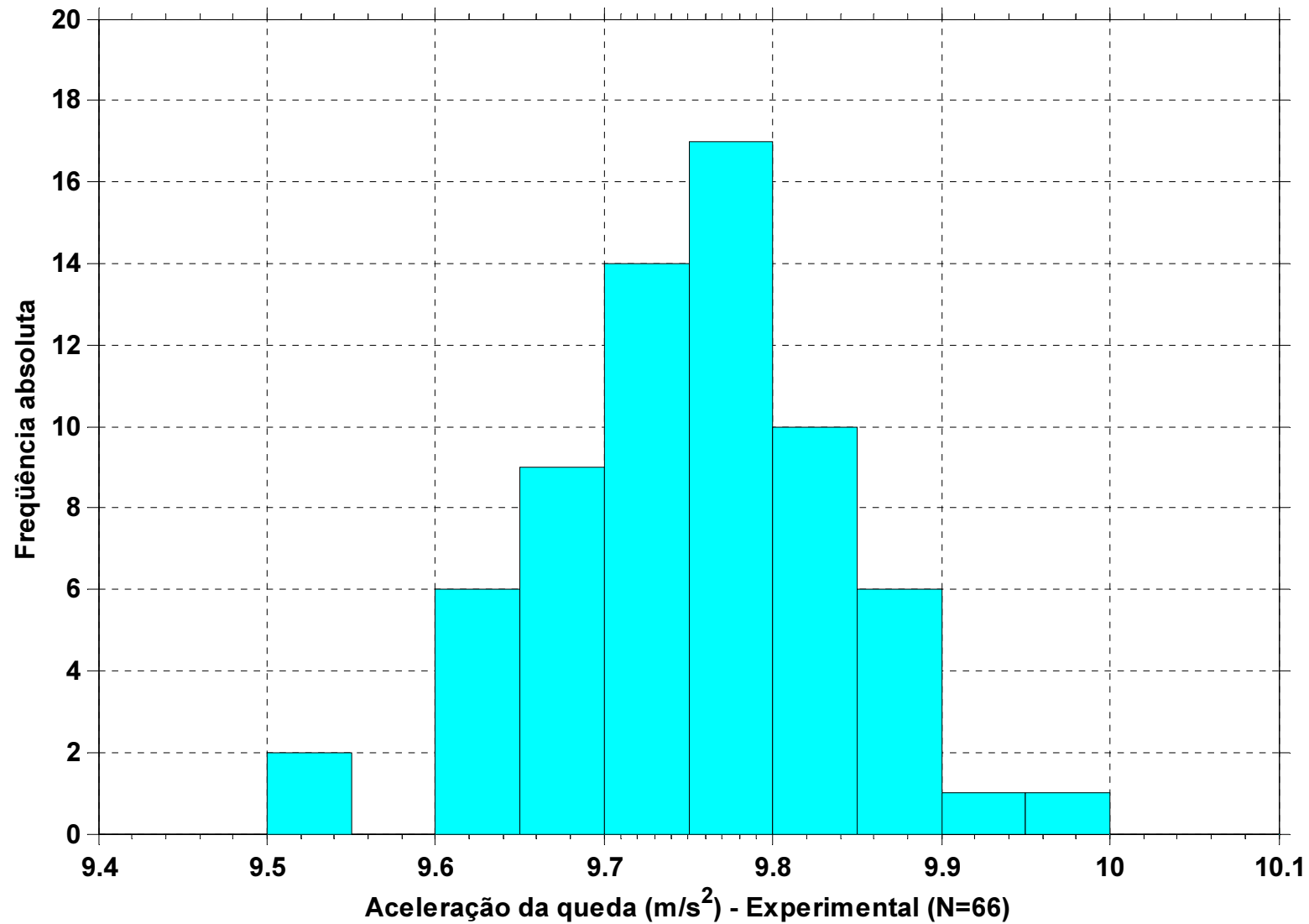
Duas formas equivalentes de se visualizar os dados



A interpretação do desvio-padrão da amostra como a incerteza de cada um dos dados

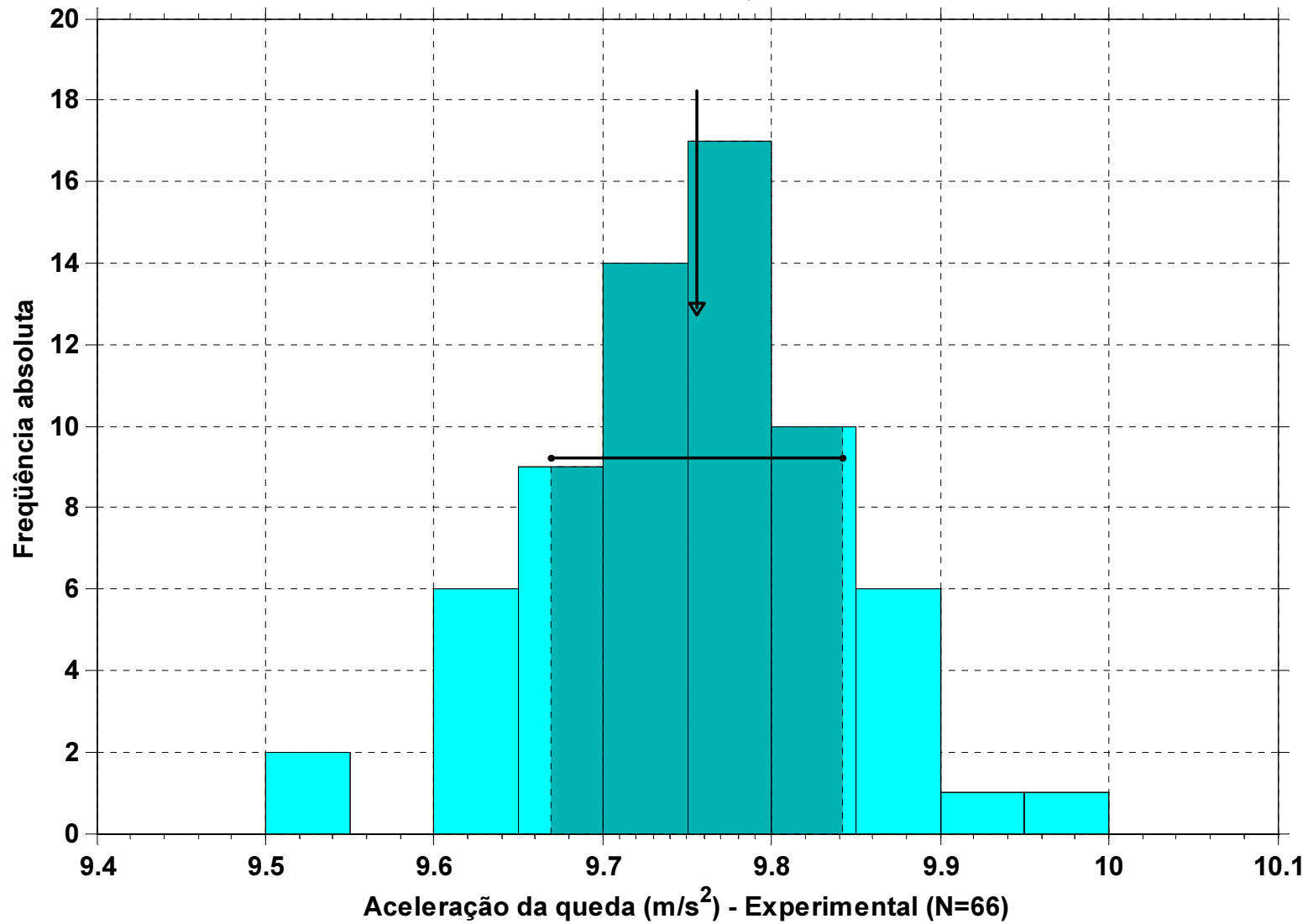


Histogramas: acelerações de queda obtidas no experimento de queda de um corpo

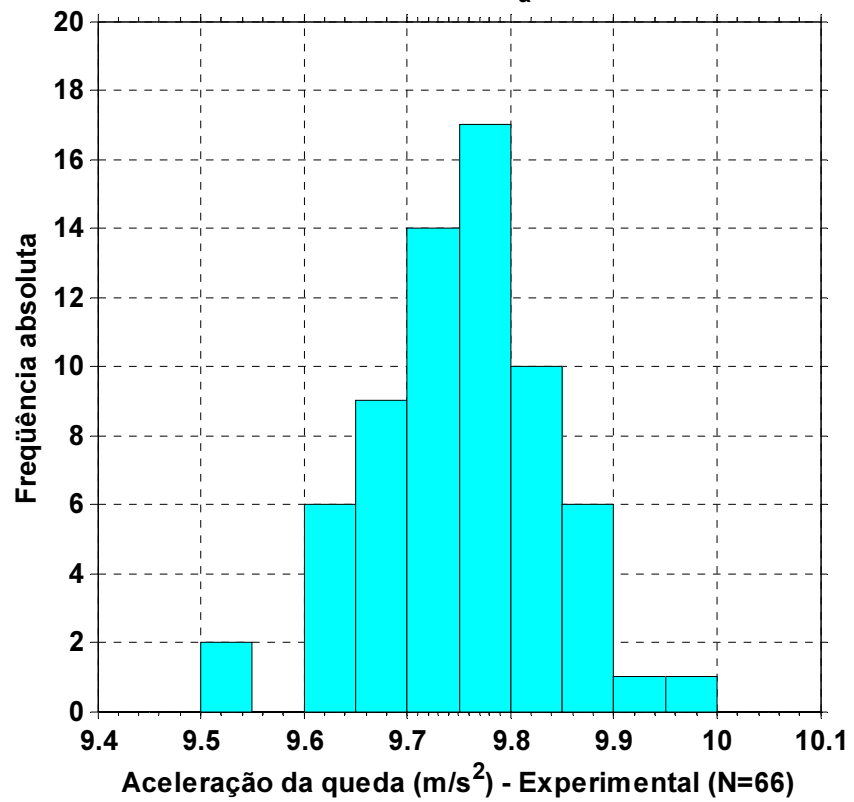


valores representativos

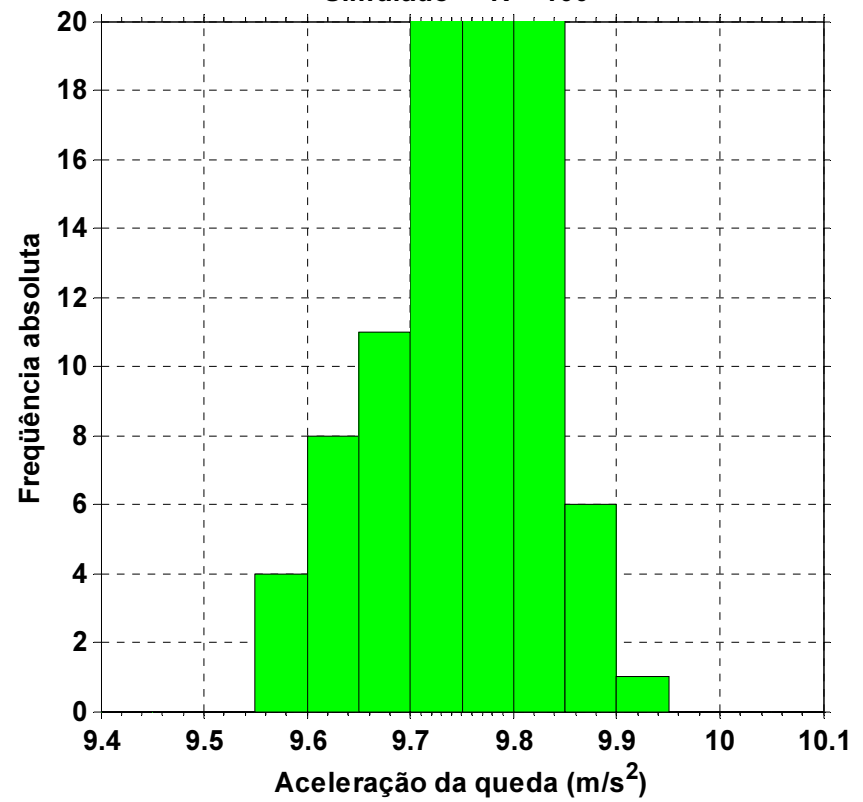
$a=9.756 (0.011) \text{ m/s}^2$, $s_a = 0.087 \text{ m/s}^2$



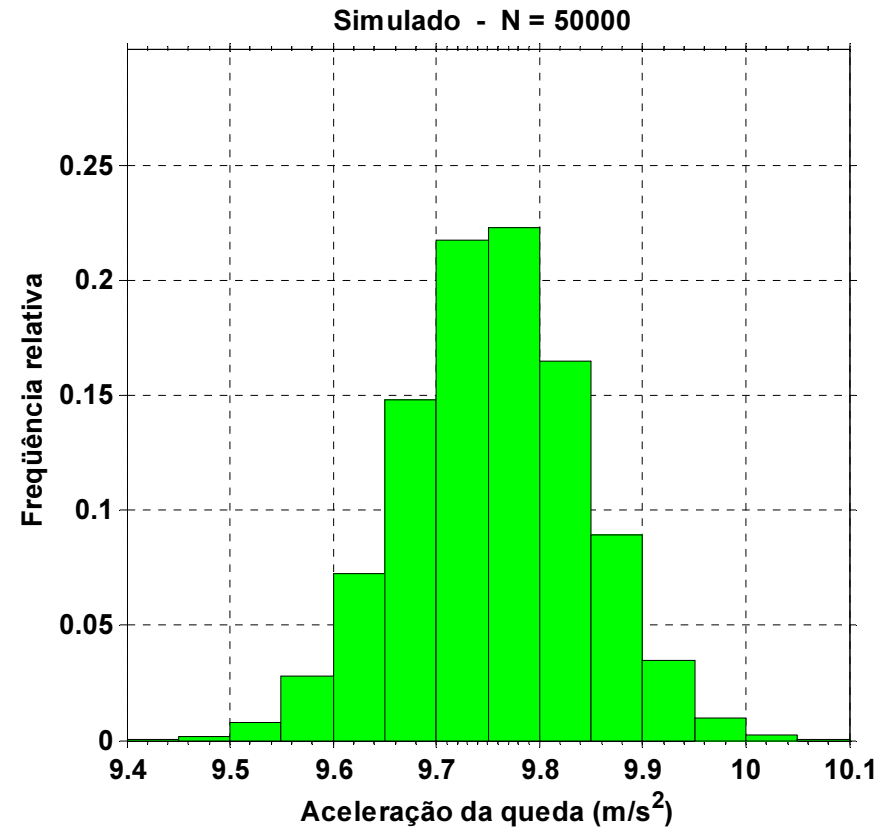
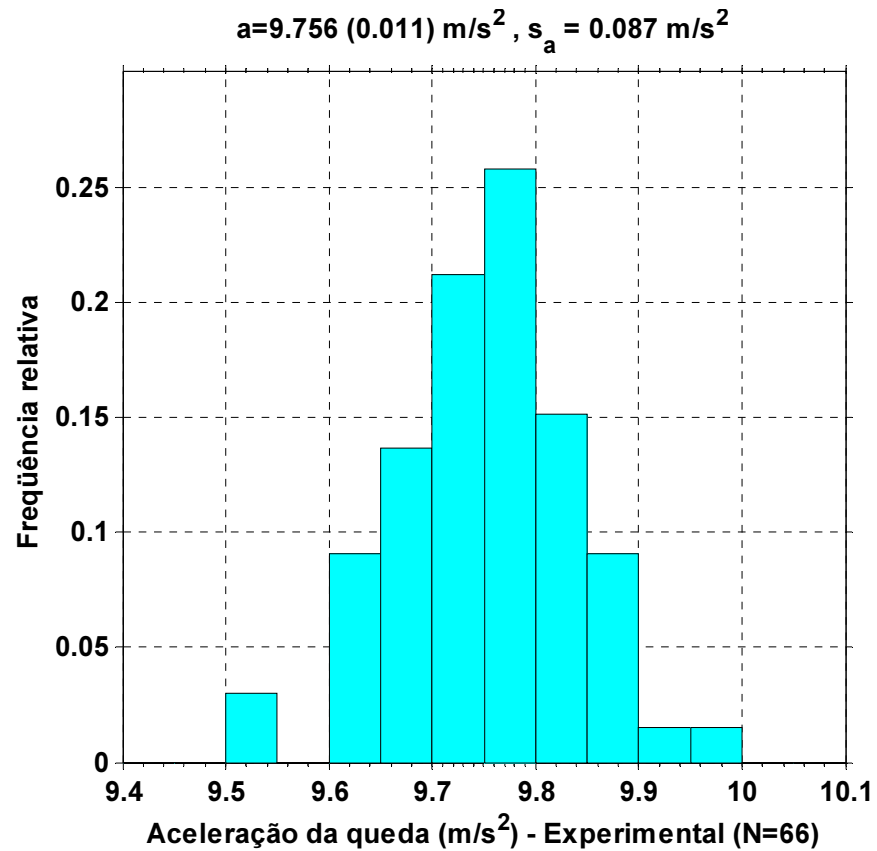
$a=9.756 (0.011) \text{ m/s}^2, s_a = 0.087 \text{ m/s}^2$



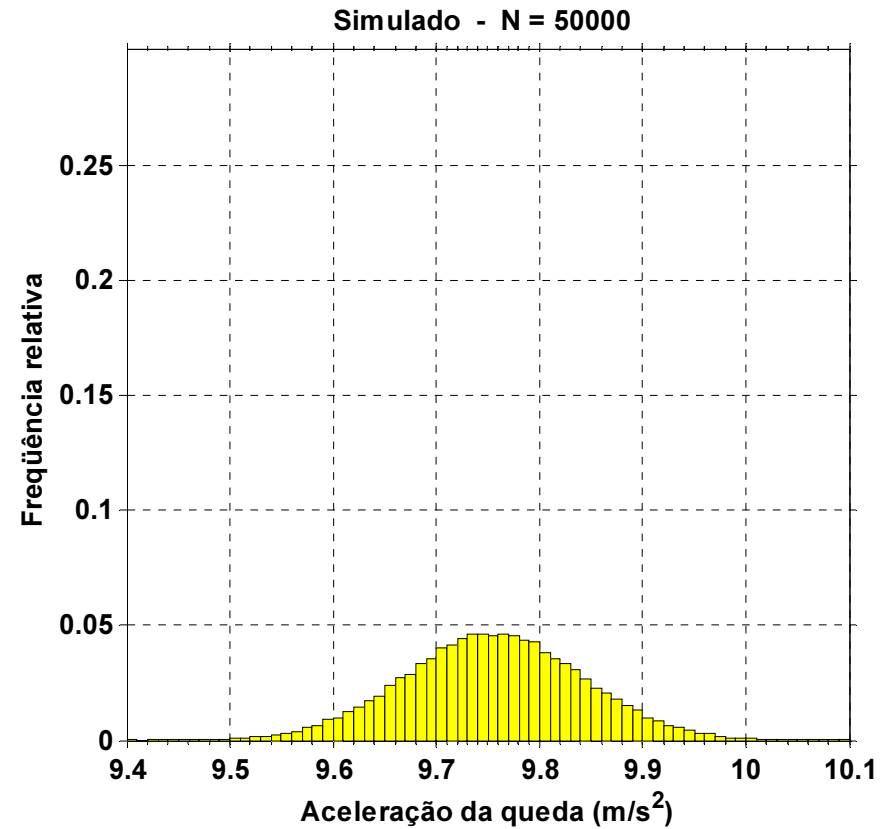
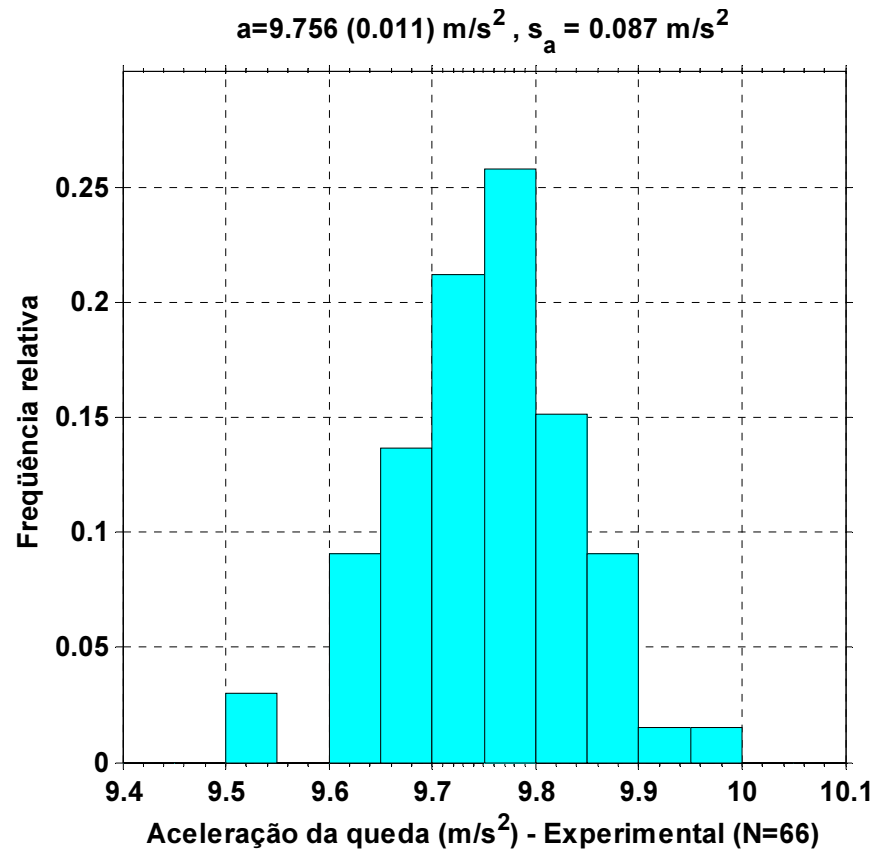
Simulado - N = 100



Passando as escalas verticais para Frequência relativa



Mudando a largura do canal da simulação para 0,01 m/s²



Passando as escalas verticais para Densidade de frequência

