

Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental

Prof. Zwinglio Guimarães

2º semestre de 2018

**Tópico 0 – Conceitos fundamentais sobre
medições e nomenclatura**

Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental – 2º Semestre 2018

- Professor: Zwinglio Guimarães
 - Departamento de Física Aplicada
 - Sala 221 Ed. Basílio Jafet
- Monitora: Taymara Dias
 - Sala 232 Ed. Basílio Jafet
- Plantão de dúvidas
 - Professor: Terça-feira, 15:00 (sala 221 Ed. Basílio Jafet)
 - Monitora: horário a combinar
 - Dúvidas também podem ser enviadas por e-mail ou pelo serviço de mensagens do STOA

TEFE – 2º Semestre 2018

Bibliografia

- **Textos redigidos por professores do IFUSP**
 - Apostila de MEFE (contem a parte teórica)
 - Outros textos disponíveis no STOA
 - Texto sobre termos usados em metrologia (**ler para próxima 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 2018

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. (ler para a próxima aula)*
 - *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

- Provas individuais (P_1 , P_2 e P_3)
 - A substitutiva é apenas para quem perder uma das provas
- Atividades feitas em aula (A_T)
- Trabalho com apresentação de seminário
 - OPCIONAL: substituirá a menor notas das provas

- A **média final (M)** será calculada por:

$$M = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + A_T}{D}$$

o denominador, D , depende dos **desempenhos notáveis**:

$$D = 4 - 0,2 * N(\text{nota} > 9) + 0,4 * N(\text{nota} < 4.5)$$

Referências e material para próxima aula

- Texto sobre termos e definições metrológicas ([disponível no STOA](#))
- Artigo "O que é uma medida?" Otaviano Helene et al. ([link no STOA](#))
- Bibliografia complementar: Capítulos 1 e 2 do Livro “Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental”, O. Helene e V. R. Vanin

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 o desvio-padrão da média
 - Incerteza residual devida as fontes de erro sistemáticos
 - Combinação de fontes de incerteza
 - Propagação de incertezas
- **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 imprevisível 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 previsível todos os dados medidos
 - Seu efeito não depende do número de dados medidos

A possibilidade de haver erros é que dá origem à incerteza

Um pouco de nomenclatura: os erros

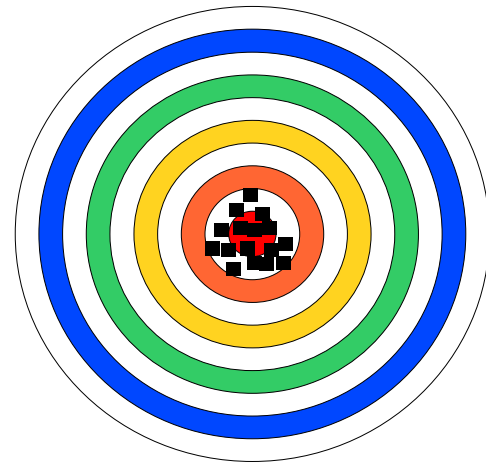
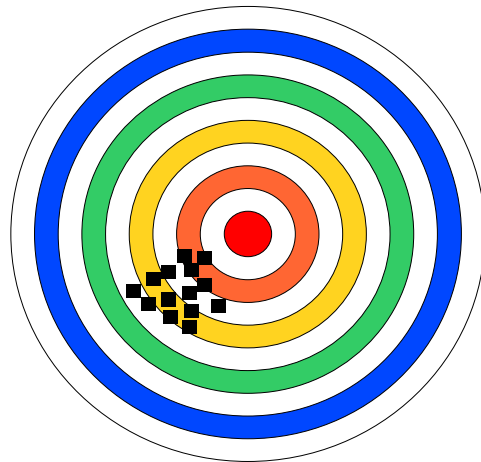
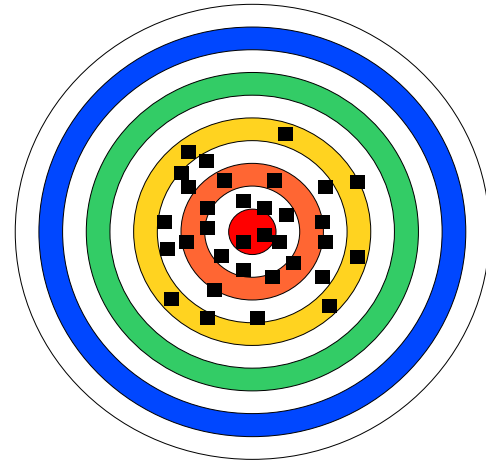
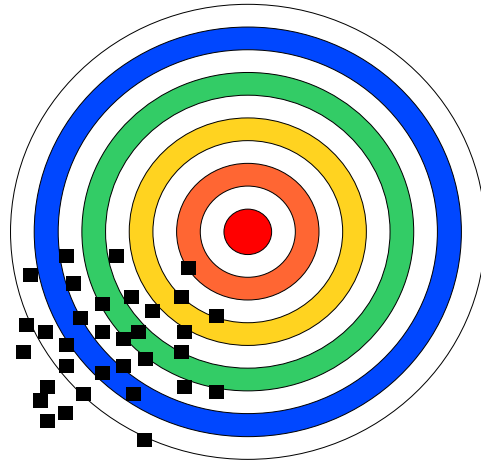
- O **erro** (ε) de uma medição é a diferença entre o valor medido (x) e o valor verdadeiro (x_0):

$$x = x_0 + \varepsilon$$

- O erro pode ser devido a diversos efeitos e toda medição está sujeita a erros.
- De acordo com o efeito em uma determinada série de medições, os erros são classificados em **aleatórios** (ε_a) ou **sistemáticos** (ε_s):

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

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

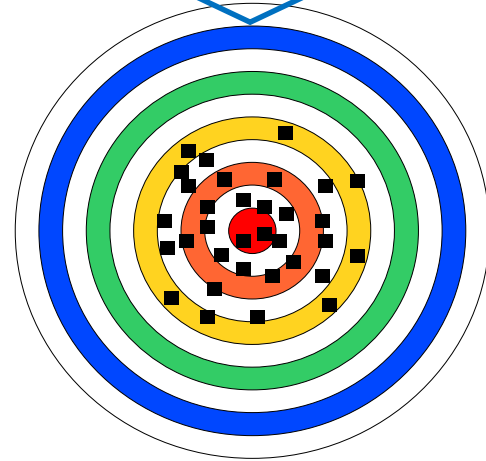
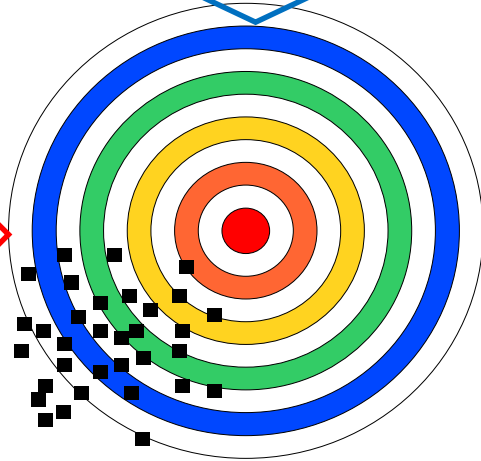


Erros **aleatórios** e **sistemáticos**: 4 possibilidades

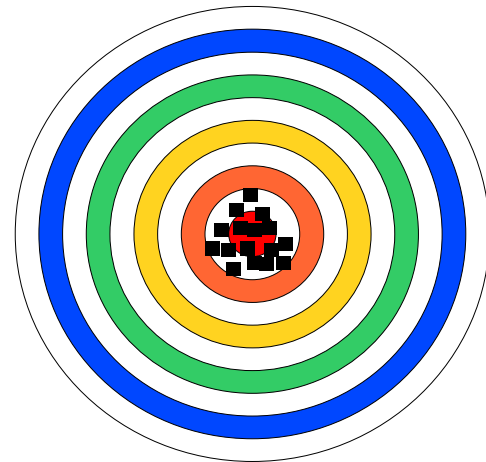
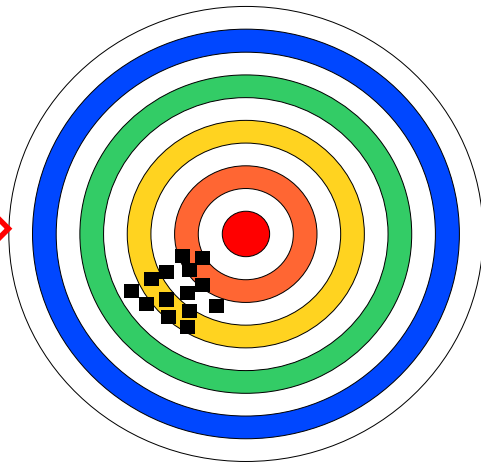
Erros
sistemáticos
GRANDES

Erros
sistemáticos
pequenos

Erros **aleatórios**
GRANDES



Erros **aleatórios**
pequenos

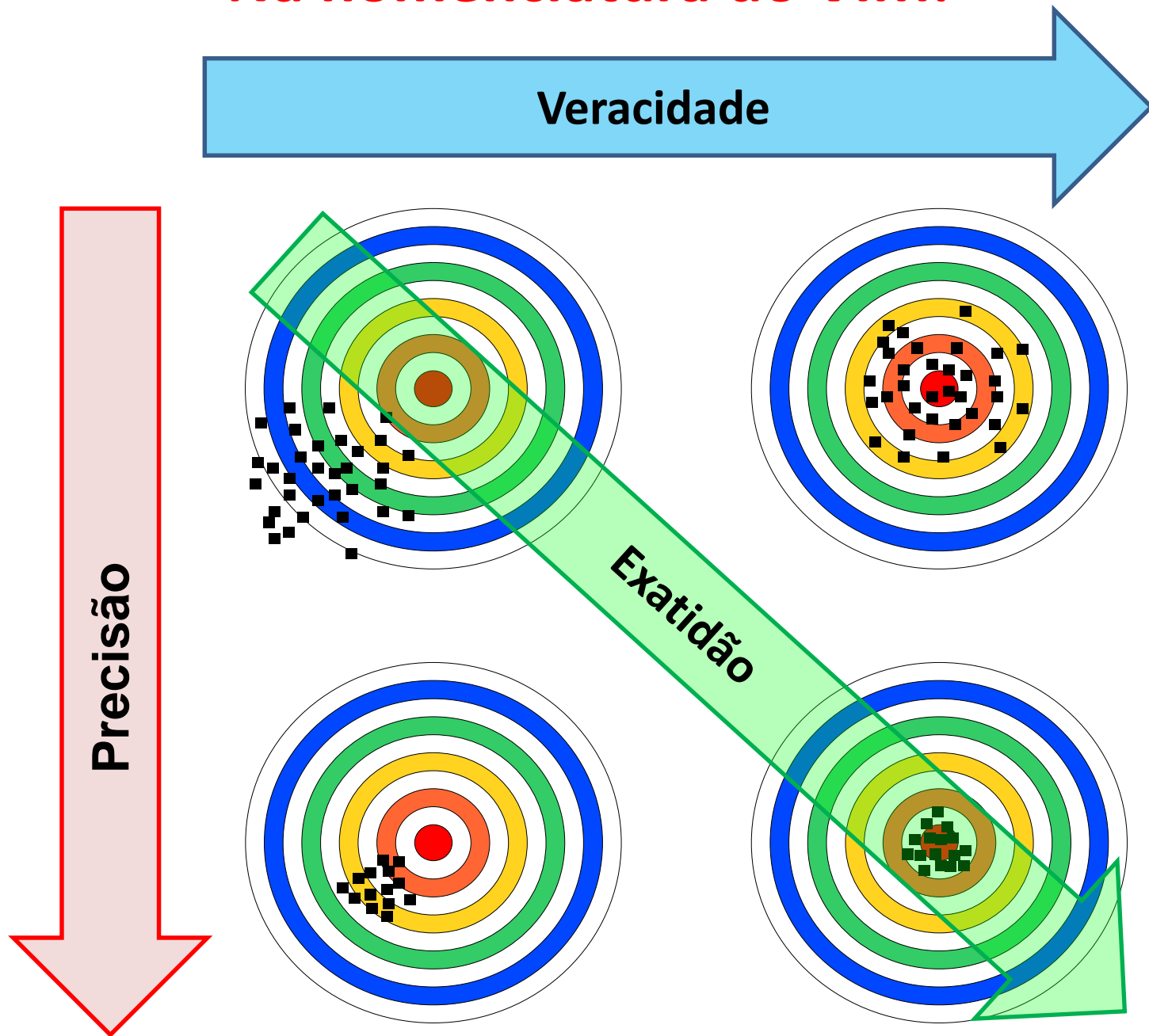


Termos úteis para qualificar medições

- 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.

Expressão para a incerteza devida aos erros aleatórios em uma medição

- A incerteza em cada medição **devida aos erros aleatórios** é estimada pelo **desvio-padrão da amostra**:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$$

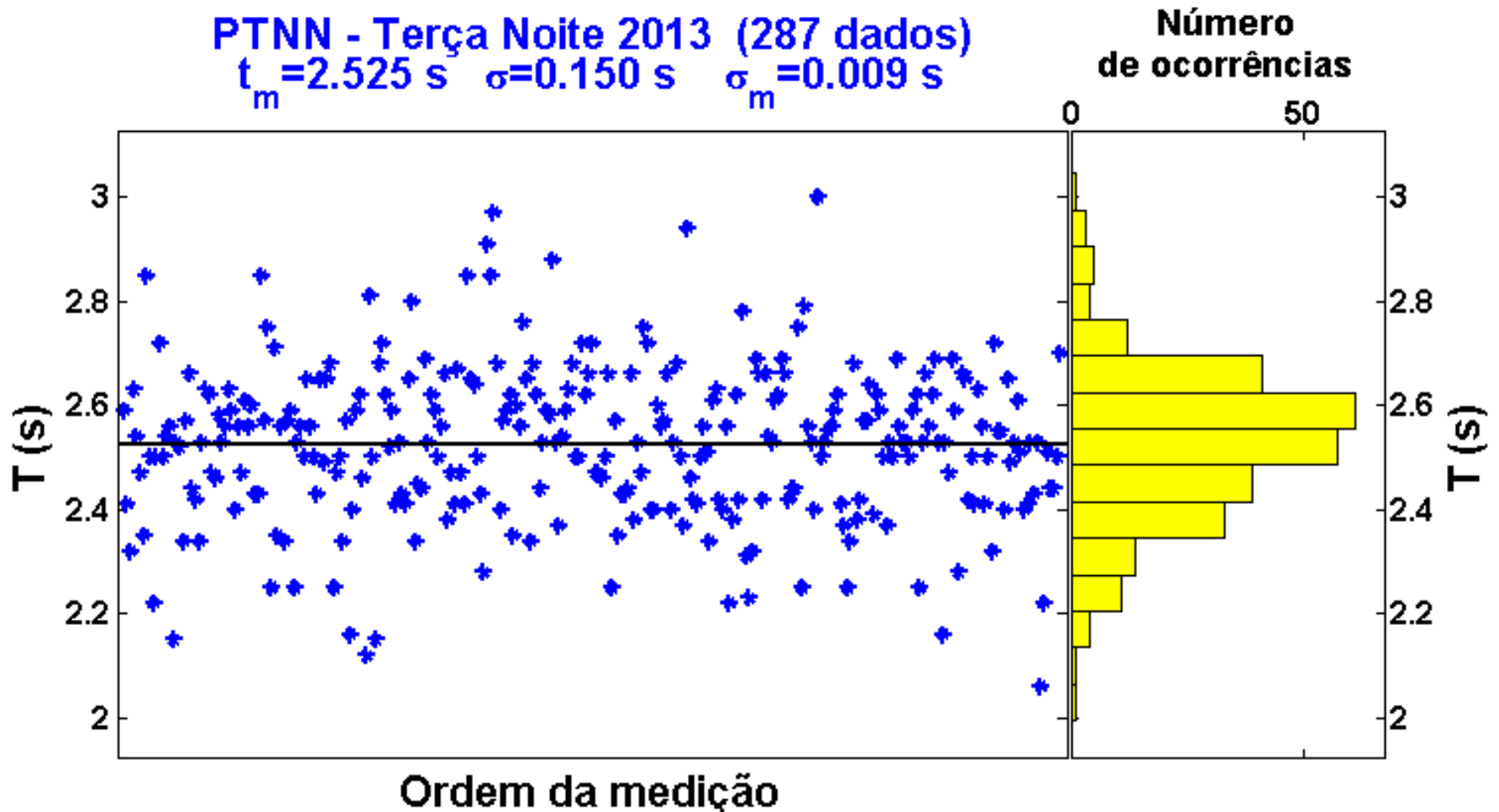
Geralmente corresponde à semi-largura do intervalo ao redor da média que contém cerca de 2/3 dos dados

- A incerteza no valor médio **devida apenas aos erros aleatórios** é dada pelo **desvio-padrão da média**:

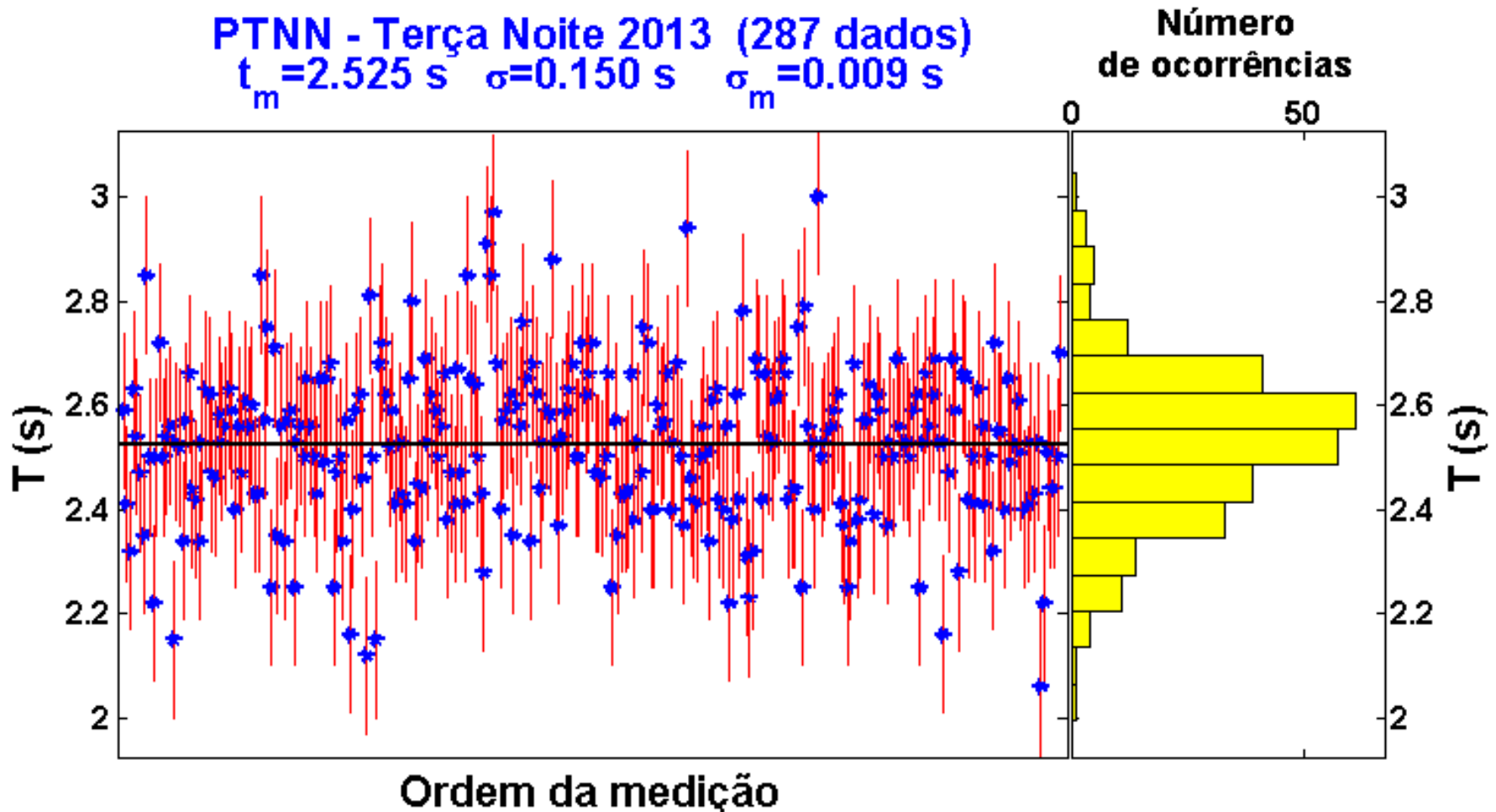
$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Experimento dos balões

Duas formas de visualizar a distribuição dos dados medidos



Interpretação do desvio-padrão da amostra como a incerteza de cada um dos dados (considerando apenas os erros aleatórios)



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:

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

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

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

**Com dados estatisticamente independentes
(covariâncias iguais a 0):**

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

Aplicação da lei geral de propagação de incertezas no planejamento de experimentos

(casos de dados estatisticamente independentes)

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

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

$$\sigma_w^2 = \left(\sigma_{w[x]} \right)^2 + \left(\sigma_{w[y]} \right)^2 + \dots$$

Composição da incerteza final devida às diversas fontes é feita pela soma quadrática das contribuições de cada fonte

Dominada pelo maior termo → Indica a incerteza a ser reduzida