

# MAT02025 - Amostragem 1

AAS: estimativa do erro padrão e intervalos de confiança

Rodrigo Citton P. dos Reis  
citton.padilha@ufrgs.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA  
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA

Porto Alegre, 2022

## Estimativa do erro padrão de uma amostra

## Estimativa do erro padrão

As fórmulas que nos dão os **erros padrões** das estimativas da **média** ( $\bar{y} = (1/n) \sum_{i=1}^n Y_i$ ) e **total** ( $\hat{Y}_T = N\bar{y}$ ) populacionais são usadas principalmente para três finalidades:

1. **comparar a precisão** obtida por amostragem aleatória simples com a precisão dada por outros métodos de amostragem;
2. para **estimar o tamanho da amostra** necessária em um levantamento que está sendo planejado;
3. para **estimar a precisão** realmente alcançada em um levantamento que foi concluído.

## Estimativa do erro padrão

- ▶ As expressões desenvolvidas na última aula envolvem  $S^2$ , a **variância da população**.
- ▶ **Na prática**, isso não **será conhecido**, **mas pode ser estimado** a partir dos dados da amostra.
  - ▶ Se vamos estimar  $S^2$ , não deveríamos fazer a mesma avaliação<sup>1</sup> que fizemos para  $\bar{y}$  e  $\hat{Y}_T$ ? (*Sim ou sim?*)

---

<sup>1</sup>Ou seja, avaliar a imparcialidade deste estimador.

# Estimativa do erro padrão

## Teorema 11.1

Em uma amostra aleatória simples,

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

é uma estimativa (estimador) **não enviesada** de

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}{N - 1}.$$

## Estimativa do erro padrão

**Demonstração.** Podemos escrever:

$$\begin{aligned}s^2 &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(Y_i - \overline{Y}) - (\bar{y} - \overline{Y})]^2 \\ &= \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \overline{Y})^2 - n(\bar{y} - \overline{Y})^2 \right].\end{aligned}$$

## Estimativa do erro padrão

Agora, calculamos a média de todas as amostras aleatórias simples de tamanho  $n$ :

$$\begin{aligned}
 E(s^2) &= E \left\{ \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 - n(\bar{y} - \bar{Y})^2 \right] \right\} \\
 &= \frac{1}{n-1} \left\{ E \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right] - nE[(\bar{y} - \bar{Y})^2] \right\} \\
 &= \frac{1}{n-1} \left[ \frac{n}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 - n\text{Var}(\bar{y}) \right] \\
 &= \frac{1}{n-1} \left[ \frac{n(N-1)}{N} S^2 - n \frac{S^2}{n} \frac{(N-n)}{N} \right] \\
 &= \frac{S^2}{(n-1)N} [n(N-1) - (N-n)] = S^2.
 \end{aligned}$$

## Estimativa do erro padrão

### Corolário 11.1

As estimativas (estimadores) imparciais das variâncias de  $\bar{y}$  e  $\hat{Y}_T = N\bar{y}$  são:

$$\widehat{\text{Var}}(\bar{y}) = s_{\bar{y}}^2 = \frac{s^2}{n} \left( \frac{N-n}{N} \right) = \frac{s^2}{n} (1-f),$$
$$\widehat{\text{Var}}(\hat{Y}_T) = s_{\hat{Y}_T}^2 = \frac{N^2 s^2}{n} \left( \frac{N-n}{N} \right) = \frac{N^2 s^2}{n} (1-f).$$

Para os erros padrões, teremos

$$s_{\bar{y}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{1-f}, \quad s_{\hat{Y}_T} = \frac{Ns}{\sqrt{n}} \sqrt{1-f}$$

- Essas estimativas apresentam um pequeno viés, mas, para a maioria das aplicações, o viés é desprezível.



# Estimativa do erro padrão

## Observação

- ▶ É preciso observar os símbolos empregados para a variância real e estimada dos estimadores. Assim, para  $\bar{y}$ , podemos escrever:
  - ▶ Variância real:  $\text{Var}(\bar{y}) = \sigma_y^2$
  - ▶ Variância estimada:  $\widehat{\text{Var}}(\bar{y}) = s_y^2$

# Intervalos de confiança

# Intervalos de confiança

- ▶ É geralmente assumido que as estimativas  $\bar{y}$  e  $\hat{Y}_T$  são normalmente **distribuídas** em torno dos correspondentes valores populacionais.
- ▶ As razões para esta suposição e suas limitações são consideradas em aulas futuras.

# Intervalos de confiança

- ▶ Se a suposição for válida, os **limites de confiança inferior** e **superior** para a média e o total da população são os seguintes:

## Para o valor médio

$$\hat{Y}_I = \bar{y} - \frac{zS}{\sqrt{n}}\sqrt{1-f}, \quad \hat{Y}_S = \bar{y} + \frac{zS}{\sqrt{n}}\sqrt{1-f};$$

## Para o valor total

$$\hat{Y}_{T_I} = N\bar{y} - \frac{zNs}{\sqrt{n}}\sqrt{1-f}, \quad \hat{Y}_{T_S} = N\bar{y} + \frac{zNs}{\sqrt{n}}\sqrt{1-f};$$

# Intervalos de confiança

- O símbolo  $z$  é o valor do desvio normal, correspondente à desejada probabilidade de confiança. Seus valores mais comuns são:

Probabilidade de confiança (%)	50	80	90	95	99
Valor de $z$	0,67	1,28	1,64	1,96	2,58

# Intervalos de confiança

## Observação

- ▶ Se o tamanho da amostra é inferior a 60, os valores percentuais podem ser obtidos da **tabela  $t$  de Student** com  $(n - 1)$  **graus de liberdade**, sendo estes os graus de liberdade na variância estimada,  $s^2$ .
  - ▶ A distribuição  $t$  só se verifica, exatamente, quando as observações  $Y_i$  são elas próprias normalmente distribuídas e  $N$  é infinito.
  - ▶ Os desvios moderados da normalidade não a afetam grandemente.
- ▶ Para pequenas amostras, com distribuições muito assimétricas, são necessários processos especiais.

## Exemplo

## Exemplo



- ▶ As assinaturas de uma petição foram coletadas em 676 folhas.
- ▶ Cada folha tinha espaço suficiente para 42 assinaturas, mas em muitas folhas um número menor de assinaturas foi coletado.
- ▶ O número de assinaturas por folha foi contado em uma amostra aleatória de 50 folhas (cerca de 7% da amostra), com os resultados apresentados na tabela a seguir.

$Y_i$	$n_i$	$Y_i$	$n_i$
42	23	14	1
41	4	11	1
36	1	10	1
32	1	9	1
29	1	7	1
27	2	6	3
23	1	5	2
19	1	4	1
16	2	3	1
15	2	-	-



## Exemplo

- ▶ O objetivo do levantamento amostral é estimar o **número total de assinaturas** para a petição e os limites de confiança de 80%.
- ▶ A **unidade de amostragem é a folha** e as **observações  $Y_i$  são os números de assinaturas por folha**.
- ▶ Observe que a distribuição original parece estar longe da normal, a maior frequência estando na extremidade superior.
- ▶ No entanto, há razões para acreditar, por experiência, que as médias das amostras de 50 unidades são aproximadamente normalmente distribuídas.

## Exemplo

► Assim, temos

$$n = \sum n_i = 50, \quad \sum n_i Y_i = 1471, \quad \sum n_i Y_i^2 = 54497.$$

Portanto, o total estimado do número de assinaturas é

$$\hat{Y}_T = N\bar{y} = \frac{(676)(1471)}{50} = 19887,92 \approx 19888.$$

Para a variância da amostra,  $s^2$ , temos

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{1}{n-1} \left[ \sum n_i (Y_i - \bar{y})^2 \right] = \frac{1}{n-1} \left[ \sum n_i Y_i^2 - \frac{(\sum n_i Y_i)^2}{\sum n_i} \right] \\ &= \frac{1}{49} \left[ 54497 - \frac{(1471)^2}{50} \right] = 228,9833 \approx 229. \end{aligned}$$

## Exemplo

Os limites de confiança de 80% são

$$19888 \pm \frac{zNs}{\sqrt{n}} \sqrt{1-f} = 19888 \pm \frac{(1,28)(676)(15,13)}{\sqrt{50}} \sqrt{1-0,0740}.$$

Isso fornece 18107 e 21669 para os limites de confiança de 80%<sup>2</sup>.

- Uma contagem completa mostrou, neste caso, que havia 21045 assinaturas.

---

<sup>2</sup>Uma estimativa mais precisa (sem considerar arredondamentos ao longo dos cálculos) é dada por 18104 e 21672.

## Para casa

- ▶ Refaça as demonstrações da aula de hoje.
- ▶ Utilize o **Teorema 11.1** apresentado na aula para demonstrar o **Corolário 11.1**.
- ▶ Com os dados do exemplo da aula:
  - ▶ construa um **intervalo de 95%** de confiança para o **número total** de assinaturas do requerimento;
  - ▶ construa um **intervalo de 90%** de confiança para o **número médio** de assinaturas por folha do requerimento;
  - ▶ interprete os seus resultados.

# Próxima aula

- ▶ O pacote survey.

# Por hoje é só!

Bons estudos!

