

# Planejamento Experimental

## Princípios básicos da experimentação

Prof. Dr. Idemauro A. R. de Lara  
Prof. Dr. Thiago de Paula Oliveira  
(colaborador na escrita do material diático)

Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

August 14, 2023

- 1 Definições
- 2 Hipóteses
- 3 Erro experimental
- 4 Instalação e condução do experimento
  - Tratamentos
- 5 Princípios básicos da experimentação
- 6 Referências

# Definições

## Planejamento

Fase fundamental para definir as seguintes etapas:

- 1 Ojetivos e hipóteses da pesquisa
- 2 Variáveis explicativas e respostas
- 3 Fatores que podem afetar o experimento (mensuráveis ou não mensuráveis)
- 4 Custos e tamanho amostral
- 5 Instalação e condução do experimento
- 6 Métodos de medição
- 7 Coleta dos dados
- 8 Análise estatística

# Hipóteses

- 1 Em Estatística, uma hipótese é uma afirmação sobre uma propriedade da população.
  - A produção média da cultivar A é diferente da cultivar B
  - A aplicação de um adubo foliar leva a um maior número médio de frutos por planta

# Hipóteses

- ① Em Estatística, uma hipótese é uma afirmação sobre uma propriedade da população.
  - A produção média da cultivar A é diferente da cultivar B
  - A aplicação de um adubo foliar leva a um maior número médio de frutos por planta
  
- ② Hipótese nula ou alternativa: para realizar um teste de hipóteses devemos considerar duas afirmações a respeito dos parâmetros, a primeira chamada hipótese nula ( $H_0$ ) e a segunda hipótese alternativa ( $H_a$ )
  - A produção média da cultivar A é diferente do que a da cultivar B

$$H_0 : \mu_A = \mu_B \quad \text{versus} \quad H_a : \mu_A \neq \mu_B$$

- A aplicação de um adubo foliar leva a um maior número médio de frutos por planta

$$H_0 : \mu_{\text{sem}} = \mu_{\text{com}} \quad \text{versus} \quad H_a : \mu_{\text{sem}} < \mu_{\text{com}}$$

# Exemplo

Suponha que devemos avaliar a produção de duas cultivares de milho em uma estufa sob as mesmas condições ambientais. Para a instalação do experimento foram disponibilizadas 10 plantas de cada cultivar.

- **Hipóteses:**

# Exemplo

Suponha que devemos avaliar a produção de duas cultivares de milho em uma estufa sob as mesmas condições ambientais. Para a instalação do experimento foram disponibilizadas 10 plantas de cada cultivar.

- **Hipóteses:**  $H_0$  : Em média, as cultivares têm a mesma produção

$$H_0 : \mu_A = \mu_B$$

$H_a$  : Em média, as cultivares não têm a mesma produção

$$H_a : \mu_A \neq \mu_B$$

- Quais seriam as possíveis variáveis que poderiam afetar o experimento?

# Exemplo

Suponha que devemos avaliar a produção de duas cultivares de milho em uma estufa sob as mesmas condições ambientais. Para a instalação do experimento foram disponibilizadas 10 plantas de cada cultivar.

- **Hipóteses:**  $H_0$  : Em média, as cultivares têm a mesma produção

$$H_0 : \mu_A = \mu_B$$

$H_a$  : Em média, as cultivares não têm a mesma produção

$$H_a : \mu_A \neq \mu_B$$

- Quais seriam as possíveis variáveis que poderiam afetar o experimento?
  - Variabilidade genética
  - Tempo de exposição de cada planta a luminosidade
  - Pequenas variações específicas de temperatura e umidade relativa
  - Viés na dose de nutrientes (macro e micronutrientes) por vaso

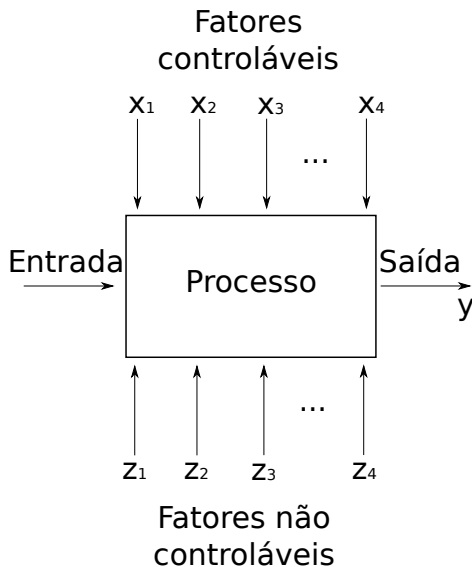


# Erro experimental

- ❶ Erro experimental: combinação de fatores ou variáveis que podem ou não podem ser medidas ao longo do experimento (Variação do acaso)
- Ex.: Todas as variáveis que não podem ser medidas têm um impacto específico na produção de cada planta:
  - Reduzindo
  - Não afetando
  - Aumentando
- Assumimos que essas variáveis afetam as plantas de maneira aleatória
- Erro experimental ( $\epsilon$ )  $\rightarrow$  variação do acaso

**Objetivo do planejamento:** Tornar mínima a variação do acaso!

# Exemplo



# Instalação e condução do experimento

- 1 Equipe de campo treinada  $\Rightarrow$  resultados confiáveis

# Instalação e condução do experimento

- 1 Equipe de campo treinada  $\Rightarrow$  resultados confiáveis
- 2 Percepção acerca da natureza e dos objetivos do trabalho (redução do erro experimental)

# Instalação e condução do experimento

- 1 Equipe de campo treinada  $\Rightarrow$  resultados confiáveis
- 2 Percepção acerca da natureza e dos objetivos do trabalho (redução do erro experimental)
- 3 Princípios básicos da experimentação

# Instalação e condução do experimento

- 1 Equipe de campo treinada  $\Rightarrow$  resultados confiáveis
- 2 Percepção acerca da natureza e dos objetivos do trabalho (redução do erro experimental)
- 3 Princípios básicos da experimentação
- 4 Definir todos os materiais experimentais

# Instalação e condução do experimento

- 1 Equipe de campo treinada  $\Rightarrow$  resultados confiáveis
- 2 Percepção acerca da natureza e dos objetivos do trabalho (redução do erro experimental)
- 3 Princípios básicos da experimentação
- 4 Definir todos os materiais experimentais
- 5 Definir a área experimental

# Instalação e condução do experimento

- 1 Equipe de campo treinada  $\Rightarrow$  resultados confiáveis
- 2 Percepção acerca da natureza e dos objetivos do trabalho (redução do erro experimental)
- 3 Princípios básicos da experimentação
- 4 Definir todos os materiais experimentais
- 5 Definir a área experimental
- 6 A instalação do experimento deve ser realizada em poucas horas



# Instalação e condução do experimento

- 1 Equipe de campo treinada  $\Rightarrow$  resultados confiáveis
- 2 Percepção acerca da natureza e dos objetivos do trabalho (redução do erro experimental)
- 3 Princípios básicos da experimentação
- 4 Definir todos os materiais experimentais
- 5 Definir a área experimental
- 6 A instalação do experimento deve ser realizada em poucas horas
- 7 Definir os tratamentos e a unidade experimental

# Instalação e condução do experimento

- 1 Equipe de campo treinada  $\Rightarrow$  resultados confiáveis
- 2 Percepção acerca da natureza e dos objetivos do trabalho (redução do erro experimental)
- 3 Princípios básicos da experimentação
- 4 Definir todos os materiais experimentais
- 5 Definir a área experimental
- 6 A instalação do experimento deve ser realizada em poucas horas
- 7 Definir os tratamentos e a unidade experimental
- 8 Definir o tamanho e a forma da unidade experimental (parcela)

# Instalação e condução do experimento

- 1 Equipe de campo treinada  $\Rightarrow$  resultados confiáveis
- 2 Percepção acerca da natureza e dos objetivos do trabalho (redução do erro experimental)
- 3 Princípios básicos da experimentação
- 4 Definir todos os materiais experimentais
- 5 Definir a área experimental
- 6 A instalação do experimento deve ser realizada em poucas horas
- 7 Definir os tratamentos e a unidade experimental
- 8 Definir o tamanho e a forma da unidade experimental (parcela)
- 9 Definir se há necessidade de bordadura

# Tratamentos

## Tratamentos

São variações controladas de um ou mais fatores de interesse da pesquisa

# Tratamentos

## Tratamentos

São variações controladas de um ou mais fatores de interesse da pesquisa

## Exemplos:

- Cultivar de cana-de-açúcar, soja, girassol, café, . . .
- Tipo de adubo ou doses de um determinado nutriente
- Inseticida ou herbicida para controle de determinada praga

# Tratamentos

## Tratamentos

São variações controladas de um ou mais fatores de interesse da pesquisa

## Exemplos:

- Cultivar de cana-de-açúcar, soja, girassol, café, . . .
- Tipo de adubo ou doses de um determinado nutriente
- Inseticida ou herbicida para controle de determinada praga

## Tratamento controle ou testemunha

Caracterizado

- pela ausência de tratamento (controle negativo)
- por um tratamento padrão (controle positivo)

# Tratamentos

## Tratamentos

Quando há dois ou mais fatores de interesse, os tratamentos são compostos pelas **combinações dos níveis desses fatores**

# Tratamentos

## Tratamentos

Quando há dois ou mais fatores de interesse, os tratamentos são compostos pelas **combinações dos níveis desses fatores**

## Fator

- Em um experimento, o fator é uma variável explanatória cujos níveis são determinados pelo pesquisador.
- Cada fator deve ter dois ou mais níveis.



# Tratamentos

## Tratamentos

Quando há dois ou mais fatores de interesse, os tratamentos são compostos pelas **combinações dos níveis desses fatores**

## Fator

- Em um experimento, o fator é uma variável explanatória cujos níveis são determinados pelo pesquisador.
- Cada fator deve ter dois ou mais níveis.

## Nível de um fator

O nível do fator representa uma quantidade, intervalo, ou categoria de interesse do pesquisador.

# Exemplo

Uma empresa deseja testar a eficiência de dois adubos químicos no florescimento de três cultivares de soja.

- 1 Níveis de adubos:  $A_1$  e  $A_2$
- 2 Níveis de cultivar:  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$

# Exemplo

Uma empresa deseja testar a eficiência de dois adubos químicos no florescimento de três cultivares de soja.

- 1 Níveis de adubos:  $A_1$  e  $A_2$
- 2 Níveis de cultivar:  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$

$A_1C_1$	$A_1C_2$	$A_1C_3$
$A_2C_1$	$A_2C_2$	$A_2C_3$

# Unidades experimentais ou parcela

## Definição

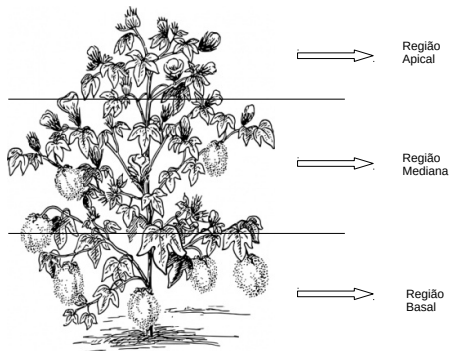
Entidades físicas ou biológicas que, geralmente, irão receber os tratamentos.



www.alamy.com - AT4P03



# Unidades experimentais ou parcela



(a) Algodão



(b) *Aphis gossypii*

# Unidades experimentais ou parcela

- Uma planta
- Um vaso com duas plantas / três plantas ...
- Três linhas de 10 metros plantadas com soja
- Duas vacas
- Três Frangos

# Unidades experimentais ou parcela

- Parcelas: devem ter o mesmo tamanho e mesma forma
- Número de indivíduos por parcela:
  - 1 Um indivíduo
  - 2 Dois ou mais indivíduos (melhor!)
    - 1 Menor risco de perda de parcela
    - 2 Pode-se trabalhar com o valor médio das observações dentro da parcela
    - 3 Pode-se estimar a variabilidade dentro da parcela
    - 4 É esperado que:

Variabilidade dentro da parcela	$\leq$	Variabilidade entre as parcelas
---------------------------------	--------	---------------------------------

# Variável resposta ou variáveis respostas de um experimento

**Definição:** É uma ou mais características medidas ou observadas no experimento, que estão relacionadas ao objetivo da pesquisa.

## Exemplos:

- 1 Altura da planta
- 2 Massa seca da planta
- 3 DAP de uma espécie de Eucalipto
- 4 Ácidez total titulável, grau BRIX e firmeza de um fruto
- 5 Ganho de massa muscular em animais



# Bordadura

- 1 Bordadura é a parte do experimento cujas funções são
  - 1 evitar a mistura de tratamentos aplicados em parcelas vizinhas
  - 2 evitar a influência de fatores não controláveis em alguns tratamentos. Ex.: luz solar, vento, umidade

# Bordadura

- 1 Bordadura é a parte do experimento cujas funções são
  - 1 evitar a mistura de tratamentos aplicados em parcelas vizinhas
  - 2 evitar a influência de fatores não controláveis em alguns tratamentos. Ex.: luz solar, vento, umidade
- 2 Os três principais tipos de bordaduras
  - 1 Meia bordadura: uma única fileira de plantas entre parcelas vizinhas
  - 2 Bordadura completa: duas fileiras de plantas entre parcelas vizinhas
  - 3 Bordadura dupla: quatro fileiras de plantas entre parcelas vizinhas
- 3 Outros tipos de bordadura:
  - 1 com lona
  - 2 com sacos plásticos
  - 3 por vasos ou tubetes em casa de vegetação

# Princípios básicos da experimentação

- 1 Repetição (estimar o erro experimental)
- 2 Casualização
  - Dar a mesma probabilidade de um tratamento ser atribuído a uma parcela
  - Assegura a validade da estimativa do erro experimental
  - Assegura a pressuposição de independência dos erros
- 3 Controle local
  - Assegura a homogeneidade das parcelas dentro de cada grupo (Bloco)
  - Estimar o efeito sistemático de grupo
  - Finalidade: Reduzir o erro experimental. É esperado que:

Variabilidade dentro da parcela	$\leq$	Variabilidade entre as parcelas	$\leq$	Variabilidade entre os grupos (blocos)
---------------------------------	--------	---------------------------------	--------	--

# Princípios básicos da experimentação: Repetição

Trat.

A
B

Repetição

A	A	A	A
B	B	B	B

# Princípios básicos da experimentação: Repetição

- Hipótese prática: A massa seca da cultivar B é maior do que a da cultivar A
- Hipótese estatística:  $H_0 : \mu_A = \mu_B$  contra  $H_a : \mu_A < \mu_B$
- Variável resposta: massa seca de uma planta em gramas

Trat.

A
<b>15</b>
B
<b>20</b>

$$\hat{\mu}_A = 15$$

$$\hat{\mu}_B = 20$$

Repetição

A	A	A	A
<b>15</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	<b>24</b>
B	B	B	B
<b>20</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>18</b>

$$\hat{\mu}_A = 19,75$$

$$\hat{\mu}_B = 18,25$$

$$\hat{\sigma}_A = 3,77$$

$$\hat{\sigma}_B = 1,25$$

# Princípios básicos da experimentação: Casualização

- Hipótese prática: A massa seca da cultivar B é maior do que a da cultivar A
- Hipótese estatística:  $H_0 : \mu_A = \mu_B$  contra  $H_a : \mu_A < \mu_B$

Trat.

A
<b>15</b>
B
<b>20</b>

$$\hat{\mu}_A = 15$$

$$\hat{\mu}_B = 20$$

Repetição e  
Casualização

B	B	A	A
<b>16</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	<b>24</b>
B	A	B	A
<b>20</b>	<b>22</b>	<b>18</b>	<b>20</b>

$$\hat{\mu}_A = 21,75$$

$$\hat{\mu}_B = 18,25$$

$$\hat{\sigma}_A = 1,71$$

$$\hat{\sigma}_B = 1,70$$

# Princípios básicos da experimentação: Casualização

Trat.

A
<b>15</b>
B
<b>20</b>

Repetição e  
Casualização

B	B	A	A
<b>16</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	<b>24</b>
B	A	B	A
<b>20</b>	<b>22</b>	<b>18</b>	<b>20</b>

**Importante:**

- Após a casualização, a chance de  $y_{Bj} > y_{Aj}$  ocorre por acaso com probabilidade

$$\frac{4!4!}{8!} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 \times 4!}{8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4!} = \frac{1}{280}$$

# Princípios básicos da experimentação: Controle local

- Dentro de cada bloco os fatores físicos e ambientais devem ser homogêneos (afetar as parcelas da mesma forma).

B	A	B	A
B	A	A	B

+  $\xrightarrow{\hspace{10em}}$  Gradiente -

## Controle Local

A	B	B	A
B	A	A	B

Bloco I

Bloco II

Bloco III

Bloco IV

+  $\xrightarrow{\hspace{10em}}$  Gradiente -



# Principais delineamentos experimentais

- 1 Delineamento inteiramente casualizado
  - 1 Repetição
  - 2 Casualização
- 2 Delineamento casualizado em blocos
  - 1 Repetição
  - 2 Casualização dos tratamentos dentro do bloco
  - 3 Controle local em um sentido
- 3 Delineamento Quadrado Latino
  - 1 Repetição
  - 2 Casualização dos tratamentos dentro do bloco
  - 3 Controle local em **dois** sentidos

# Referências

Mead, R., Gilmour, S.G., Mead, A. **Statistical principles for the design of experiments: applications to real experiments.**  
Cambridge university Press: New York, 1 ed., 2012.

Montgomery, D. C. **Design and Analysis of Experiments.** John Wiley & Sons, 8 ed., 2013