
Experimentos em Quadrado Latino

—

Estatística Experimental

Características gerais

- ❑ O Quadrado Latino é um delineamento apropriado para ambientes experimentais heterogêneos.
- ❑ Foi proposto com a finalidade de controlar duas fontes de variabilidade presentes nas unidades experimentais.
- ❑ O controle local é feito estabelecendo dois tipos de blocos completos: as linhas (homogêneas para um fator de variabilidade nas unidades experimentais) e as colunas (homogêneas para o outro fator de variação nas parcelas).
- ❑ Em cada linha e coluna, terá tantas parcelas quanto forem os tratamentos.

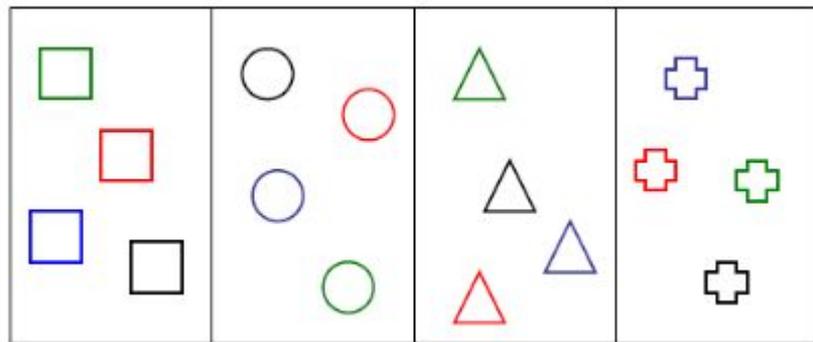
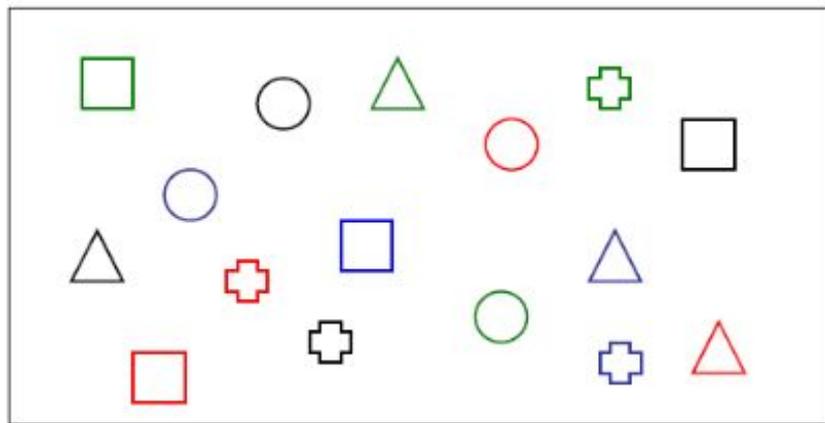
- ❑ Utiliza-se de três princípios básicos da experimentação.
- ❑ Possui um controle local mais eficiente que o delineamento em blocos casualizados (controle na horizontal e na vertical).
- ❑ Os tratamentos são distribuídos de forma que apareçam somente uma vez em cada linha e em cada coluna.
- ❑ O número de parcelas a constituírem o experimento é sempre um quadrado perfeito, já que cada linha e cada coluna deverá conter todos os tratamentos uma única vez.
- ❑ Assim o número de tratamentos deve ser igual ao número de repetições e, conseqüentemente, aos números de linhas e colunas.

Quando são utilizados?

- ❑ Quando há duas fontes principais de variação e que podem ser controladas (ambiental e/ou material Experimental).

Exemplo de Fatores:

- ❑ Diferenças de fertilidade do solo em duas direções.
- ❑ Diferenças simultâneas de leitegada (influência da mãe) e peso de leitões lactentes.
- ❑ Diferenças atribuídas a dia da semana e operador (máquinas).



 B	 D	 A	 C
 C	 A	 B	 D
 D	 B	 C	 A
 A	 C	 D	 B

Ilustração: Ensaios contínuos com suínos

O D.Q.L. é bastante empregado em ensaios com animais de porte médio.

- Fatores de variação a controlar:
 - ❑ Raça (Duroc/Hampshire) ou grau de sangue (3/4 Landrace + 1/4 Large White).
 - ❑ Sexo.
 - ❑ Idade e peso inicial.
 - ❑ Filiação (pais).
 - ❑ Instalação e condução do ensaio.

Parcelas

- ❑ Um ou mais leitões, ou toda a leitegada (conjunto dos leitões nascidos em um único parto: leitoada).

Período pré-experimental

- ❑ Vermifugar os animais e fornecer uma ração padrão visando a uniformização do peso. Descartar animais problemáticos (doentios, diarreia) para que eles não sejam mais uma fonte de variação indesejável na pesquisa.

Pesagem

- ❑ Durante o período de amamentação, a cada 7 dias (em geral) até a desmama.

Recomendação

- ❑ Tirar o alimento no dia anterior ao da pesagem e separar os leitões da mãe por uma ou 2 horas. A variável resposta deve ser obtida limpa de erros de medida, medindo aquilo que foi convertido em massa e não aquilo que foi consumido. Existe uma fraude conhecida na venda de suínos/bois/frangos/galinhas em que o vendedor enche o estômago/papo dos animais de milho/água e em seguida os vende. Após a desmama, pesar em intervalos de 14 dias (em geral) ou em outros intervalos segundo o interesse da pesquisa.

Período experimental

- ❑ Usar o tempo necessário para o tratamento mostrar o seu efeito. Em caso de dúvida, uma boa revisão de literatura pode ajudar muito.

Modelo matemático

$$y_{ijk} = \mu + l_j + c_k + t_i + e_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, I$$

$$j = 1, 2, \dots, J$$

$$k = 1, 2, \dots, K$$

$$I = J = K$$

em que:

y_{ijk} : valor da parcela que receber o tratamento i na linha j e coluna k

μ : média geral, sem efeito de tratamento, linha e coluna.

l_j : efeito da linha j (1^a. variável de controle).

c_k : efeito da coluna k (2^a. variável de controle).

t_i : efeito do tratamento i .

e_{ijk} : efeito dos fatores não controlados da parcela que receber o tratamento i , na linha j e coluna k .

Hipóteses do modelo

❑ Aditividade

Não pode haver interação entre as variáveis de controle e tratamento. Assume-se que não haja interação entre Linha \times Tratamento ou Coluna \times Tratamento. Um gráfico de dispersão dos resíduos das variáveis de controle \times Tratamentos, ajuda a verificar problemas de falta de aditividade do modelo.

❑ Homogeneidade de variâncias

❑ Normalidade e independência de erros

Observações

- ❑ Os Q. L. com 5 a 8 tratamentos são os mais usados.
- ❑ Os . L. com 2 tratamentos não são usados isoladamente pois o resíduo fica com 0 g.l.
- ❑ Os Q. L. com 3 e 4 tratamentos são usados, desde que repetidos várias vezes e depois analisados conjuntamente.

Linha (j)	Colunas (k)						Totais
	1	2	...	k	...	K	
1	y_{311}^C	y_{112}^A		y_{41k}^D		y_{21K}^B	L_1
2	y_{221}^B	y_{322}^C	...	y_{12k}^A	...	y_{42K}^D	L_2
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
j	y_{4j1}^D	y_{2j2}^B	...	y_{3jk}^C	...	y_{1jK}^A	L_j
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
J	y_{1J1}^A	y_{4J2}^D	...	y_{2Jk}^B	...	y_{3JK}^C	L_J
Totais	C_1	C_2	...	C_k	...	C_K	G

Obtenção da ANOVA

$$C = \frac{G^2}{JK}$$

$$\text{S.Q. Total} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{ijk}^2 - C \quad (IK - 1)gl \quad \text{ou} \quad (IJ-1)gl \quad (KJ-1)gl$$

$$\text{S.Q. Linhas} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^J L_j^2 - C \quad (J - 1)gl$$

$$\text{S.Q. Colunas} = \frac{1}{J} \sum_{k=1}^K C_k^2 - C \quad (K - 1)gl$$

Obter T_1 T_2 ... T_I \rightarrow Totais de tratamentos

$$\text{S.Q. Tratamentos} = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^I T_i^2 - C \quad (I-1)gl$$

$$\text{S.Q. Resíduo} = \text{S.Q. Total} - \text{S.Q.L} - \text{S.Q.C} - \text{S.Q. Tratamentos}$$

$$Gl \text{ do Resíduo} = I^2 - 1 - (I-1) - (I-1) - (I-1)$$

Quadro ANOVA

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.
Tratamentos	$(I - 1)$	S.Q. Trat.	S.Q. Trat. / $(I - 1)$
Linhas	$(J - 1) = (I - 1)$	S.Q. Linhas	S.Q. Linhas / $(I - 1)$
Colunas	$(K - 1) = (I - 1)$	S.Q. Colunas	S.Q. Colunas / $(I - 1)$
Resíduo	$(I - 1)(I - 2)$ por dif.	S.Q. Resíduo	S.Q. Res. / $(I - 1)(I - 2)$
Total	$(IK - 1) = (I^2 - 1)$	S.Q. Total	

Exemplo

Em um ensaio de alimentação de suínos usou-se um quadrado latino de 4x4, com os seguintes resultados, referentes aos ganhos de peso, em kg, ao fim de 252 dias, em que os tratamentos foram:

A – Castração aos 56 dias de idade.

B – Animais inteiros.

C – Castração aos 7 dias de idade.

D – Castração aos 21 dias de idade.

As colunas tinham como objetivo controlar a variação de peso dos leitões dentro de cada leitegada.

Linhas	Colunas				Totais
	1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	4 ^a .	
Leitegada 1	93,0 (A)	108,6 (B)	108,9 (C)	102,0 (D)	412,5
Leitegada 2	115,4 (B)	96,5 (D)	77,9 (A)	100,2 (C)	390,0
Leitegada 3	102,1 (C)	94,9 (A)	116,9 (D)	96,0 (B)	409,9
Leitegada 4	117,6 (D)	114,1 (C)	118,7 (B)	97,6 (A)	448,0
Totais	428,1	414,1	422,4	395,8	1.660,4

$$T_A = 363,4$$

$$T_B = 438,7$$

$$T_C = 425,3$$

$$T_D = 433,0$$

$$C = \frac{(1.660,4)^2}{16} = 172.308,01$$

$$\begin{aligned} \text{S.Q. Total} &= (93,0)^2 + (115,4)^2 + \dots + (97,6)^2 - C \\ &= 174.220,08 - C \\ &= 1.912,07 \end{aligned}$$

$$\text{S.Q. Colunas} = \frac{1}{4}(428,1^2 + \dots + 395,8^2) - C$$

$$= 172.456,955 - C$$

$$= 148,945$$

$$\text{S.Q. Linhas} = \frac{1}{4}(412,5^2 + \dots + 448,0^2) - C$$

$$= 172.744,565 - C$$

$$= 436,555$$

$$\begin{aligned}
 \text{S.Q. Tratam.} &= \frac{1}{4}(363,4^2 + \dots + 433,0^2) - C \\
 &= 173.221,585 - C \\
 &= 913,575
 \end{aligned}$$

$$\text{S.Q. Resíduo} = 412,995$$

Quadro 3. ANVA

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	913,575	304,525	4,42 ^{ns}
Linhas	3	436,555	145,5183	2,11 ^{ns}
Colunas	3	148,945	49,6483	0,72 ^{ns}
Resíduo	6	412,995	68,8325	
Total	15	1.912,070		

$$F_{(3, 6, 0,05)} = 4,76$$

Teste de Tukey:

$$\Delta = q \sqrt{\frac{Q.M.Res.}{I}}$$

$$q_{(4; 6; 0,05)} = 4,90$$

$$\Delta = 4,90 \sqrt{\frac{68,8325}{4}} = 20,3265$$

$$\hat{\mu}_B = 109,675 \quad a$$

$$\hat{Y}_1 = \hat{\mu}_B - \hat{\mu}_A = 18,825^{ns}$$

$$\hat{\mu}_D = 108,25 \quad a$$

$$\hat{\mu}_C = 106,325 \quad a$$

$$\hat{\mu}_A = 90,85 \quad a$$