8 DELINEAMENTO EM QUADRADO LATINO

O delineamento em quadrado latino, apesar de sua alta eficiência, é pouco utilizado na pesquisa agropecuária por ter uma flexibilidade muito menor que os outros, ou seja, ele exige que o número de tratamentos seja igual ao número de repetições. Devido a isso, geralmente não se usam quadrados latinos no caso de ter-se mais de oito tratamentos, pois então o número de repetições seria, não raro, um pouco exagerado. Por outro lado, os quadrados latinos de 3 x 3 e 4 x 4 encerram tão poucas parcelas que só podem ser usados se o experimento incluir vários quadrados latinos, e se fizer uma análise conjunta. Tais experimentos instalados de acordo com este delineamento são denominados de experimentos em quadrado latino.

Os experimentos em quadrado latino também levam em consideração os três princípios básicos da experimentação: repetição, casualização e controle local. Contudo, o controle local é mais eficiente que o delineamento em blocos casualizados, pois controla a heterogeneidade do ambiente tanto na horizontal como na vertical, ou seja, os blocos são organizados de duas maneiras diferentes, uns constituindo as linhas, outros as colunas.

Quanto à casualização, neste delineamento os tratamentos são distribuídos nos blocos de tal forma que cada um apareça uma só vez em cada linha e em cada coluna. O procedimento é o seguinte: parte-se de um quadrado latino sistemático, que é obtido colocando-se as letras que representam os tratamentos numa mesma ordem na linha e coluna, no qual se numera os blocos, tanto na horizontal como na vertical, conforme indicado a seguir:

	1’	2’	3’	4’	5’
1	A	B	C	D	E
2	B	C	D	E	A
3	C	D	E	A	B
4	D	E	A	B	C
5	E	A	B	C	D

Quadrado I

A seguir procede-se a uma casualização das linhas (ou colunas) do Quadrado I, obtendo-se o Quadrado II, que apresenta as linhas casualizadas.

	1’	2’	3’	4’	5’
4	D	E	A	B	C
5	E	A	B	C	D
2	B	C	D	E	A
1	A	B	C	D	E
3	C	D	E	A	B

Quadrado I I

Neste Quadrado II, casualizam-se as colunas (ou linhas) e obtém-se o Quadrado III, que apresenta a dupla casualização, tendo assim concluído a casualização do delineamento em quadrado latino.

	3’	1’	4’	5’	2’
4	A	D	B	C	E
5	B	E	C	D	A
2	D	B	E	A	C
1	C	A	D	E	B
3	E	C	A	B	D

Quadrado I I I

Após ter concluído a casualização neste delineamento, se a ordem da 1^a linha for igual à ordem da 1^a coluna chama-se de Quadrado Latino Padrão.

Este delineamento experimental apresenta certas vantagens em relação aos outros delineamentos, tais como:

a) **Controla a heterogeneidade das condições experimentais onde o experimento será conduzido** – Como este delineamento apresenta o princípio do controle local, o controle da heterogeneidade das condições experimentais é feito através do uso de blocos em duas direções, na horizontal e na vertical, como por exemplo: fertilidade e declividade, luz e temperatura, operador de máquinas agrícolas e nível de fadiga, idade de planta e forma de poda, período de lactação de vacas leiteiras e peso, idade de animal e sexo, etc., o que não acontece no delineamento inteiramente casualizado, pois o mesmo não tem o princípio do controle local.

b) **Conduz a estimativas menos elevadas do erro experimental** – Pelo fato do controle local ser mais eficiente do que o delineamento em blocos casualizados, conduz a estimativas menos elevadas do erro experimental, pois consegue isolar do resíduo as variações resultantes da heterogeneidade das condições experimentais, tanto na horizontal como na vertical; enquanto que o delineamento em blocos casualizados só consegue isolar do resíduo as variações resultantes da heterogeneidade das condições experimentais que ocorrem na horizontal.

Apesar das vantagens acima citadas, o delineamento em quadrado latino apresenta as seguintes desvantagens em relação aos outros delineamentos:

a) **A análise estatística é mais demorada** – Os cálculos efetuados são maiores do que os outros delineamentos estatísticos, tendo em vista que neste delineamento existem mais causas de variação que devem ser isoladas do resíduo, tornando a análise estatística um pouco mais demorada.

b) **Exige que os blocos fiquem num mesmo local da área experimental** – Neste delineamento, todos os blocos devem ficar no mesmo local da área experimental formando um quadrado, enquanto que no delineamento em blocos casualizados, os blocos poderão ser espalhados por toda uma região, obtendo, assim, conclusões válidas para toda a área cultivada, e não apenas para um determinado local.

c) **Exige que o número de tratamentos seja igual ao número de repetições** – Em função disso, só pode-se usar, praticamente, este delineamento quando os experimentos tiverem de cinco a oito tratamentos, principalmente na experimentação de campo, enquanto que os outros delineamentos permitem utilizar, dentro de certos limites, qualquer número de tratamentos e de repetições.

d) **Apresenta um número menor de graus de liberdade para o resíduo** – Sabe-se que quanto maior o número de graus de liberdade para o resíduo, maior sensibilidade terá os testes de hipóteses para detectar diferença significativa entre os tratamentos avaliados, além de proporcionar maior precisão experimental. Este delineamento apresenta, portanto, essa desvantagem em relação aos outros delineamentos estatísticos.

e) **Exige que o quadrado auxiliar da análise da variância esteja completo para poder efetuar a análise estatística** – Neste delineamento, quando ocorrem parcelas perdidas, como no caso do delineamento em blocos casualizados, é necessário, também, o uso de fórmulas e/ou métodos especiais para estimá-las, a fim de poder efetuar a análise de variância. Muitas vezes, quando o número de parcelas perdidas é muito alto, há necessidade de se repetir o experimento. Isso, porém, não acontece com o delineamento inteiramente casualizado, onde permite que os tratamentos tenham número de repetições diferentes e a análise de variância pode ser efetuada do mesmo modo sem parcela perdida.

f) **Há uma redução do número de graus de liberdade para o resíduo, pela utilização do princípio do controle local** – Quando existe homogeneidade das condições experimentais, é um desperdício utilizar o delineamento em quadrado latino, pelo fato de reduzir ainda mais o número de graus de liberdade para o resíduo do que o delineamento em blocos casualizados, e, em conseqüência, diminuir a precisão experimental, além dos testes de hipóteses ficarem menos sensíveis para detectar diferença significativa entre os tratamentos avaliados. Nestas condições, é preferível usar o delineamento inteiramente casualizado que tem um maior número de graus de liberdade associado ao resíduo.

8.1 Instalação do Experimento

Como a instalação do experimento constitui o início da parte prática do ensaio, o pesquisador deve seguir à risca o que consta no croqui do ensaio, que no caso do delineamento em quadrado latino seria o seguinte:

Considere-se um experimento com cinco tratamentos (A, B, C, D, E) e cinco repetições. Então, tem-se:

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

Observa-se que em cada bloco, tanto na horizontal como na vertical, os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente nas parcelas, de modo que cada um aparece uma só vez em cada linha e em cada coluna. Para que isto acontecesse, partiu-se de um quadrado latino sistemático, que é obtido colocando-se as letras que representam os tratamentos (A, B, C, D, E) numa mesma ordem na linha e coluna, no qual se numera os blocos, tanto na horizontal como na vertical, formando o Quadrado I, conforme já visto anteriormente. A seguir procede-se a uma casualização das linhas (ou colunas) do Quadrado I, obtendo-se o Quadrado II, que apresenta as linhas casualizadas. Neste Quadrado II, casualizam-se as colunas (ou linhas) e obtém-se o Quadrado III, que apresenta a dupla casualização, tendo assim concluído o processo, cujo resultado obtido é chamado de croqui do experimento.

Na instalação do experimento em quadrado latino o pesquisador deve seguir as etapas já discutidas no experimento inteiramente casualizado.

8.2 Esquema da Análise da Variância

Considerando o exemplo anterior, ou seja, um experimento com cinco tratamentos (A, B, C, D, E) e cinco repetições, então se têm o seguinte quadro auxiliar da análise da variância.

Quadro Auxiliar da ANAVA

Linhas	Colunas					Totais de Linhas
	1	2	3	4	5	
1	X_A	X_D	X_B	X_C	X_E	L_1
2	X_B	X_E	X_C	X_D	X_A	L_2
3	X_D	X_B	X_E	X_A	X_C	L_3
4	X_C	X_A	X_D	X_E	X_B	L_4
5	X_E	X_C	X_A	X_B	X_D	L_5
Totais de Colunas	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	

O esquema da análise da variância é dado por:

Quadro da ANAVA

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	$t - 1$	SQ Tratamentos	QM Tratamentos	$\dfrac{QM\,Tratamentos}{QM\,\mathrm{Re}\,síduo}$
Linhas	$t - 1$	SQ Linhas	-	-
Colunas	$t - 1$	SQ Colunas	-	-
Resíduo	$(t - 1)\,(t - 2)$	SQ Resíduo	QM Resíduo	
Total	$t^2 - 1$	SQ Total		

onde:
GL = número de graus de liberdade;
SQ = soma de quadrados;
QM = quadrado médio;
F = valor calculado do teste F;
t = número de tratamentos;

$$\text{SQ Total} = \sum X^2 - \frac{\left(\sum X\right)^2}{N}$$

onde:
X = valor de cada observação;
N = número de observações, que corresponde ao número de tratamentos (t) ao quadrado;

$$\text{SQ Tratamentos} = \frac{\sum T^2}{r} - \frac{\left(\sum X\right)^2}{N}$$

onde:
T = total de cada tratamento, o qual é obtido somando-se os valores de cada tratamento isoladamente;
r = número de repetições do experimento, que é igual ao número de tratamentos (t);

$$\text{SQ Linhas} = \frac{\sum L^2}{t} - \frac{\left(\sum X\right)^2}{N}$$

onde:
L = total de cada linha;

$$\text{SQ Colunas} = \frac{\sum C^2}{t} - \frac{\left(\sum X\right)^2}{N}$$

onde:
C = total de cada coluna;

$$\text{SQ Resíduo} = \text{SQ Total} - (\text{SQ Tratamentos} + \text{SQ Linhas} + \text{SQ Colunas})$$

$$\text{QM Tratamentos} = \frac{SQ\ Tratamentos}{GL\ Tratamentos}$$

$$\text{QM Resíduo} = \frac{SQ\ \text{Re}\,síduo}{GL\,\text{Re}\,síduo}$$

O QM Resíduo corresponde à estimativa da variância do erro experimental (s_e^2), cujo valor é utilizado nos testes de hipóteses, objetivando verificar se existe ou não diferença significativa entre os tratamentos avaliados.

Não serão apresentadas as fórmulas dos quadrados médios e dos Fs' calculados de linhas e colunas no quadro do esquema da análise de variância, pois raramente interessa testar os efeitos de linhas e colunas, de sorte que, em geral, não é preciso calcular tais valores, tendo em vista que interessa apenas aos pesquisadores o efeito de tratamentos, que é inteiramente independente de serem ou não significativos os efeitos de linhas e colunas.

8.3 Exemplo sem Parcela Perdida

A fim de apresentar-se a análise da variância e a interpretação dos resultados neste tipo de delineamento, será discutido, a seguir, um exemplo sem parcela perdida.

Exemplo 1: A partir dos dados da TABELA 8.1, pede-se:

a) Fazer a análise da variância;

b) Obter o coeficiente de variação;

c) Aplicar, se necessário, o teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade, na comparação de médias de tratamentos.

TABELA 8.1 – PRODUÇÃO DE GRÃOS (kg/PARCELA) DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)

Linhas	Colunas					Totais de Linhas
	1	2	3	4	5	
1	B* 7,6	A 8,2	D 10,4	E 11,2	C 9,0	46,4
2	C 10,4	B 5,4	E 16,0	A 7,4	D 8,4	47,6
3	A 6,0	D 7,2	B 7,0	C 11,0	E 12,4	43,6
4	D 8,8	E 13,0	C 14,2	B 7,2	A 8,0	51,2
5	E 15,0	C 16,0	A 7,0	D 8,2	B 7,5	53,7
Totais de Colunas	47,8	49,8	54,6	45,0	45,3	242,5

FONTE: PEDROSA (1978).
NOTA: (*) A – RIM DE BOI; B – VAGEM ROXA; C – ROSINHA; D – COSTA RICA; E – RICO 23.

Resolução:

a) Análise da Variância:

$$\sum X = 7{,}6 + 8{,}2 + ... + 7{,}5 = \mathbf{242{,}5}$$

$$\sum X^2 = (7{,}6)^2 + (8{,}2)^2 + ... + (7{,}5)^2$$

$$= 57{,}76 + 67{,}24 + ... + 56{,}25 = \mathbf{2.587{,}25}$$

$$t = \mathbf{5}$$

$$r = \mathbf{5}$$

$$N = t^2$$

$$= (5)^2 = \mathbf{25}$$

$$\text{GL Tratamentos} = t - 1$$

$$= 5 - 1 = \mathbf{4}$$

$$\text{GL Linhas} = t - 1$$

$$= 5 - 1 = \mathbf{4}$$

$$\text{GL Colunas} = t - 1$$
$$= 5 - 1 = \mathbf{4}$$

$$\text{GL Resíduo} = (t - 1)(t - 2)$$

$$= (5 - 1)(5 - 2)$$

$$= 4 \times 3 = \mathbf{12}$$

$$\text{SQ Total} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}$$

$$= 2.587,25 - \frac{(242,5)^2}{25}$$

$$= 2.587,25 - \frac{58.806,25}{25}$$

$$= 2.587,25 - 2.352,25 = \mathbf{235,00}$$

$$\text{SQ Linhas} = \frac{\sum L^2}{t} - \frac{(\sum X)^2}{N}$$

$$= \frac{(46,4)^2 + (47,6)^2 + \ldots + (53,7)^2}{5} - \frac{(242,5)^2}{25}$$

$$= \frac{2.152,96 + 2.265,76 + \ldots + 2.883,69}{5} - \frac{58.806,25}{25}$$

$$= \frac{11.824,81}{5} - \frac{58.806,25}{25}$$

$$= 2.364,96 - 2.352,25 = \mathbf{12,71}$$

$$\text{SQ Colunas} = \frac{\sum C^2}{t} - \frac{(\sum X)^2}{N}$$

$$= \frac{(47,8)^2 + (49,8)^2 + ... + (45,3)^2}{5} - \frac{(242,5)^2}{25}$$

$$= \frac{2.284,84 + 2.480,04 + ... + 2.052,09}{5} - \frac{58.806,25}{25}$$

$$= \frac{11.823,13}{5} - \frac{58.806,25}{25}$$

$$= 2.364,63 - 2.352,25 = \mathbf{12,38}$$

Tratamentos:

A = 8,2 + 7,4 + 6,0 + 8,0 + 7,0 = **36,6**

B = 7,6 + 5,4 + 7,0 + 7,2 + 7,5 = **34,7**

C = 9,0 + 10,4 + 11,0 + 14,2 + 16,0 = **60,6**

D = 10,4 + 8,4 + 7,2 + 8,8 + 8,2 = **43,0**

E = 11,2 + 16,0 + 12,4 + 13,0 + 15,0 = **67,6**

$$\text{SQ Tratamentos} = \frac{\sum T^2}{t} - \frac{\left(\sum X\right)^2}{N}$$

$$= \frac{(36,6)^2 + (34,7)^2 + ... + (67,6)^2}{5} - \frac{(242,5)^2}{25}$$

$$= \frac{1.339,56 + 1.204,09 + ... + 4.569,76}{5} - \frac{58.806,25}{25}$$

$$= \frac{12.634,77}{5} - \frac{58.806,25}{25}$$

$$= 2.526,95 - 2.352,25 = \mathbf{174,70}$$

SQ Resíduo = SQ Total – (SQ Tratamentos + SQ Linhas + SQ Colunas)

= 235,00 – (174,70 + 12,71 + 12,38)

= 235,00 – 199,79 = **35,21**

$$\text{QM Tratamentos} = \frac{SQ\ Tratamentos}{GL\ Tratamentos}$$

$$= \frac{174,70}{4} = \mathbf{43,675}$$

$$\text{QM Resíduo} = \frac{SQ\ \text{Re}\,síduo}{GL\ \text{Re}\,síduo}$$

$$= \frac{35,21}{12} = \mathbf{2,9342}$$

$$\text{F Calculado} = \frac{QM\ Tratamentos}{QM\ \text{Re}\,síduo}$$

$$= \frac{43,675}{2,9342} \cong \mathbf{14,88}$$

F Tabelado (1%) = 5,41

F Tabelado (5%) = 3,26

TABELA 8.2 – ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA PRODUÇÃO DE GRÃOS (kg/PARCELA) DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.). MACEIÓ-AL, 1978

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F
Cultivares	4	174,70	43,6750	14,88 **
Linhas	4	12,71	-	-
Colunas	4	12,38	-	-
Resíduo	12	35,21	2,9342	
Total	24	235,00		

NOTA: (**) Significativo no nível de 1% de probabilidade.

De acordo com o teste F, houve diferença significativa, no nível de 1% de probabilidade, entre as cultivares de feijão em relação à produção de grãos.

b) Coeficiente de Variação:

$$\hat{m} = \frac{(\sum X)}{N}$$

$$= \frac{242,5}{25} = \mathbf{9,7}$$

$$s = \sqrt{QM\ \text{Re}\,síduo}$$

$$= \sqrt{2,9342} = \mathbf{1,71295}$$

$$CV = \frac{100\ x\ s}{\hat{m}}$$

$$= \frac{100\ x\ 1,71295}{9,7}$$

$$= \frac{171,295}{9,7} \cong \mathbf{17,66\%}$$

O coeficiente de variação foi 17,66%, indicando uma precisão experimental regular.

c) Teste de Tukey:

$\hat{m}_A = \mathbf{7,32}$ $\hat{m}_D = \mathbf{8,60}$

$\hat{m}_B = \mathbf{6,94}$ $\hat{m}_E = \mathbf{13,52}$

$\hat{m}_C = \mathbf{12,12}$

$$\Delta\,(5\%) = q\,\frac{s}{\sqrt{r}}$$

$$= \frac{4,51\ x\ 1,71295}{\sqrt{5}}$$

$$= \frac{7,7254045}{2,236068} \cong \mathbf{3,45}$$

Pode-se estruturar uma tabela ilustrativa das comparações entre as médias, conforme se verifica a seguir:

TABELA 8.3 – PRODUÇÃO MÉDIA DE GRÃOS (EM kg/PARCELA) DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) MACEIÓ-AL, 1978

Cultivares	Média (kg/parcela) 1/
VAGEM ROXA	6,94 a
RIM DE BOI	7,32 a
COSTA RICA	8,60 a
ROSINHA	12,12 b

RICO 23	13,52 b

NOTA: (1/) As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade.

De acordo com o teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade, tem-se:

As cultivares de feijão RICO 23 e ROSINHA não diferiram estatisticamente entre si, e apresentaram uma produção de grãos superior a todas as outras cultivares.

A cultivar VAGEM ROXA apresentou a menor produção de grãos, apesar de não diferir estatisticamente das cultivares de feijão RIM DE BOI e COSTA RICA.

8.4 Exemplo com uma Parcela Perdida

Quando por um motivo qualquer ocorrer à perda de uma parcela, durante a condução de um experimento em quadrado latino, deve-se proceder da seguinte maneira:

a) Em primeiro lugar, estima-se o valor da parcela perdida, através da fórmula:

$$Y = \frac{r\,(L + C + \mathrm{T}) - 2\ x\ G}{(r-1)(r-2)}$$

onde:
r = número de repetições do experimento;
L = total da linha onde ocorreu a parcela perdida;
C = total da coluna onde ocorreu a parcela perdida;
T = total do tratamento onde ocorreu a parcela perdida;
G = total geral das parcelas existentes no experimento.

Deve-se salientar que o valor obtido de ***Y*** dificilmente será àquele perdido (que se obteria no experimento). Por outro lado, é um valor que permitirá a execução da análise da variância pelo processo comum e que dará como resultado, para essa análise, o mesmo que se obteria por processos mais complicados.

b) O valor de ***Y*** é colocado no quadro auxiliar da análise da variância, no lugar da parcela perdida. Os cálculos são refeitos e a análise da variância é feita da maneira usual, tomando-se o cuidado, porém, de se diminuir 1 GL do Resíduo, correspondente à parcela perdida.

c) Como a SQ Tratamentos fica ligeiramente superestimada, isto é, obtém-se um valor acima do correto (daquele que se deveria obter), deve-se, então, proceder à correção desta soma de quadrados subtraindo-a do valor de **U** dado pela fórmula:

$$\mathrm{U} = \left(\frac{r-1}{r}\right)^2 \left[Y - \frac{r\,(L + C) - G}{(r-1)^2}\right]^2$$

onde:
r = número de repetições do experimento;
Y = estimativa da parcela perdida;
L = total da linha onde ocorreu a parcela perdida;
C = total da coluna onde ocorreu a parcela perdida;
G = total geral das parcelas existentes no experimento.

Como foi visto no capítulo anterior, essa correção, em geral, influi pouco, de sorte que muitas vezes se dispensa. Quando, porém, o valor de F calculado, sem correção, for significativo e estiver próximo do valor de F tabelado, essa correção poderá, em alguns casos, fazer com que a significância deixe de existir, sendo necessário fazê-la. Quando o valor de F calculado, sem correção, for não significativo, a correção é desnecessária, porque ela sempre diminui o valor de F.

d) Na comparação de médias de tratamentos, se for utilizado os testes de Tukey, de Duncan ou SNK, as fórmulas a serem usadas na comparação da média do tratamento que perdeu uma parcela com uma média qualquer devem ser, respectivamente:

$$\Delta = q\sqrt{\frac{s^2\left(\hat{Y}\right)}{2}}$$

,

$$D = z\sqrt{\frac{s^2\left(\hat{Y}\right)}{2}}$$

ou

$$SNK = q\sqrt{\frac{s^2\left(\hat{Y}\right)}{2}}$$

A seguir, apresentar-se-á um exemplo com uma parcela perdida neste tipo de delineamento, a fim de que se possa efetuar a análise da variância e interpretar os resultados.

Considerando os dados do Exemplo 1, onde se supõe que na TABELA 8.1 perdeu-se a parcela referente ao tratamento D da 1ª linha, pede-se:

a) Estimar o valor da parcela perdida;

b) Fazer a análise da variância;

c) Obter o coeficiente de variação;

d) Aplicar, se necessário, o teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade, na comparação de médias de tratamentos.

TABELA 8.1 – PRODUÇÃO DE GRÃOS (kg/PARCELA) DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)

Linhas	Colunas					Totais de Linhas
	1	2	3	4	5	

1	B* 7,6	A 8,2	D *Y*	E 11,2	C 9,0	36,0 + *Y*
2	C 10,4	B 5,4	E 16,0	A 7,4	D 8,4	47,6
3	A 6,0	D 7,2	B 7,0	C 11,0	E 12,4	43,6
4	D 8,8	E 13,0	C 14,2	B 7,2	A 8,0	51,2
5	E 15,0	C 16,0	A 7,0	D 8,2	B 7,5	53,7
Totais de Colunas	47,8	49,8	44,2 + *Y*	45,0	45,3	232,1 + *Y*

FONTE: PEDROSA (1978).
NOTA: (*) A – RIM DE BOI; B – VAGEM ROXA; C – ROSINHA; D – COSTA RICA; E – RICO 23.

Resolução:
a) Estimativa da Parcela Perdida:

$$r = \mathbf{5}$$

$$L = \mathbf{36{,}0}$$

$$C = \mathbf{44{,}2}$$

$$T = \mathbf{32{,}6}$$

$$G = \mathbf{232{,}1}$$

$$Y = \frac{r\left(L + C + \mathrm{T}\right) - 2\ x\ G}{\left(r-1\right)\left(r-2\right)}$$

$$= \frac{5\left(36{,}0 + 44{,}2 + 32{,}6\right) - 2\ x\ 232{,}1}{\left(5-1\right)\left(5-2\right)}$$

$$= \frac{5\left(112{,}8\right) - 464{,}2}{4\ x\ 3}$$

$$= \frac{564{,}0 - 464{,}2}{12}$$

$$= \frac{99{,}8}{12} \cong \mathbf{8{,}3}$$

TABELA 8.4 – PRODUÇÃO DE GRÃOS (kg/PARCELA) DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)

Linhas	Colunas					Totais de Linhas
	1	2	3	4	5	
1	B* 7,6	A 8,2	D **8,3**	E 11,2	C 9,0	**44,3**
2	C 10,4	B 5,4	E 16,0	A 7,4	D 8,4	47,6
3	A 6,0	D 7,2	B 7,0	C 11,0	E 12,4	43,6
4	D 8,8	E 13,0	C 14,2	B 7,2	A 8,0	51,2
5	E 15,0	C 16,0	A 7,0	D 8,2	B 7,5	53,7
Totais de Colunas	47,8	49,8	**52,5**	45,0	45,3	**240,4**

FONTE: PEDROSA (1978).
NOTA: (*) A – RIM DE BOI; B – VAGEM ROXA; C – ROSINHA; D – COSTA RICA; E – RICO 23.

b) Análise da Variância:

$$\sum X = 7{,}6 + 8{,}2 + ... + 7{,}5 = \mathbf{240{,}4}$$

$$\sum X^2 = (7{,}6)^2 + (8{,}2)^2 + ... + (7{,}5)^2$$

$$= 57{,}76 + 67{,}24 + ... + 56{,}25 = \mathbf{2.547{,}98}$$

$$t = \mathbf{5}$$

$$r = \mathbf{5}$$

$$N = t^2$$

$$= (5)^2 = \mathbf{25}$$

$$\text{GL Tratamentos} = t - 1$$

$$= 5 - 1 = \mathbf{4}$$

$$\text{GL Linhas} = t - 1$$

$$= 5 - 1 = \mathbf{4}$$

$$\text{GL Colunas} = t - 1$$

$$= 5 - 1 = \mathbf{4}$$

$$\text{GL Resíduo} = (t - 1)(t - 2) - \text{Nº de Parcelas Perdidas}$$

$$= (5 - 1)(5 - 2) - 1$$

$$= (4)(3) - 1$$

$$= 12 - 1 = \mathbf{11}$$

GL Total = N – 1 – Nº de Parcelas Perdidas

$$= (25 - 1) - 1$$

$$= 24 - 1 = \mathbf{23}$$

$$\text{SQ Total} = \sum X^2 - \frac{\left(\sum X\right)^2}{N}$$

$$= 2.547{,}98 - \frac{(240{,}4)^2}{25}$$

$$= 2.547{,}98 - \frac{57.792{,}16}{25}$$

$$= 2.547{,}98 - 2.311{,}6864 = \mathbf{236{,}2936}$$

$$\text{SQ Linhas} = \frac{\sum L^2}{t} - \frac{\left(\sum X\right)^2}{N}$$

$$= \frac{(44{,}3)^2 + (47{,}6)^2 + \ldots + (53{,}7)^2}{5} - \frac{(240{,}4)^2}{25}$$

$$= \frac{1.962{,}49 + 2.265{,}76 + \ldots + 2.883{,}69}{5} - \frac{57.792{,}16}{25}$$

$$= \frac{11.634{,}34}{5} - \frac{57.792{,}16}{25}$$

$$= 2.326{,}868 - 2.311{,}6864 = \mathbf{15{,}1816}$$

$$\text{SQ Colunas} = \frac{\sum C^2}{t} - \frac{\left(\sum X\right)^2}{N}$$

$$= \frac{(47{,}8)^2 + (49{,}8)^2 + \ldots + (45{,}3)^2}{5} - \frac{(240{,}4)^2}{25}$$

$$= \frac{2.284{,}84 + 2.480{,}04 + \ldots + 2.052{,}09}{5} - \frac{57.792{,}16}{25}$$

$$= \frac{11{,}598{,}22}{5} - \frac{57.792{,}16}{25}$$

$$= 2.319{,}644 \ - \ 2.311{,}6864 \ = \ \mathbf{7{,}9576}$$

Tratamentos:

$$A = 8{,}2 + 7{,}4 + 6{,}0 + 8{,}0 + 7{,}0 = \mathbf{36{,}6}$$

$$B = 7{,}6 + 5{,}4 + 7{,}0 + 7{,}2 + 7{,}5 = \mathbf{34{,}7}$$

$$C = 9{,}0 + 10{,}4 + 11{,}0 + 14{,}2 + 16{,}0 = \mathbf{60{,}6}$$

$$D = 8{,}3 + 8{,}4 + 7{,}2 + 8{,}8 + 8{,}2 = \mathbf{40{,}9}$$

$$E = 11{,}2 + 16{,}0 + 12{,}4 + 13{,}0 + 15{,}0 = \mathbf{67{,}6}$$

$$\text{SQ Tratamentos} = \frac{\sum T^2}{r} - \frac{\left(\sum X\right)^2}{N}$$

$$= \frac{(36{,}6)^2 + (34{,}7)^2 + ... + (67{,}6)^2}{5} - \frac{(240{,}4)^2}{25}$$

$$= \frac{1.339{,}56 + 1.204{,}09 + ... + 4.569{,}76}{5} - \frac{57.792{,}16}{25}$$

$$= \frac{12.458{,}58}{5} - \frac{57.792{,}16}{25}$$

$$= 2.491{,}716 \ - \ 2.311{,}6864 \ = \ \mathbf{180{,}0296}$$

SQ Resíduo = SQ Total – (SQ Tratamentos + SQ Linhas + SQ Colunas)

$$= 236{,}2936 - (180{,}0296 + 15{,}1816 + 7{,}9576)$$

$$= 236{,}2936 - 203{,}1688 = \mathbf{33{,}1248}$$

$$\text{QM Tratamentos} = \frac{SQ\ Tratamentos}{GL\ Tratamentos}$$

$$= \frac{180{,}0296}{4} = \mathbf{45{,}0074}$$

$$\text{QM Resíduo} = \frac{SQ\ \text{Re}\,síduo}{GL\ \text{Re}\,síduo}$$

$$= \frac{33{,}1248}{11} \cong \mathbf{3{,}011346}$$

$$\text{F Calculado} = \frac{QM\ Tratamentos}{QM\ \text{Re}\,síduo}$$

$$= \frac{45{,}0074}{3{,}011346} \cong \mathbf{14{,}95}$$

F Tabelado (1%) = 5,67

F Tabelado (5%) = 3,26

TABELA 8.5 – ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA PRODUÇÃO DE GRÃOS (kg/PARCELA) DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.). MACEIÓ-AL, 1978

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F
Cultivares	4	180,0296	45,007400	14,95 **
Linhas	4	15,1816	-	-
Colunas	4	7,9576	-	-
Resíduo	11	33,1248	3,011346	
Total	23	236,2936		

NOTA: (**) Significativo no nível de 1% de probabilidade.

De acordo com o teste F, houve diferença significativa, no nível de 1% de probabilidade, entre as cultivares de feijão em relação à produção de grãos.

c) Coeficiente de Variação:

$$\hat{m} = \frac{(\sum X)}{N}$$

$$= \frac{240{,}4}{25} = \mathbf{9{,}616}$$

$$s = \sqrt{QM\ \text{Resíduo}}$$

$$= \sqrt{3{,}011346} = \mathbf{1{,}735323}$$

$$\text{CV} = \frac{100\ x\ s}{\hat{m}}$$

$$= \frac{100\ x\ 1{,}735323}{9{,}616}$$

$$= \frac{173{,}5323}{9{,}616} \cong \mathbf{18{,}05\%}$$

O coeficiente de variação foi 18,05%, indicando uma precisão experimental regular.

d) Teste de Tukey:

$\hat{m}_A$ = **7,32**

$\hat{m}_B$ = **6,94**

$\hat{m}_C$ = **12,12**

$\hat{m}_D$ = **8,18**

$\hat{m}_E$ = **13,52**

$$\Delta_1(5\%) = q\frac{s}{\sqrt{r}}$$

$$= \frac{4{,}57\ x\ 1{,}735323}{\sqrt{5}}$$

$$= \frac{7{,}9304261}{2{,}236068} \cong \mathbf{3{,}55}$$

$$\Delta_2(5\%) = q\sqrt{\frac{s^2(\hat{Y})}{2}}$$

$$= q\sqrt{\frac{1}{2}\left[\frac{2}{r} + \frac{1}{(r-1)(r-2)}\right]QM\ \text{Resíduo}}$$

$$= 4{,}57\sqrt{\frac{1}{2}\left[\frac{2}{5} + \frac{1}{(5-1)(5-2)}\right]3{,}011346}$$

$$= \ 4{,}57\ \sqrt{\frac{1}{2}\left[\frac{2}{5}+\frac{1}{(4)(3)}\right]3{,}011346}$$

$$= \ 4{,}57\ \sqrt{\frac{1}{2}\left[\frac{2}{5}+\frac{1}{12}\right]3{,}011346}$$

$$= \ 4{,}57\ \sqrt{\frac{1}{2}\left[\frac{24}{60}+\frac{5}{60}\right]3{,}011346}$$

$$= \ 4{,}57\ \sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{29}{60}\right)3{,}011346}$$

$$= \ 4{,}57\ \sqrt{\frac{0{,}48333\ \ x\ \ 3{,}011346}{2}}$$

$$= \ 4{,}57\ \sqrt{\frac{1{,}4554839}{2}}$$

$$= \ 4{,}57\ \sqrt{0{,}72774}$$

$$= \ 4{,}57\ x\ 0{,}85307 \cong \ \mathbf{3{,}90}$$

O Valor de Δ_1 é usado para comparar contrastes entre duas médias de tratamentos para os quais não houve perda de parcela, enquanto que o valor de Δ_2 é usado para comparar constantes envolvendo a média do tratamento para o qual ocorreu perda de parcela e outra média qualquer (sem perda de parcela).

TABELA 8.6– PRODUÇÃO MÉDIA DE GRÃOS (EM kg/PARCELA) DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) MACEIÓ-AL, 1978

Cultivares	Média (kg/parcela) 1/
VAGEM ROXA	6,94 a
RIM DE BOI	7,32 a
COSTA RICA	8,18 a
ROSINHA	12,12 b
RICO 23	13,52 b

NOTA: (1/) As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade.

De acordo com o teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade, tem-se:

As cultivares de feijão RICO 23 e ROSINHA não diferiram estatisticamente entre si, e apresentaram uma produção de grãos superior a todas as outras cultivares.

A cultivar VAGEM ROXA apresentou a menor produção de grãos, apesar de não diferir estatisticamente das cultivares de feijão RIM DE BOI e COSTA RICA.

Comparando-se os resultados do Exemplo 1, com e sem parcela perdida, verifica-se que, apesar de uma ligeira variação nos valores obtidos, não houve alteração nas conclusões.

Vale ressaltar que quando ocorrerem duas ou mais parcelas perdidas no delineamento em quadrado latino o procedimento a ser adotado é aquela usado para o delineamento em blocos casualizados com as respectivas adaptações.

8.5 Exercícios

a) Considerando-se que os dados da TABELA 8.7 foram resultantes de um ensaio conduzido no delineamento em quadrado latino, pede-se:

a.1) Fazer a análise da variância;

a.2) Obter o coeficiente de variação;

a.3) Aplicar, se necessário, o teste de Tukey a 5% de probabilidade na comparação de médias de cultivares;

a.4) Considerando-se que a parcela B da 5ª linha foi perdida, fazer a sua estimativa e, em seguida, a análise da variância;

a.5) Obter o coeficiente de variação;

a.6) Aplicar, se necessário, o teste de Tukey a 5% de probabilidade na comparação de médias de cultivares;

a.7) Comparar os dois coeficientes de variação e tirar as suas conclusões.

TABELA 8.7 – DADOS DE PRODUÇÃO DE CANA-PLANTA (EM kg/PARCELA) DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)

Linhas	Colunas					Totais de Linhas
	1	2	3	4	5	
1	D* 432	A 518	B 458	C 583	E 331	2.322
2	C 724	E 478	A 524	B 550	D 400	2.676
3	E 489	B 384	C 556	D 297	A 420	2.146
4	B 494	D 500	E 313	A 486	C 501	2.294
5	A 515	C 660	D 438	E 394	B 318	2.325
Totais de Colunas	2.654	2.540	2.289	2.310	1.970	11.763

FONTE: GOMES (1985).
NOTA: (*) A = Co 290; B = Co 421; C = Co 419; D = POJ 2878; E = CP 3613.