

ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL

Dr. Sérgio do N. Kronka

1. INTRODUÇÃO

A Estatística Experimental tem por objetivo o estudo dos experimentos, incluindo o planejamento, execução, análise dos dados e interpretação dos resultados obtidos.

Vejamos, então, alguns conceitos necessários para um bom entendimento da Estatística Experimental.

a) Tratamento: é uma denominação genérica, para designar qualquer método, elemento ou material, cujo efeito desejamos medir e comparar.

Por exemplo, o tratamento pode ser:

- um adubo nitrogenado para a cultura do melão;
- uma variedade de alface;
- um tratamento de solo para a cultura da melancia;
- um biofertilizante para a cultura do pimentão;
- uma dosagem de calcário para a cultura da cenoura;
- um fungicida para a cultura do tomate;
- etc

b) Experimento ou ensaio: é um trabalho previamente planejado, que segue determinados princípios básicos, no qual se faz a comparação dos efeitos dos tratamentos.

c) Unidade experimental ou parcela: é a unidade na qual o tratamento é aplicado. É na parcela que obtemos os dados que deverão refletir o efeito de cada tratamento nela aplicado.

Por exemplo, a parcela pode ser constituída por: uma planta; uma área com um grupo de plantas; um ou mais vasos numa casa de vegetação; uma placa de Petri com um meio de cultura; um tubo de ensaio com uma solução; etc.

d) Delineamento experimental: é o plano utilizado para realizar o experimento. Esse plano implica na maneira como os diferentes tratamentos deverão ser distribuídos nas parcelas experimentais, e como serão analisados os dados a serem obtidos.

Por exemplo, temos o delineamento inteiramente casualizado, o delineamento em blocos casualizados, o delineamento em quadrado latino etc.

e) População: é o conjunto constituído por todos os dados possíveis com relação à característica em estudo.

Por exemplo: se estamos interessados em verificar a incidência da murcha-bacteriana em uma cultura de batata, a população seria constituída por todas as plantas de batata daquela cultura. Daí, verifica-se que, na prática é muito difícil de se trabalhar com os dados de uma população.

f) Amostra: é uma parte representativa de uma população. Na prática, trabalhamos com amostras (= experimentos) para obter informações (parâmetros) que serão utilizadas nas populações amostradas.

No exemplo da incidência da murcha-bacteriana na cultura da batata, poderíamos tomar, ao acaso, diversas parcelas distribuídas na cultura, e que constituiriam as amostras nas quais faríamos as contagens das plantas atacadas, buscando inferir a infestação da murcha na cultura.

2. PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

2.1. Introdução

Os dados que empregamos na análise estatística constituem uma amostra da população em estudo e são obtidos de trabalhos previamente planejados, que são os experimentos, sendo por isso denominados **dados experimentais**.

O que nos obriga a utilizar os métodos de análise estatística é a presença, em todos os dados experimentais, de efeitos de **fatores não controlados** (que podem ou não ser controláveis), e que causam a **variação**. Entre os fatores que não podem ser controlados, podemos citar: pequenas variações nos espaçamentos entre plantas; pequenas variações na infestação das parcelas pelas pragas em estudo; variação na constituição genética das plantas (mais, ou menos, resistentes a doenças); variações na profundidade de semeadura das sementes; variações na fertilidade do solo dentro da parcela etc.

Esses efeitos, que estão sempre presentes, não podem ser conhecidos individualmente e, no conjunto, alteram, pouco ou muito, os resultados obtidos.

O conjunto dos efeitos de fatores não controlados (que pode mascarar o efeito do tratamento em estudo) é denominado de **variação do acaso** ou **variação aleatória**. Procurando tornar mínima a variação do acaso, o experimentador deve fazer o

planejamento do experimento de tal forma que consiga isolar os efeitos dos fatores que, realmente, podem ser controlados.

Freqüentemente, o estatístico é consultado para tirar conclusões com base nos dados experimentais. Tendo em vista que essas conclusões dependem da forma como foi realizado o experimento, o estatístico solicitará uma descrição detalhada do experimento e seus objetivos. Com relativa freqüência, ocorrem casos em que, após a descrição do experimento, o estatístico verifica que não pode chegar a conclusão alguma, visto que o pesquisador ou não utilizou um delineamento adequado ou não atendeu às hipóteses básicas necessárias para a validade da análise estatística. Deste modo, pode apenas aconselhar o pesquisador a repetir o experimento. Para evitar essa perda de tempo e de recursos, é essencial o planejamento adequado do experimento.

O planejamento constitui a etapa inicial de qualquer trabalho e, portanto, um experimento deve ser devidamente planejado, de modo a atender aos interesses do experimentador e às hipóteses básicas necessárias para a validade da análise estatística.

Ao iniciar o planejamento de um experimento, o experimentador deve formular e responder a uma série de perguntas. Como exemplo, podemos citar:

a) Quais as características que serão analisadas?

Num mesmo experimento, várias características podem ser estudadas. Por exemplo, num experimento com a cultura do tomate, podemos determinar: o número total de frutos; o número de frutos categoria extra; a porcentagem de frutos sadios; o pH; os sólidos solúveis totais (Brix); a acidez total titulável; a concentração de nitrato na matéria seca dos frutos; etc. Portanto, devemos definir adequadamente quais as características de interesse, para que as mesmas possam ser determinadas no decorrer do experimento.

b) Quais os fatores que afetam essas características?

Relacionar todos os fatores que podem influir sobre as características que serão estudadas, como, por exemplo: variedade; espaçamento; adubação; irrigação; tratos culturais; controle de pragas e doenças etc.

c) Quais desses fatores serão estudados no experimento?

Nos experimentos simples, apenas um tipo de tratamento ou fator deve ser estudado de cada vez, sendo os demais mantidos constantes. Por exemplo, quando fazemos um experimento de competição de variedades, todos os outros fatores, tais como: espaçamento; adubação; irrigação e tratos culturais devem ser os mesmos para todas as

variedades. No caso de experimentos mais complexos, como os experimentos fatoriais ou em parcelas subdivididas, podemos estudar, simultaneamente, os efeitos de dois ou mais tipos de tratamentos ou fatores.

d) Como será a unidade experimental ou parcela?

A escolha da parcela deve ser feita de modo a minimizar o erro experimental. Devido à importância da definição da unidade experimental, faremos uma discussão mais detalhada sobre o assunto, em seguida.

e) Quantas repetições deverão ser utilizadas?

O número de repetições de um experimento depende do número de tratamentos a serem utilizados e do delineamento experimental escolhido. De um modo geral, recomenda-se que o número de parcelas do experimento não seja inferior a 20 e que o número de graus de liberdade associado aos efeitos dos fatores não controlados ou acaso não seja inferior a 10.

f) Como serão analisados os dados obtidos?

A análise estatística depende do delineamento utilizado para a realização do experimento.

2.2. Unidade experimental ou parcela

Um dos aspectos mais importantes a ser considerado durante o planejamento do experimento é a definição da unidade experimental ou parcela. De um modo geral, a escolha da parcela deve ser feita de forma a minimizar o erro experimental, isto é, as parcelas devem ser o mais uniformes possível para que as mesmas consigam refletir o efeito dos tratamentos aplicados.

Em experimentos de campo, o **tamanho** e a **forma** da parcela podem variar bastante, em função de:

a) Material com que se está trabalhando:

De um modo geral, em Olericultura as parcelas apresentam pouca variação quanto ao tamanho (5 a 50 m²), mas em ensaios de competição de inseticidas ou fungicidas para controle de pragas ou doenças, em que há uma maior heterogeneidade na infestação inicial, devemos aumentar o tamanho das parcelas em relação aos ensaios que visam produção.

b) Objetivo da pesquisa:

O objetivo do trabalho experimental também influencia o tamanho da parcela. Por exemplo, se desejarmos estudar o efeito da profundidade de semeadura sobre o desenvolvimento inicial das plantas, não necessitamos trabalhar com parcelas tão grandes quanto as que seriam necessárias para um estudo de produção da cultura.

c) Número de tratamentos em estudo:

Quando o número de tratamentos é muito grande, como ocorre com os experimentos de melhoramento genético vegetal, o tamanho das parcelas deve ser reduzido, para diminuir a distância entre as parcelas extremas, visando homogeneidade entre elas.

d) Quantidade disponível de sementes ou de material experimental:

Nos experimentos de melhoramento vegetal, este é um fator limitante para o tamanho da parcela.

e) Uso de equipamentos agrícolas:

Nos experimentos em que é necessária a utilização de equipamentos agrícolas, tais como irrigação com aspersores, pulverizadores costais, o tamanho das parcelas deve ser maior, para permitir o uso adequado dos equipamentos.

f) Área total disponível para a pesquisa:

Freqüentemente, o pesquisador tem que ajustar seu experimento ao tamanho da área disponível, que em geral é pequeno, o que resulta na utilização de parcelas menores.

g) Custo, tempo e mão-de-obra:

São fatores que também podem limitar o tamanho das parcelas.

Com relação à **forma** das parcelas, experimentos realizados com diversas culturas têm mostrado que, para se obter maior precisão, as parcelas devem ser compridas e estreitas, evitando-se que toda a parcela ocupe uma mancha de alta ou baixa fertilidade do solo, que possa existir na área experimental.

Para parcelas de tamanho pequeno, o efeito da forma é muito pequeno. O tamanho e a forma ideais para a parcela são aqueles que resultem em maior homogeneidade das parcelas.

Em alguns experimentos, devemos utilizar **bordaduras** nas parcelas, para se evitar a influência sobre a parcela, dos tratamentos aplicados nas parcelas vizinhas. Neste caso, teremos a **área útil** e a **área total** (=área útil + bordadura) da parcela, sendo que os

dados a serem utilizados na análise estatística serão aqueles coletados apenas na área útil da parcela.

Nos experimentos em casas de vegetação (estufas), para a constituição de cada parcela, podemos utilizar um conjunto de vasos ou, então, um único vaso com 2 ou 3 plantas e, às vezes, uma única planta constituindo a unidade experimental.

Em experimentos de laboratório, uma amostra simples do material poderá constituir a parcela, porém, às vezes, é necessário utilizar uma amostra composta. Quando são feitas várias determinações em uma mesma amostra, o valor da parcela será a média das várias determinações. Não devemos confundir as diversas determinações de uma mesma amostra com as repetições do experimento.

2.3. Princípios Básicos da Experimentação

Para assegurar que os dados serão obtidos de forma a propiciar uma análise correta e que conduza a conclusões válidas com relação ao problema em estudo, o experimentador deve levar em conta alguns princípios básicos ao planejar o experimento.

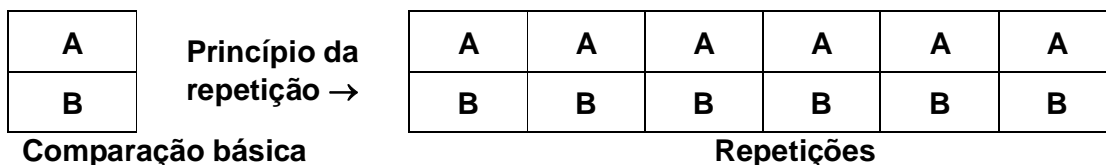
2.3.1. Princípio da repetição

O princípio da repetição consiste na reprodução de uma comparação básica, e tem por finalidade propiciar a obtenção de uma estimativa do erro experimental.

Consideremos, por exemplo, duas variedades de uma cultura, A e B, plantadas em duas parcelas o mais semelhantes possível. O fato da variedade A ter produzido mais que a variedade B, pouco ou nada significa, pois a variedade A pode ter tido um melhor comportamento por simples acaso.

Podemos tentar contornar o problema, plantando as variedades A e B em diversas parcelas e considerar o comportamento médio de cada variedade. Aqui intervém o princípio da repetição, ou seja, a reprodução de uma comparação básica.

Esquemáticamente:



Entretanto, apenas este princípio não resolve totalmente o problema, pois se todas as parcelas com a variedade A estiverem grupadas e as com a variedade B também, o efeito dos fatores não controlados continuará a ser uma hipótese possível para o melhor

comportamento da variedade A, pois suas parcelas podem ter ficado numa área melhor do experimento.

2.3.2. Princípio da casualização

O princípio da casualização consiste na distribuição dos tratamentos às parcelas de forma casual, para se evitar que um determinado tratamento venha a ser beneficiado (ou prejudicado) por sucessivas repetições em parcelas melhores (ou piores).

Se, por exemplo, temos as duas variedades A e B, distribuídas ao acaso em seis parcelas cada, temos:

Esquematicamente:

A
B

**Princípio da
repetição +
casualização →**

B	A	B	B	A	B
B	A	A	B	A	A

Comparação básica

Repetições + casualização

Nestas condições, se a produção média da variedade A for, ainda, maior que a da variedade B, isto é uma forte indicação que a variedade A é, de fato, melhor que B. Mesmo assim, ainda existe uma pequena chance que o resultado tenha sido efeito do acaso.

2.3.3. Princípio do controle local

Este princípio é freqüentemente utilizado, mas não é de uso obrigatório, pois podemos realizar experimentos sem utilizá-lo. Ele consiste em tomar pares (no caso de dois tratamentos) de unidades experimentais o mais homogêneas possível em relação às condições experimentais, podendo haver variação de um par para outro. Cada par de parcelas homogêneas é denominado **bloco**. Os dois tratamentos devem ser sorteados nas duas parcelas de cada bloco.

Quando temos mais que dois tratamentos, o número de parcelas por bloco deve ser igual ao número de tratamentos em estudo.

Esquematicamente:

A
B

**Princípio da repetição +
casualização +
controle local →**

Comparação básica

Bloco Bloco Bloco Bloco Bloco Bloco

A	B	B	A	A	B
B	A	A	B	B	A

Repetições + casualização + controle local

Observações:

a) Quando o material experimental é reconhecidamente homogêneo, não há necessidade de utilização do princípio do controle local, e temos o delineamento inteiramente casualizado (DIC).

O delineamento inteiramente casualizado tem como causas de variação nos resultados:

- Tratamentos (fator controlado)
- Resíduo (fatores não controlados ou acaso)

b) Quando o material experimental é heterogêneo, deve ser utilizado o controle local, através dos blocos e, então, temos o delineamento em blocos casualizados (DBC).

O delineamento em blocos casualizados tem como causas de variação nos resultados:

- Tratamentos (fator controlado);
- Blocos (fator controlado)
- Resíduo (fatores não controlados ou acaso)

c) Às vezes, o material experimental apresenta dupla variação, tornando-se necessário um duplo controle local, através da classificação das parcelas em linhas e colunas, com o delineamento em quadrado latino (DQL).

O delineamento em quadrado latino tem como causas de variação nos resultados:

- Tratamentos (fator controlado);
- Linhas (fator controlado);
- Colunas (fator controlado)
- Resíduo (fatores não controlados ou acaso)

3. DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

O delineamento inteiramente casualizado (DIC) é o mais simples de todos os delineamentos experimentais, e os experimentos instalados de acordo com este delineamento são chamados de experimentos inteiramente casualizados ou experimentos inteiramente ao acaso.

As principais **características** deste delineamento são:

a) Utiliza apenas os princípios da repetição e da casualização (não utiliza o controle local);

- b)** Os tratamentos são distribuídos nas parcelas de forma inteiramente casual, com números iguais ou diferentes de repetições para os tratamentos.

Para a instalação desses experimentos no campo, devemos ter certeza da homogeneidade das condições ambientais e do material experimental.

Este delineamento é bastante utilizado em ensaios de laboratório, ensaios em viveiros de plantas e em ensaios com vasos, realizados em casas de vegetação (estufas), em que as condições experimentais podem ser perfeitamente controladas. Nos ensaios com vasos, estes devem ser constantemente mudados de posição, de forma casual, para evitar influências externas sempre sobre os mesmos vasos.

O delineamento inteiramente casualizado apresenta, em relação aos outros delineamentos, as seguintes **vantagens**:

- a)** É um delineamento bastante flexível, pois o número de tratamentos e de repetições depende apenas do número de parcelas disponíveis;
- b)** O número de repetições pode variar de um tratamento para outro, embora o ideal seja utilizar o mesmo número de repetições para todos os tratamentos;
- c)** A análise estatística é simples, mesmo quando o número de repetições por tratamento é variável;
- d)** O número de graus de liberdade para estimar o erro experimental (que é dado pelo desvio padrão residual) é o maior possível.

Em relação aos outros delineamentos, o delineamento inteiramente casualizado apresenta as **desvantagens**:

- a)** Exige a homogeneidade de todas as parcelas experimentais;
- b)** Pode nos conduzir a uma estimativa bastante alta para a variância residual, pois, não utilizando o controle local, todas as variações entre as unidades experimentais (exceto as devidas aos tratamentos) são consideradas como variação do acaso.

A **casualização dos tratamentos** nas parcelas experimentais é a principal característica deste delineamento. Por exemplo, num experimento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos (A, B, C, D e E) e 4 repetições por tratamento, a casualização dos tratamentos é feita sorteando-se para cada uma das 20 parcelas do experimento, uma combinação de tratamento com sua respectiva repetição, ou seja:

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

Assim, a distribuição dos tratamentos nas 20 parcelas do experimento, numeradas de 1 a 20, poderia ser a seguinte:

1 B ₄	2 D ₁	3 E ₂	4 B ₃	5 D ₄
6 C ₁	7 A ₂	8 C ₄	9 D ₃	10 A ₁
11 E ₁	12 E ₃	13 B ₂	14 A ₄	15 C ₂
16 A ₃	17 D ₂	18 E ₄	19 C ₃	20 B ₁

4. DELINEAMENTO EM BLOCOS CASUALIZADOS

O delineamento em blocos casualizados (DBC) é também denominado delineamento em blocos ao acaso ou delineamento em blocos completos casualizados.

Além dos princípios da repetição e da casualização, leva em conta, também, o princípio do controle local, através do estabelecimento dos blocos. Este delineamento é o mais utilizado dos delineamentos experimentais, e os experimentos instalados de acordo com este delineamento são denominados experimentos em blocos casualizados ou experimentos em blocos ao acaso.

As principais **características** do delineamento em blocos casualizados são:

- a-) As parcelas são distribuídas (ou classificadas) em grupos ou blocos (princípio do controle local), de tal forma que elas sejam o mais uniformes possível dentro de cada bloco;
- b-) O número de parcelas por bloco é igual ao número de tratamentos em estudo;
- c-) Os tratamentos são distribuídos nas parcelas de forma casual, sendo esta casualização feita dentro de cada bloco.

Então, por exemplo, se tivermos um experimento em blocos casualizados, em que desejamos comparar os efeitos de 5 tratamentos (A, B, C, D e E), sendo cada um deles repetido 4 vezes, podemos ter a seguinte distribuição dos tratamentos nas parcelas:

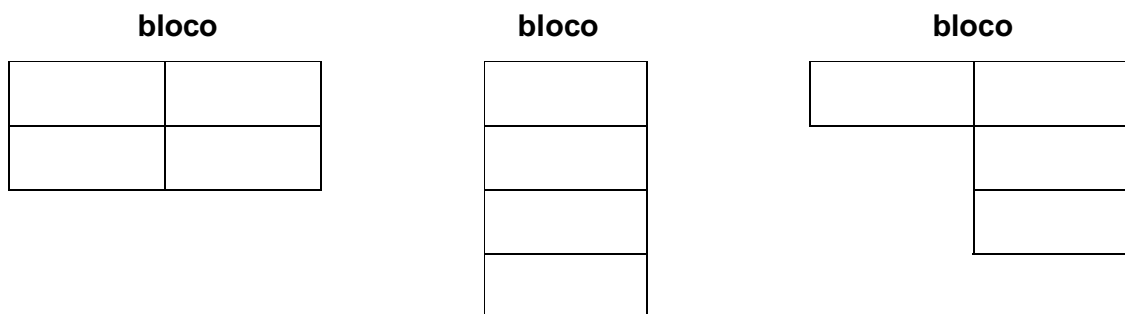
Bloco 1	B₁	D₁	E₁	A₁	C₁
Bloco 2	E₂	A₂	D₂	C₂	B₂
Bloco 3	C₃	D₃	E₃	A₃	B₃
Bloco 4	C₄	A₄	D₄	B₄	E₄

Verificamos que, dentro de cada bloco, temos todos os tratamentos, sorteados ao acaso.

Caso este mesmo ensaio fosse instalado no delineamento inteiramente casualizado, o sorteio seria feito em todas as parcelas do experimento, e as parcelas não seriam agrupadas em blocos.

A eficiência do delineamento em blocos casualizados depende da uniformidade das parcelas dentro de cada bloco. De um bloco para outro pode haver variação.

A forma dos blocos não influi, dependendo apenas da uniformidade das condições experimentais. Assim, os blocos podem ser retangulares, quadrados ou irregulares.



Os blocos podem ser distribuídos por toda a área experimental, ou então agrupados um ao lado do outro. Geralmente, se coloca um bloco ao lado do outro para facilitar a condução do experimento.

Os blocos são utilizados para controlar diferenças que ocorrem entre as parcelas experimentais, tais como: diferenças de fertilidade do solo; diferenças de disponibilidade de água; diferenças de infestação inicial por pragas ou doenças; diferenças de luminosidade (no caso de ensaios em casas de vegetação) etc.

As principais **vantagens** do delineamento em blocos casualizados são:

- a-)** Permite controlar (através dos blocos) uma diferença existente entre as parcelas experimentais;

- b-) Dentro de certos limites, podemos utilizar qualquer número de tratamentos e de blocos;
- c-) Conduz a uma estimativa mais exata para a variância residual (quando as condições experimentais são heterogêneas);
- d-) A análise de variância é relativamente simples, pois possui apenas uma causa de variação a mais que no delineamento inteiramente casualizado.

As principais **desvantagens** do delineamento em blocos casualizados são:

- a-) Devido à homogeneidade que deve haver dentro de cada bloco, não podemos aumentar muito o número de tratamentos;
- b-) Através do controle local (blocos) há uma diminuição no número de g.l. do resíduo.

5. EXPERIMENTOS FATORIAIS

Nos experimentos mais simples, comparamos tratamentos de apenas um tipo ou fator, permanecendo os demais fatores, constantes. Assim, nesses experimentos, quando comparamos variedades, todos os demais fatores, como por exemplo: espaçamentos, adubações, tratos culturais etc., devem ser mantidos constantes, isto é, devem ser os mesmos para todas as variedades estudadas.

Entretanto, existem casos em que vários fatores devem ser estudados simultaneamente, para que possam nos conduzir a resultados de interesse. Para tanto, nos utilizamos dos experimentos fatoriais, que são aqueles nos quais são estudados, ao mesmo tempo, os efeitos de dois ou mais tipos de tratamentos ou **fatores**.

Cada subdivisão de um fator é denominada de **nível do fator** e os tratamentos nos experimentos fatoriais consistem de todas as combinações possíveis entre os diversos fatores, nos seus diferentes níveis.

Assim, por exemplo:

- 1º) Podemos, num experimento fatorial, estudar os efeitos de 3 Variedades (V_1 , V_2 e V_3) e 4 Espaçamentos (E_1 , E_2 , E_3 e E_4). Então, teremos um fatorial 3×4 , com os 12 tratamentos seguintes, que são todas as combinações possíveis entre os 3 níveis do fator Variedades e os 4 níveis do fator Espaçamentos:

V_1E_1	V_1E_2	V_1E_3	V_1E_4
V_2E_1	V_2E_2	V_2E_3	V_2E_4
V_3E_1	V_3E_2	V_3E_3	V_3E_4

2º) Podemos estudar os efeitos de 2 níveis do fator Nitrogênio (N_0 e N_1) combinados com 2 níveis do fator Potássio (K_0 e K_1), num experimento fatorial 2×2 , com os 4 tratamentos seguintes:

N_0K_0 = sem Nitrogênio, sem Potássio

N_0K_1 = sem Nitrogênio, com Potássio

N_1K_0 = com Nitrogênio, sem Potássio

N_1K_1 = com Nitrogênio, com Potássio

3º) Podemos estudar os efeitos de 3 níveis do fator Espécies (E_1 , E_2 e E_3), associados a 2 níveis do fator Adubações (A_0 e A_1) e a 2 níveis do fator Calagens (C_1 e C_2). Temos, então, um fatorial $3 \times 2 \times 2$, com os 12 tratamentos seguintes:

$E_1A_0C_1$ $E_1A_0C_2$ $E_1A_1C_1$ $E_1A_1C_2$

$E_2A_0C_1$ $E_2A_0C_2$ $E_2A_1C_1$ $E_2A_1C_2$

$E_3A_0C_1$ $E_3A_0C_2$ $E_3A_1C_1$ $E_3A_1C_2$

Embora, este exemplo também tenha 12 tratamentos (como o 1º exemplo) a maneira de analisá-lo é diferente da maneira de analisar o 1º exemplo.

Os experimentos fatoriais não constituem um delineamento experimental, mas sim um **esquema** de composição dos tratamentos, que deverão ser distribuídos num delineamento inteiramente casualizado, em blocos casualizados etc.

Os experimentos fatoriais nos permitem tirar conclusões mais amplas. Assim, no 1º exemplo, podemos comparar os efeitos das 3 Variedades, os efeitos dos 4 Espaçamentos e, ainda, como se comportam as 3 Variedades em cada Espaçamento, ou como se comportam os 4 Espaçamentos em cada Variedade, tudo isto, com um único experimento.

Para isto, devemos, inicialmente, fazer uma análise de variância preliminar, de acordo com o delineamento utilizado para distribuir os tratamentos e, em seguida, devemos desdobrar os graus de liberdade de tratamentos, de acordo com o esquema fatorial utilizado, com a finalidade de estudarmos os efeitos principais dos fatores e os efeitos das interações entre os fatores.

Vejamos o que representa cada um desses efeitos.

Vamos considerar um fatorial 2x2, com os fatores: Adubação (A) e Calcário (C), nos níveis:

Adubação: A_0 = sem adubo

A_1 = com adubo

Calcário: C_0 = sem calcário

C_1 = com calcário

Sejam os dados seguintes, os resultados de produção obtidos para os 4 tratamentos:

A_0C_0 : sem adubo, sem calcário = 14

A_0C_1 : sem adubo, com calcário = 23

A_1C_0 : com adubo, sem calcário = 32

A_1C_1 : com adubo, com calcário = 53

Reunindo esses dados num quadro auxiliar, fica:

	C_0	C_1	Totais de A
A_0	14	23	37
A_1	32	53	85
Totais de C	46	76	122

a) **Efeito simples de um fator:**

- é uma medida da variação que ocorre com a característica em estudo (por exemplo: produção), correspondente às variações nos níveis desse fator, em cada um dos níveis do outro fator.

Então:

Efeito simples de Adubo na ausência de Calcário: A d. $C_0 = A_1C_0 - A_0C_0 = 32 - 14 = 18$

Efeito simples de Adubo na presença de Calcário: A d. $C_1 = A_1C_1 - A_0C_1 = 53 - 23 = 30$

Efeito simples de Calcário na ausência de Adubo: C d. $A_0 = A_0C_1 - A_0C_0 = 23 - 14 = 9$

Efeito simples de Calcário na presença de Adubo: C d. $A_1 = A_1C_1 - A_1C_0 = 53 - 32 = 21$

b) **Efeito principal de um fator:**

- é uma medida da variação que ocorre com a característica em estudo (por exemplo: produção), correspondente às variações nos níveis desse fator, em média de todos os níveis do outro fator.

O efeito principal de um fator é a média dos efeitos simples desse fator, isto é:

$$\text{Efeito principal de A} = \frac{A d.C_0 + A d.C_1}{2} = \frac{18 + 30}{2} = 24$$

$$\text{Efeito principal de C} = \frac{C d.A_0 + C d.A_1}{2} = \frac{9 + 21}{2} = 15$$

c) **Efeito da interação entre dois fatores:**

- é uma medida da variação que ocorre com a característica em estudo, correspondente às variações nos níveis de um fator, ao passar de um nível a outro do outro fator.

O efeito da interação entre dois fatores é um efeito adicional devido à ação conjunta dos fatores.

O efeito da interação entre os fatores A e C, é:

$$\text{Efeito da interação A x C} = \frac{A d.C_1 - A d.C_0}{2} = \frac{30 - 18}{2} = 6$$

$$\text{Efeito da interação C x A} = \frac{C d.A_1 - C d.A_0}{2} = \frac{21 - 9}{2} = 6$$

Vemos, então, que tanto faz calcular a Interação A x C como a Interação C x A.

Examinando o quadro auxiliar, já podemos ter uma indicação da existência ou não da interação. Devemos observar como o Adubo se comporta na ausência de C (A d. C₀) e na presença de C (A d. C₁), e como o Calcário se comporta na ausência de A (C d. A₀) e na presença de A (C d. A₁). Se o comportamento for o mesmo, tanto na ausência como na presença, não se constata a interação.

Isto pode ser visto graficamente.

Quando não há interação, ocorre um paralelismo entre as retas.

A interação ocorre devido a um sinergismo entre os fatores (interação positiva) ou devido a um antagonismo entre os fatores (interação negativa).

Casualização dos tratamentos:

Um experimento fatorial 2 x 3, com 2 níveis de Calagem (C₀ e C₁) e 3 níveis de Adubação (A₁, A₂ e A₃) poderia ter a seguinte casualização, se fosse instalado, por exemplo, em 4 blocos ao acaso:

1º Bloco	2º Bloco	3º Bloco	4º Bloco
C ₁ A ₁	C ₁ A ₃	C ₀ A ₂	C ₀ A ₁
C ₀ A ₂	C ₁ A ₂	C ₁ A ₁	C ₀ A ₃
C ₁ A ₂	C ₀ A ₁	C ₁ A ₂	C ₁ A ₂
C ₁ A ₃	C ₁ A ₁	C ₀ A ₃	C ₁ A ₁
C ₀ A ₁	C ₀ A ₃	C ₁ A ₃	C ₀ A ₂
C ₀ A ₃	C ₀ A ₂	C ₀ A ₁	C ₁ A ₃

As principais **vantagens** dos experimentos fatoriais em relação aos experimentos simples, são:

- Com um único experimento, podemos estudar os efeitos simples e principais dos fatores e os efeitos das interações entre eles;
- Todas as parcelas são utilizadas no cálculo dos efeitos principais dos fatores e dos efeitos das interações, razão pela qual o número de repetições, para o cálculo das médias dos níveis dos fatores é elevado.

As principais **desvantagens** são:

- Sendo os tratamentos constituídos por todas as combinações possíveis entre os níveis dos diversos fatores, o número de tratamentos aumenta muito e, muitas vezes, não podemos distribuí-los em blocos completos casualizados, devido à exigência de homogeneidade dentro de cada bloco. Isto nos obriga a utilizar a técnica do confundimento e a trabalhar com blocos incompletos equilibrados, o que leva a algumas complicações na análise estatística;
- A análise estatística é mais trabalhosa que nos experimentos simples e a interpretação dos resultados se torna mais difícil à medida que aumentamos o número de níveis e de fatores (principalmente) no experimento.

6. EXPERIMENTOS EM PARCELAS SUBDIVIDIDAS

Esses experimentos são utilizados quando, num mesmo ensaio, queremos testar dois (ou mais) fatores, mas em condições experimentais um pouco diferentes daquelas utilizadas nos experimentos fatoriais.

Assim, por exemplo, podemos testar:

- Variedades e Adubações;
- Espaçamentos e Irrigações;

- Variedades e Épocas de Plantio;
- etc

Nesses experimentos, as **parcelas** são divididas em partes menores e iguais, denominadas **subparcelas** (que constituem a unidade básica para fins de análise estatística). As parcelas podem ser distribuídas de modo inteiramente casual, em blocos casualizados (mais comum), ou em linhas e colunas.

A principal característica desse delineamento é a casualização dos níveis dos fatores, que é feita em dois estágios.

Num primeiro estágio, casualizamos os níveis de um fator, nas parcelas (de acordo com a distribuição das parcelas: inteiramente ao acaso, em blocos ao acaso ou em quadrado latino).

Num segundo estágio, casualizamos os níveis do outro fator, nas subparcelas de cada parcela. Assim, cada parcela funciona como se fosse um bloco, para receber os níveis do segundo fator.

Os níveis do fator casualizado nas parcelas são denominados de: Tratamentos Primários, Tratamentos Principais ou Tratamentos A.

Os níveis do fator casualizado nas subparcelas são denominados de Tratamentos Secundários, Subtratamentos ou Tratamentos B.

Nesse delineamento, temos dois resíduos:

- Resíduo a: base de comparação dos Tratamentos Principais, Blocos, Linhas e Colunas (se houver).
- Resíduo b: base de comparação dos Tratamentos Secundários e da Interação Tratamentos Principais x Tratamentos Secundários.

Em virtude da maneira como é feita a casualização, o erro experimental devido aos Tratamentos Secundários ($\sqrt{Q.M. \text{Resíduo b}}$), geralmente, é menor que o devido aos Tratamentos Principais ($\sqrt{Q.M. \text{Resíduo a}}$). Dessa forma, os efeitos dos tratamentos secundários são determinados com melhor precisão que os efeitos dos tratamentos principais.

Exemplificando a distribuição dos níveis dos fatores, vamos supor um experimento em parcelas subdivididas, com os fatores:

- Adubações (A_0 e A_1), como tratamentos principais;

- Variedades (V_1, V_2 e V_3), como tratamentos secundários, dispostos em 5 blocos casualizados.

Então, cada bloco deve ser dividido em 2 parcelas, onde serão distribuídas ao acaso as 2 Adubações. Em seguida, cada parcela deve ser dividida em 3 subparcelas, e as 3 Variedades serão sorteadas nas 3 subparcelas de cada parcela.

Se o experimento fosse instalado como fatorial, deveria ser feito um sorteio único dos 6 tratamentos (combinações das 2 Adubações com as 3 Variedades) nas 6 parcelas de cada bloco.

Então o croqui do experimento, em cada caso, seria:

Parcelas subdivididas:

Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5
$A_1 V_2$	$A_1 V_1$	$A_0 V_2$	$A_1 V_1$	$A_0 V_3$
$A_1 V_1$	$A_1 V_3$	$A_0 V_3$	$A_1 V_2$	$A_0 V_1$
$A_1 V_3$	$A_1 V_2$	$A_0 V_1$	$A_1 V_3$	$A_0 V_2$
$A_0 V_2$	$A_0 V_3$	$A_1 V_3$	$A_0 V_2$	$A_1 V_2$
$A_0 V_3$	$A_0 V_1$	$A_1 V_2$	$A_0 V_3$	$A_1 V_1$
$A_0 V_1$	$A_0 V_2$	$A_1 V_1$	$A_0 V_1$	$A_1 V_3$

Fatorial:

Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5
$A_1 V_3$	$A_1 V_2$	$A_0 V_3$	$A_1 V_3$	$A_0 V_2$
$A_0 V_2$	$A_0 V_1$	$A_1 V_1$	$A_0 V_3$	$A_1 V_1$
$A_0 V_1$	$A_1 V_3$	$A_0 V_2$	$A_1 V_2$	$A_1 V_3$
$A_1 V_2$	$A_1 V_1$	$A_1 V_3$	$A_0 V_1$	$A_0 V_1$
$A_0 V_3$	$A_0 V_3$	$A_1 V_2$	$A_1 V_1$	$A_0 V_3$
$A_1 V_1$	$A_0 V_2$	$A_0 V_1$	$A_0 V_2$	$A_1 V_2$

Pelos croquis apresentados, nota-se a diferença, nos dois casos.

O esquema de análise de variância para cada caso, seria:

Parcelas Subdivididas:		Fatorial:	
Causas de Variação	G.L.	Causas de Variação	G.L.
Blocos	4	Adubações (A)	1
Adubações (A)	1	Variedades (V)	2
Resíduo a	4	Interação A x V	2
(Parcelas)	(9)	(Tratamentos)	(5)
Variedades (V)	2	Blocos	4
Interação A x V	2	Resíduo	20
Resíduo b	16	Total	29
Total ou Subparcelas	29		

No experimento fatorial, todos os fatores são testados com um resíduo único, com 20 g.l., enquanto em parcelas subdivididas, Adubações é testado com um resíduo com apenas 4 g.l., e Variedades e a Interação Adubações x Variedades são testados com um resíduo com 16 g.l.

Então, sempre que possível, é preferível utilizar o fatorial em vez de parcelas subdivididas. Só devemos utilizar parcelas subdivididas quando as condições para realização do ensaio no campo não permitam instalá-lo como um fatorial.

São considerados e analisados como experimentos em parcelas subdivididas, os que se realizam nas mesmas parcelas e com os mesmos tratamentos em duas ou mais épocas sucessivas. Neste caso, Épocas são consideradas como tratamentos secundários.

Os **experimentos em faixas** constituem uma variação dos experimentos em parcelas subdivididas. Nos experimentos em faixas também são estudados, simultaneamente, dois fatores. A distribuição dos níveis desses fatores é feita através de uma casualização diferente daquela utilizada nos experimentos fatoriais e daquela utilizada nos experimentos em parcelas subdivididas.

Nos experimentos em faixas há maiores restrições na casualização dos fatores, prejudicando a precisão dos efeitos principais, em favor do efeito da interação entre os fatores.