

# INTRODUÇÃO AO ESTUDO DE ESTATÍSTICA

ARMANDO CONAGIN

HERMANO VAZ DE ARRUDA

Secção de Técnica Experimental — Instituto Agronômico

## 1 — ALGUMAS NOÇÕES DE TÉCNICA EXPERIMENTAL

Quando vamos efetuar um experimento visando estudar um certo fenômeno agronômico (produções das variedades, efeito de adubações, etc.), utilizamos, para ponto inicial de nossas investigações, hipóteses provisórias, as quais nos são sugeridas por uma observação cuidadosa dos fatos e que iremos comprovar com o auxílio dos experimentos. Deles obtemos uma série de números que exprimem quantitativamente o fenômeno que estamos estudando.

Se quizermos saber, por exemplo, se a variedade Mundo-Novo é melhor que a Bourbon amarelo para as condições de Campinas, que devemos fazer ?

A solução exata seria compararmos as produções de tôdas as plantas das duas variedades dêste município (comparar, portanto, as duas populações, definindo como população o total de plantas de cada uma das variedades existentes no município). Na impossibilidade de se efetuar essas comparações, procuramos obter estimativas das mesmas a partir de amostras compostas de um número razoável de plantas. Surge-nos uma pergunta: quantos indivíduos (cafeeiros, no caso) serão necessários, para obtermos uma boa amostra? Será suficiente compararmos a produção de dois cafeeiros, um de cada uma das variedades? É evidente que a resposta é *não*, pois, sabemos que o solo é variável, as plantas diferem uma das outras por sua constituição genética, etc.

Mais ainda, se quizermos informações gerais para o Estado de São Paulo, como devemos proceder ?

A maneira usual pela qual procuramos responder a essas questões, consiste em instalar experiências em lugares que consideramos representativos dos diversos tipos de solo e clima,

cada experiência constando de um certo numero de canteiros de cada uma das variedades.

E' nosso objetivo generalizar os resultados através dessas informações. Desejamos, através de resultados parciais, estender as conclusões. Em linguagem científica, queremos, através de amostras escolhidas de forma a serem representativas, conhecer o todo (população); êsse é um processo de raciocínio chamado indutivo.

Para termos uma idéia de como devemos instalar uma experiência e para que esta venha a ser representativa, precisamos conhecer quais as dificuldades, e conseqüentemente, quais as precauções a serem tomadas, a fim de conseguirmos o nosso objetivo. Começaremos dando uma idéia da evolução da técnica experimental.

Pelos meados do século passado, a comparação de duas variedades ou tratamentos era feita tomando-se dois canteiros contíguos e plantando um com a variedade *A*, outro com *B*. Se a variedade *A* produzisse, digamos 20% mais que a variedade *B*, considerava-se *A* superior a *B*. Há, evidentemente, muita insegurança nesse tipo de conclusão, pois ainda que se plantassem os canteiros com a mesma variedade, a produção não seria exatamente a mesma nos dois.

A produção depende não só da capacidade produtiva da variedade, como da fertilidade do terreno. Havendo só dois canteiros, se *A* caiu no canteiro mais fértil ela pode parecer superior a *B*, mesmo que, em verdade, não haja diferença real de produção entre elas. Dessa forma, é impossível separar-se a parte da produção devida à variedade, da parte devida ao terreno.

Visando maior segurança nas conclusões, os experimentadores procuraram repetir as experiências dêsse tipo em diferentes localidades; quando as produções eram concordantes e uma variedade nova se destacava, ela passava a substituir a mais antiga.

Os resultados obtidos passaram a ser mais seguros, pois não é provável que a mesma variedade fôsse plantada sempre nos canteiros mais férteis. O razoável seria esperar que a varia-

de A ocupasse os canteiros mais férteis, aproximadamente o mesmo número de vêzes que a variedade B.

Com o aumento do número de tratamentos (adubações, variedades, etc.), surgiu a idéia de se intercalar em cada experiência, canteiros testemunhas (contrôle), visando melhorar o conhecimento do terreno.

Esse processo conduziu a uma idéia nova na eliminação das diferenças de fertilidade, pois permitiu efetuar correções do gradiente.

Em fins do século passado já se havia firmado, entre os experimentadores, a necessidade do uso de repetições de cada um dos tratamentos, para se ter u'a melhor estimativa das médias.

Na Escola Escandinava, alguns anos antes (a partir de 1872), havia já sido proposto o quadro "Knut-Vick", o qual permitia a comparação de cinco tratamentos, com cinco repetições (Fig. 1); visava, sobretudo, o contrôle do gradiente do terreno no sentido das linhas e das colunas e uma boa compensação das pequenas manchas de fertilidade. Durante muitos anos este tipo e o quadrado com os tratamentos nas diagonais (Fig. 2) foram usados com a finalidade de dar boas estimativas das médias. Os julgamentos ainda eram feitos unicamente pela comparação das médias.

Fig. 1

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| C | D | E | A | B |
| E | A | B | C | D |
| B | C | D | E | A |
| D | E | A | B | C |
| A | B | C | D | E |

No começo dêste século, os experimentadores, visando conhecer melhor o terreno, precunizaram o uso de ensaios em branco. Estes consistem no plantío de uma área com uma única variedade, em condições tão uniformes quanto possível, sendo o campo colhido na forma de um grande número de pequenos canteiros numerados topogrâficamente, o que permite ao experimentador a confecção de mapas e a avaliação do gradiente e das manchas de fertilidade do terreno. Estudando os resultados obtidos, verificaram que a produção variava de um canteiro para outro e que sua distribuição era aproximadamente normal. Como consequência dêsses estudos verificaram ainda que se podem construir, no mapa, linhas de fertilidade semelhantes às linhas de nível dos levantamentos topográficos.

Fig. 2

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| A | B | C | D | E |
| E | A | B | C | D |
| D | E | A | B | C |
| C | D | E | A | B |
| B | C | D | E | A |

Também foi verificado que a produção de canteiros vizinhos era correlacionada, sendo essa correlação tanto maior quanto mais próximos os canteiros.

Em 1907, Rodewald e Quante, na Alemanha, realçaram a necessidade de um tratamento estatístico dos dados experimentais, utilizando o cálculo do erro provável para a interpretação das diferenças obtidas entre os tratamentos. Êsses estudos encontraram eco em outros países (Inglaterra, Estados Unidos e

Escandinavia), pois reconhecia-se que a variabilidade dos dados experimentais era da mesma natureza que a obtida nos erros de observação nas ciências físicas.

Para a interpretação dos resultados e tratamento estatístico dos dados (pelo uso da curva normal dos erros) era preciso que êstes satisfizessem duas condições :

- a) que houvesse um grande número de observações;
- b) que a distribuição fôsse mais ou menos simétrica em tôrno do valor médio.

#### *Contribuição da Escola Inglesa à solução d'esses problemas*

As primeiras experiências instaladas na Inglaterra foram, provàvelmente, as da Estação Experimental de Rothamsted. Uma delas, o campo de trigo de Broadbalk, consta de treze canteiros muito grandes, onze dos quais recebem adubações orgânicas ou minerais, permanecendo os dois outros sem adubo. Esta experiência foi instalada em meados do século passado e seus dados ainda continuam sendo colhidos até hoje. Vê-se nesse ensaio o uso de repetição no tratamento sem adubo.

Por volta de 1880 alguns dos experimentos ingleses já apresentavam os tratamentos repetidos em ordem sistemática, por exemplo ABCDDCBA. Essa disposição visava ressaltar o experimentador do efeito do gradiente.

Em 1909, Mercer e Hall defederam com insistência a necessidade de se estimar o êrro provável a ser atribuído à comparação das médias de dois tratamentos.

Em 1910 êsses autores, procurando determinar o melhor tamanho de canteiro para trigo, a partir de um ensaio em branco dividido em 500 pequenos canteiros, chegaram à conclusão de que à medida que se aumentava o tamanho do canteiro, diminuía a variabilidade, mas que além de 1/40 de acre ( $\pm 100m^2$ ) pouco se podia ganhar em precisão.

Em 1919 foi fundado o Departamento de Estatística da Estação Experimental de Rothamsted, sendo a direção do mesmo entregue ao Prof. Ronald A. Fisher. Uma das primeiras atribuições do Prof. Fisher foi a de estudar estatisticamente os dados do campo de trigo de Broadbalk (período 1852-1918). Dos estu-

dos visando a solução desses e de outros problemas experimentais, o Prof. Fisher criou uma técnica nova de análise estatística, conhecida como *análise de variância*, e delineamentos novos, que aumentaram de muito a eficiência das experiências. Essas inovações vieram colocar a experimentação agrônômica no mesmo nível de rigor científico de outras ciências. Vejamos sucintamente como o Prof. Fisher resolveu o problema.

Vamos supor que o objetivo fôsse a comparação da produção de seis variedades. Pelo sistema mais usual utilizavam-se seis grandes canteiros, um para cada variedade, porém Fisher procedeu diferentemente: dividiu a área em um certo número de parcelas a que chamou blocos; subdividiu cada bloco em 6 canteiros. Cada canteiro recebeu uma das seis variedades procedendo à colocação de cada variedade de acordo com um sorteio, ao acaso. Teve origem, assim, o delineamento em blocos ao acaso (Fig. 3).

Fig. 3

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| A | C | D | B | A | D |
| B | E | F | C | F | E |
| F | E | D | A | D | F |
| B | C | A | B | E | C |

Usando o princípio de divisão dos blocos em duas direções, simetricamente, êle propôs outro delineamento conhecido como quadrado latino. Êste procura controlar o gradiente do terreno nos dois sentidos e implica na necessidade de se fazer o número de tratamentos igual ao de repetições (Fig. 4). A aplicação do teste estatístico é feita através da análise da variância. Esta

Fig. 4

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| A | B | F | E | C | D |
| C | F | D | B | A | E |
| E | D | C | A | B | F |
| F | E | A | C | D | B |
| B | A | E | D | F | C |
| D | C | B | F | E | A |

consiste, no caso dos blocos ao acaso, em subdividir a variação dos dados em três partes: uma devida ao efeito dos tratamentos (a qual é livre do efeito do terreno), outra que exprime as diferenças de fertilidade (blocos) e ainda, outra parte, isenta destes dois efeitos, que representa a variação não controlável da experiência e que constitui o erro experimental.

Se a variação devida aos tratamentos for suficientemente grande em relação ao erro experimental, teremos um resultado significativo, isto é, diremos que as médias dos tratamentos são diferentes. O teste estatístico permite avaliar em termos de probabilidades, o grau de confiança nos resultados.

Neste ponto é interessante estabelecer uma comparação entre as duas escolas, a antiga e a de Fisher.

Quanto à disposição no campo, a antiga reconheceu a existência de gradiente de fertilidade e de manchas pequenas dentro dos blocos, e chegou a propôr o uso de delineamentos tais como o quadrado Knut-Vick. Este, devido à distribuição apropriada dos tratamentos dentro das linhas e colunas, dá boa estimativa das médias. Quanto à análise estatística, as diferenças de fertilidade não eram eliminadas do erro e sim, distribuídas igualmente entre os diferentes tratamentos. A aplicação do tes-

te estatístico era feita pelo uso da curva normal (o teste só sendo rigoroso para um número muito grande de repetições, o que não era o caso, pois a experimentação de campo utilizava um número reduzido de repetições).

Fisher introduziu os seguintes melhoramentos.

- a) Sorteio ao acaso nos delineamentos, o qual permite maior possibilidade de compensação das diferenças de fertilidade dentro dos blocos; ainda do ponto de vista probabilístico, o sorteio ao acaso permite o uso do teste estatístico;
- b) A análise da variância que, eliminando da variação total a parte devida ao gradiente (blocos), diminui a grandeza do erro experimental, aumenta a eficiência da experiência, e, portanto, a sensibilidade do teste.

Ainda mais, o teste fica rigoroso, mesmo para amostras pequenas, porque não nos utilizamos mais da curva normal (que exige amostras grandes), mas sim de outra curva que leva em conta na avaliação das probabilidades o número de observações da experiência.

Muitos estudos têm sido feitos visando avaliar o tamanho e formato dos canteiros, bem como a orientação dos blocos no terreno. De u'a maneira geral podemos dizer que, à medida que aumenta o tamanho do canteiro, o erro experimental diminui. Mas, para u'a mesma área de experiência, o aumento do número de repetições (com uma conseqüente diminuição no tamanho dos canteiros) é mais eficiente no sentido de se obter uma redução no erro experimental, e no de fornecer boas estimativas das médias.

Com relação à forma dos blocos, se conhecermos o gradiente do terreno antes de efetuar a experiência, então o uso de canteiros alongados colocados no sentido perpendicular e blocos no sentido do gradiente, dar-nos-á a disposição mais eficiente. Caso nada se saiba acêrca da orientação do mesmo, canteiros alongados e blocos compactos são, em média, mais eficientes.

No caso das experiências de café do Instituto Agrônômico, começou-se com disposições sistemáticas e canteiros grandes,

chegando-se, nas últimas experiências aos canteiros de umas poucas covas com um número maior de repetições.

## 2 — DELINEAMENTOS EXPERIMENTAIS

Na execução de uma experiência devemos considerar as seguintes etapas :

1) Escolha dos tratamentos, de acôrdo com o objetivo da experiência. Para isso o experimentador terá que ter bem claro aquilo que deseja.

2) Escolha de um delineamento (design) que melhor adapte o número de tratamentos em questão à área disponível. É conveniente que se tenha em mãos no momento da escolha do delineamento, um "croquis" do campo. Assim, após a escolha do mesmo poderemos fazer um esquema da distribuição dos canteiros.

3) Instalação da experiência no campo, que vem a ser a aplicação do delineamento no local.

4) Obtenção dos resultados, incluindo nesta etapa todo o tempo que vai desde a instalação até a colheita. Para que os resultados obtidos encerrem toda a informação que se deseja, são necessárias visitas periódicas à experiência. Às vêzes, estamos interessados em comparar as produções das variedades, mas será interessante, também, termos informação acêrca de sua suscetibilidade a pragas ou moléstias. Outras vêzes, poderá haver estragos parciais, pela erosão, na experiência, o que combatido a tempo, não prejudicará os resultados finais.

5) Análise dos resultados, a qual é determinada pelo próprio delineamento, não havendo possibilidade de ser alterada. A análise estatística leva em conta os defeitos da experiência, mas não permite corrigir êsses defeitos; êstes, sòmente poderão ser corrigidos durante a fase de obtenção dos resultados.

6) As conclusões podem ser tiradas pelo próprio experimentador, independentemente da análise estatística da experiência. Esta auxilia nas conclusões; sua principal função, entretanto, é atribuir um certo "grau de confiança" às conclusões obtidas.

### 3 — BLOCOS AO ACASO

O delineamento em blocos ao acaso é aquêlo, segundo o qual, os tratamentos são repetidos e formam blocos contendo uma única vez cada variedade. Os tratamentos dentro de cada bloco são dispostos *estritamente ao acaso*.

A escolha do local para a experiência, assim como o grupamento em blocos devem ser baseados em um conhecimento prévio do mesmo. Êste poderá ser obtido por uma simples observação da cultura existente, ou, em casos em que se deseje maior rigor, pela execução de ensaios de uniformidade. Em certos casos, quando a área a ser utilizada já tenha sido ocupada por alguma experiência, poderão ser aproveitados os dados obtidos, os quais darão uma indicação na escolha dos canteiros para formarem os blocos.

#### 3.2 — *Exatidão*

Na disposição em blocos ao acaso as comparações dos tratamentos são feitas em um mesmo bloco, as quais são usualmente mais exatas do que as comparações entre canteiros de blocos diferentes.

O número de repetições acarreta um aumento de precisão e também um aumento de despesas; daí ter-se um número ideal para cada caso, em função da grandeza que se deseja separar e da variabilidade do material em estudo.

Em geral, não há interêsse em se ultrapassar um grau de precisão a ser determinado para cada caso. Não há vantagem em se determinar com muita precisão a estimativa da produção correspondente a uma determinada adubação em um único experimento. Essas produções são muito afetadas pelas condições de clima e por pequenas variações do terreno. Resultados segu-

ros só poderão ser obtidos realizando-se diversas experiências localizadas de forma a constituírem uma amostra do solo em estudo e também durante alguns anos, pois elas também constituirão uma amostra das condições climáticas vigentes.

### 3.3 — *Flexibilidade*

No delineamento em blocos ao acaso são arbitrários tanto o número de repetições como o de tratamentos. Como vimos, o número de repetições é função da precisão desejada. O ensaio 11.10 P de progênies de café da Seção de Genética, tem, por exemplo, 110 "variedades" com 20 repetições, com canteiros de uma única planta. Visa-se, nesse caso, o maior número possível de repetições, para uma dada área experimental.

Quanto ao número de tratamentos, êste influi diretamente no tamanho dos blocos. Se ao gruparmos os tratamentos em blocos, procurarmos obter comparações entre canteiros próximos, poderemos facilmente compreender que o aumento do tamanho dos blocos destrói essa vantagem e prejudica a eficiência considerada. Pode-se contornar êsse inconveniente do uso de grande número de tratamentos, reduzindo o tamanho do canteiro, como é o caso presente, onde o canteiro é constituído de uma só planta. Também, em certos casos, é possível fazer uso de blocos que não contêm todos os tratamentos, usando os delineamentos em blocos incompletos.

### 3.4 — *Considerações gerais*

1. Devemos escolher os canteiros de menores diferenças de fertilidade para formarem os blocos. Admitindo-se desconhecimento em relação ao gradiente de fertilidade, é a forma mais compacta (quadrada) do bloco, a que permite maior contrôle da variação do terreno.

2. Quando tivermos que fazer uma experiência em plantação já formada, fica relativamente fácil escolher os que provavelmente terão menores diferenças de produção, através do aspecto vegetativo da planta ou melhor ainda, colhendo-se os canteiros individualmente. Em casos como êste, podemos escolher os canteiros constituintes de cada bloco, mesmo que fique um dis-

tante do outro no campo. Assim se procedendo, aumenta-se evidentemente a eficiência do delineamento, embora se dificulte as observações e colheita dos canteiros.

3. Como dissemos, devemos evitar o efeito do ano sôbre os dados a serem analisados, repetindo-se, para êsse fim, a experiência por diversos anos.

Com o cafeeiro, êsse efeito é ainda maior; a planta depois de uma certa idade, entra numa fase alternada de alta e baixa produção. Assim, a análise dos dados deve ser feita incluindo um número par de anos para se ter uma amostra livre dessa variação.

4. Fatôres que contribuem para o aumento do êrro experimental.

a) heterogeneidade na textura, profundidade e fertilidade do solo;

b) desuniformidade no cultivo;

c) plantío em época não aconselhada. E' melhor esperar pelo ano seguinte do que arriscar a plantar fora da época ideal;

d) desuniformidade no ataque de pragas e moléstias que refletirão numa variação do número de plantas por canteiro (stand);

e) a exagerada precisão dada às vêzes às pesagens, em nada irá diminuir o êrro experimental. Pode, pelo contrário, aumentar o êrro, devido à maior dificuldade na leitura.

5. A precisão de uma experiência também depende da área da parcela; aumenta com o aumento da área do canteiro por ser uma amostra com mais indivíduos, mas êsse aumento é em menor proporção do que aquêle que ocorre quando se aumenta o número de repetições. Assim, devemos sempre que fôr possível, fazer maior número de repetições, usando canteiros menores.

6. O coeficiente de variação expresso em %

$$C. \text{ var.} = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

indica o grau de precisão nas estimativas das médias. E' propor-

cional ao erro e inversamente proporcional à média. Em experimentação de campo, varia entre 10 e 15%.

$s$  = desvio padrão do erro experimental por canteiro

$\bar{x}$  = média dos tratamentos, dada por todos os canteiros de experiência.

#### 4 — QUADRADO LATINO

É um delineamento no qual aparecem repetições em duas direções, de modo que cada tratamento ocorre uma única vez em cada linha e em cada coluna. Para esse delineamento o número de repetições é igual ao número de tratamentos. Assim, se tivermos  $k$  tratamentos teremos  $k^2$  canteiros.

Uma das disposições possíveis para um quadrado latino  $4 \times 4$  é dada a seguir :

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| A | B | C | D |
| B | A | D | C |
| C | D | B | A |
| D | C | A | B |

colunas

linhas

#### 4.2 — Exatidão

A disposição em quadrado latino conduz ao agrupamento dos tratamentos em duas séries de (blocos no sentido das colunas). Permite, por conseguinte, a eliminação dos efeitos devidos ao gradiente de fertilidade, em duas direções.

Dessa dupla eliminação decorre na maioria dos casos, maior exatidão para o quadrado latino quando comparado ao bloco ao acaso, com igual número de tratamentos e repetições.

### 4.3 — Flexibilidade

Devido a possuir o número de tratamentos igual ao número de repetições, êsse plano torna-se pouco prático para número de tratamentos muito pequeno, ou então, muito grande. Êle tem sua maior aplicação para o número de tratamentos compreendido entre 5 e 8. Quando o número de tratamentos é pequeno, podemos contornar a dificuldade usando maior número de quadrados latinos, mas quando os tratamentos são em número elevado, não temos outro recurso senão o de usar outro delineamento pela sua natureza, requer que as repetições fiquem juntas no campo. Êste é outro fator limitante de seu uso, que está em função da forma e dimensão da área experimental.

Para um número muito grande de tratamentos, nenhum dos delineamentos considerados é satisfatório. Há, não obstante, outros delineamentos, em blocos incompletos, que atendem melhor a êstes casos. Não daremos êstes delineamentos por serem mais complexos e estarem fora da finalidade do presente artigo.

---

---

## O PRECEITO DO DIA

### Bons dentes e regime alimentar

Os dentes estragados ou cariados são devidos, principalmente, a defeitos da alimentação. O regime alimentar é, pois, uma das condições essenciais à conservação dos bons dentes.

*Procure ingerir sempre alimentos ricos em cálcio, fósforo e vitamina D; leite e derivados (coagulada, queijo, etc.), ovos, verduras e frutas. — SNES.*