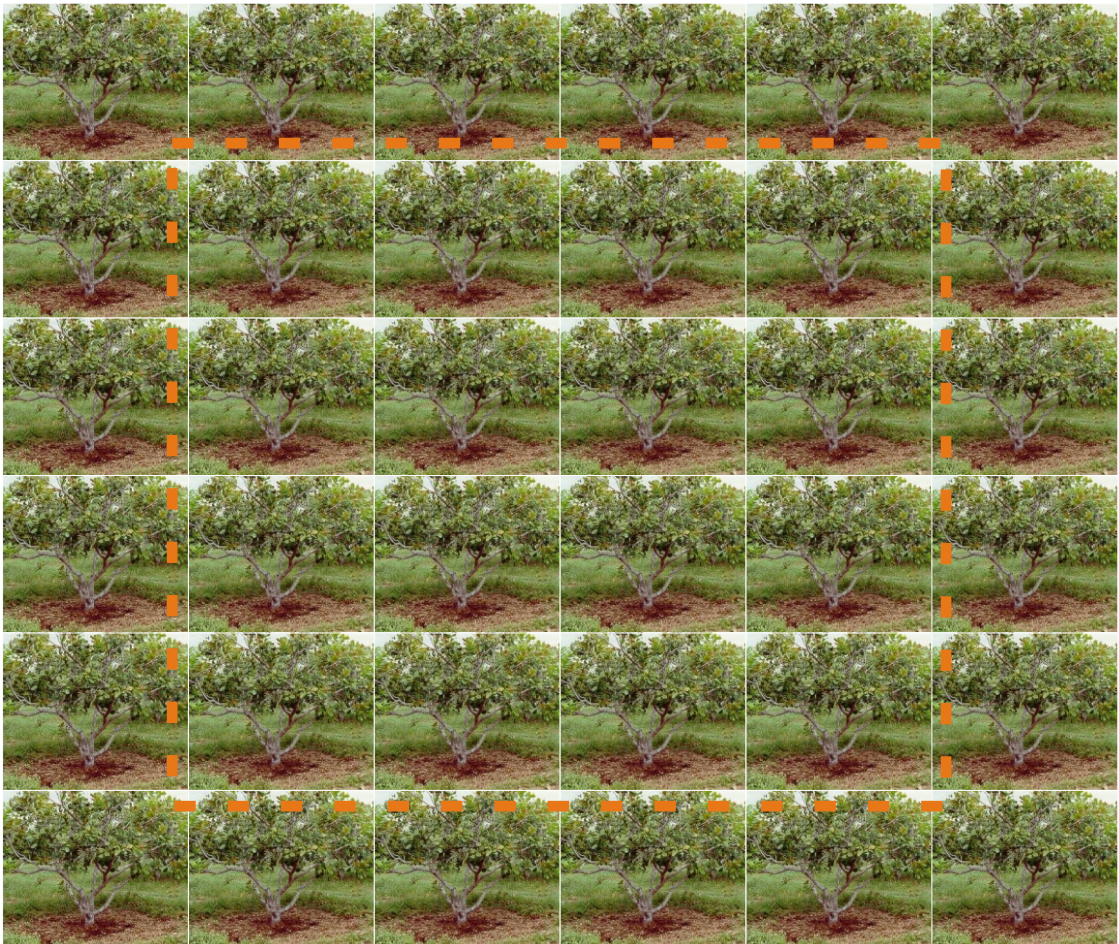


Parcela, Número de Repetições e Área de Experimentos de Campo com Fruteiras e outras Plantas Arbóreas



República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso

Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Marcus Vinícius Pratini de Moraes

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa

Conselho de Administração

Márcio Fortes de Almeida

Presidente

Alberto Duque Portugal

Vice-Presidente

Dietrich Honório Accarini

Sérgio Fausto

Urbano Campos Ribeiral

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal

Diretor-Presidente

Dante Daniel Giacomelli Scolari

Elza Ângela B. Brito da Cunha

José Roberto Rodrigues Peres

Diretores-Executivos

Embrapa Agroindústria Tropical

Francisco Férrer Bezerra

Chefe-Geral

Paulo César Espíndola Frota

Chefe-Adjunto de Administração

Levi de Moura Barros

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Lucas Antonio de Sousa Leite

Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1677-1915

Maio, 2002

Documentos 50

Parcela, Número de Repetições e Área de Experimentos de Campo com Fruteiras e outras Plantas Arbóreas

Adroaldo Guimarães Rossetti

Fortaleza, CE
2002

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agroindústria Tropical

Rua Dra. Sara Mesquita, 2.270 - Pici

Caixa Postal 3761

Fone: (85) 299-1800

Fax: (85) 299-1803

Home page www.cnpat.embrapa.br

E-mail sac@cnpat.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Oscarina Maria da Silva Andrade

Secretário-Executivo: Marco Aurélio da Rocha Melo

Membros: Francisco Marto Pinto Viana, Francisco das Chagas
Oliveira Freire, Heloisa Almeida Cunha Figueiras,
Edineide Maria Machado Maia, Renata Tiekko Nassu,
Henriete Monteiro Cordeiro de Azeredo

Supervisor editorial: Marco Aurélio da Rocha Melo

Revisor de texto: Maria Emília de Possídio Marques

Normalização bibliográfica: Rita de Cássia Costa Cid

Editoração eletrônica: Arilo Nobre de Oliveira

1ª edição

1ª impressão (2002): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

CIP - Brasil. Catalogação-na-publicação

Embrapa Agroindústria Tropical

Rossetti, Adroaldo Guimarães

Parcela, número de repetições e área de experimentos de campo com fruteiras e outras plantas arbóreas / Adroaldo Guimarães Rossetti - Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2002.

24 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 50).

1. Área experimental. 2. Variância da média de cada tratamento. 3. Coeficiente de correlação intraclasse. 4. Bordadura. I. Embrapa Agroindústria Tropical. II. Título. II. Série.

CDD 519.5

© Embrapa 2002

Autor

Adroaldo Guimarães Rossetti

Matemática, M.Sc., Embrapa Agroindústria Tropical,
Rua Dra. Sara Mesquita, 2.270 - Pici, tel.: (85) 299-1800
adroaldo@cnpat.embrapa.br

Apresentação

Uma das características das publicações técnicas da Embrapa é o cunho prático de que são revestidas, constituindo-se em excelentes alternativas de auxílio direto a técnicos e produtores, tendo em vista que cada trabalho é feito, sempre, com o objetivo de alcançar todos os ângulos do conhecimento necessário para a implantação e desenvolvimento, com sucesso, das cadeias produtivas agroindustriais exploradas no país.

A Embrapa Agroindústria Tropical participa deste esforço com o objetivo de viabilizar soluções tecnológicas competitivas para o desenvolvimento sustentável da agroindústria tropical do país sem perder, no entanto, o foco da inovação nas ações de pesquisa e desenvolvimento, ingrediente básico para alcançar a competência necessária para influir verdadeiramente na construção de uma sociedade mais justa.

Esta publicação reúne um conjunto de conhecimentos sobre a experimentação agrícola de campo com plantas arbóreas perenes, inclusive o cajueiro, que é o carro-chefe das pesquisas conduzidas por esta Unidade. A sua importância é inquestionável em face das dificuldades de obtenção de informações sobre estatística experimental em linguagem mais simples e de mais fácil utilização no dia a dia dos pesquisadores. E a estatística é, sem dúvida, um instrumento fundamental para o trabalho do pesquisador, no sentido de assegurar-lhe um maior grau de certeza nas recomendações oriundas dos estudos que realiza.

Os conhecimentos aqui apresentados procuram mostrar caminhos mais seguros para a pesquisa com plantas perenes e frutíferas arbóreas, mediante a melhoria da precisão dos resultados obtidos pela redução do erro experimental das estimativas, dos efeitos de tratamentos e dos parâmetros do modelo do delineamento, além de diminuir a área necessária e o número de plantas avaliadas, com conseqüente redução do custo da pesquisa.

A sua elaboração, temos certeza, vem preencher uma lacuna há muito observada por quantos estão ligados à pesquisa com espécies perenes, contemplando alguns exemplos de sua aplicabilidade.

Levi de Moura Barros
Chefe-Adjunto de P&D

Sumário

Parcela, número de repetições e áreas de experimentos de campo com fruteiras e outras plantas arbóreas	9
Introdução	9
Planejamento experimental	12
Variância de cada tratamento	15
Tamanho e forma das parcelas	15
Número de plantas / Área experimental	16
Variância como função do número de plantas por parcela	17
Aplicação em experimentos com a cultura do cajueiro	17
Aplicação em experimentos conm a cultura de seringueira	21
Referências Bibliográficas	22

Parcela, Número de Repetições e Área de Experimentos de Campo com Fruteiras e outras Plantas Arbóreas

Adroaldo Guimarães Rossetti

Introdução

Um problema dos experimentos de campo com plantas perenes e frutíferas arbóreas é o tamanho da área, devido ao porte das plantas que normalmente exigem largos espaçamentos. É muito freqüente, nesses experimentos, o uso de parcelas grandes, em detrimento do número de repetições, com a justificativa de diminuir a área experimental, a mão-de-obra e o conseqüente custo da pesquisa. Essa prática, contudo, traz prejuízos à precisão das estimativas dos parâmetros e à aplicação eficiente de testes estatísticos.

A literatura sobre métodos e técnicas experimentais para pesquisas com plantas perenes e frutíferas arbóreas, sobretudo para experimentos de campo, é bastante escassa. Pearce (1975), após levantamento bibliográfico exaustivo, constatou essa realidade e, certamente para tentar preencher essa lacuna, propôs metodologias para experimentos com frutíferas e outras plantas perenes.

Apesar de um bom indicativo, não se trata de resultados de pesquisa, mas de inferências feitas sobre resultados obtidos com cultivos de ciclo curto, que normalmente não se adaptam bem às perenes arbóreas, onde os experimentos de campo ocupam, em geral, grandes áreas (normalmente superiores a 3,0 ha), devido aos largos espaçamentos que exigem (a partir de 7 x 7 m e 8 x 6 m, para o cajueiro anão precoce de sequeiro e irrigado, respectivamente, e a partir de 10 x 10 m, para o cajueiro comum), por exemplo, o que tem trazido, segundo Rossetti (1994), alguns problemas, com reflexos nos resultados das

pesquisas. Não é rara a existência de experimentos com parcelas grandes (a partir de dez plantas), com poucas ou sem repetições (abaixo de quatro), sob a alegação de se obter maior “stand” e maior facilidade de manejo. É comum, por outro lado, perguntar-se qual o número mínimo de repetições e o tamanho ideal da parcela que devem ter os tratamentos de um experimento de campo, com esses cultivos, para se ter bons resultados.

A repetição, que constitui um dos princípios básicos da experimentação científica, tem as finalidades de propiciar estimativas do erro experimental, tão importante nos testes dos efeitos dos tratamentos e dos parâmetros dos modelos usados nas pesquisas realizadas por experimentos, e de permitir a distribuição dos tratamentos em maior espaço do ambiente, com vistas a adequar a extrapolação dos resultados obtidos. Neste contexto, inúmeros autores, entre eles Dagnelie (1975), demonstram que quanto maior for o número de repetições, mais fidedigna será a estimativa do erro experimental dos efeitos de tratamentos, havendo, portanto, mais segurança na aplicação dos testes estatísticos e maior confiabilidade nos resultados obtidos.

Ocorre, porém, que dependendo do número de tratamentos, do delineamento destes, do tamanho da parcela e do delineamento experimental utilizados, o experimento pode crescer tanto que às vezes se torna impraticável. É exatamente por isso que muitos experimentos utilizam parcelas grandes, com grande número de plantas, em detrimento do número de repetições, o que é bastante grave no que concerne à estimativa do erro experimental e, em última análise, aos resultados obtidos, uma vez, que em geral, as parcelas grandes têm maior variância, segundo demonstraram Rossetti et al. (1996), aumentando, conseqüentemente, a variância da média de cada tratamento.

Para evitar isso, Rossetti & Pimentel Gomes (1987), recomendam o uso de parcelas de tamanho ótimo, que podem ser estimadas de dados de experimentos com a cultura de interesse, em condições semelhantes às da pesquisa proposta.

A determinação prévia do número mínimo de repetições necessárias para se obter o melhor resultado é um problema que tem sido bastante estudado e muitas soluções têm sido propostas, mas, segundo Pimentel Gomes (1990), nenhuma é inteiramente satisfatória. O uso de parcelas de tamanho ótimo, segundo Rossetti & Pimentel Gomes (1983), em geral associadas a delineamentos ou técnicas experimentais apropriados, como blocos incompletos ou fatoriais fracionários,

por exemplo, conforme o objetivo da pesquisa, é recomendado por vários autores, entre eles Rossetti (1994), pois contribui bastante para reduzir a variabilidade, normalmente existente nesses cultivos.

Tais práticas, entretanto, exigem, quase sempre, genótipos bem definidos em estudos de melhoramento, caso contrário se correria o risco de induzir, dentro da parcela, outra fonte de variação, normalmente existente nos materiais propagados sexuadamente, e difícil de ser separada. Neste caso, é ainda muito maior a necessidade de cuidados não só do binômio tamanho da parcela e número de repetições, como de outras técnicas experimentais, para se obter bons resultados.

Os experimentos com grande número de tratamentos, que normalmente requerem grandes áreas, independente do ramo de pesquisa, têm sido os mais atingidos. Entre estes, estão, em particular, os experimentos iniciais da área de melhoramento, que, além do grande número de tratamentos, a interação genótipo vs ambiente tem particular importância.

No outro extremo estão os experimentos com poucos tratamentos, que a literatura preconiza que se faça mais de uma repetição no bloco, no caso dos delineamentos de blocos ao acaso, para que se tenha, conforme Banzatto & Kronka (1995), maior número de graus de liberdade para estimar o erro experimental.

Este é, sem dúvida, um recurso interessante, nesse sentido, mas quando se olha o aspecto da distribuição dos tratamentos em maior espaço do ambiente, para estabelecer a validade de extrapolação dos resultados, esta fica prejudicada, pois a área experimental, normalmente pequena, restringe os resultados àquelas condições. Isso indica a necessidade de estudo mais profundo na relação tamanho de parcelas / número de repetições.

Pearce & Moore (1976) deram boa contribuição na forma de redução do erro experimental nos experimentos com plantas perenes, considerando a correlação que há entre parcelas vizinhas, independente do tamanho, sem contudo relacioná-las com o número de repetições.

Mcrae & Ryan (1996) realizaram trabalho importantíssimo, mencionando vários aspectos do planejamento de experimentos de longa duração, no contexto de ajuste de modelos e técnicas experimentais, entre os quais o tamanho da parcela

e o número de repetições, e outros fatores que normalmente ocorrem ao longo do tempo, sem contudo, estabelecer relação entre eles.

Swallow (1981), mostrou a importância de bem planejar os experimentos com plantas perenes, nos quais estabeleceu alguns métodos estatísticos, no contexto de análise dos dados, considerando as medidas feitas ao longo do tempo, nesses experimentos, sem contudo tratar dessa relação.

Ortiz (1995), estimou tamanho e forma de parcelas para pesquisas com a cultura da bananeira, pelo método da máxima curvatura, que além de variar conforme a escala usada para a projeção da curva, não leva em conta a correlação que existe entre parcelas vizinhas. Quanto ao número de repetições, limitou-se a se referir a outros autores.

Genezi et al. (1980), estimaram tamanhos ótimos de parcelas para bananeira, pelo método empírico, proposto por Smith (1938) que leva em conta a heterogeneidade do solo, mas não considera a correlação que existe entre parcelas vizinhas nem estabelece nenhuma relação entre o tamanho da parcela e o número de repetições.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de mostrar que o aumento do número de repetições com o uso de parcelas pequenas, nos experimentos com plantas perenes e frutíferas arbóreas, além de melhorar as estimativas do erro experimental, dos efeitos de tratamentos e dos parâmetros do modelo do delineamento, diminui a área do experimento e o número de plantas necessárias, sem prejuízo da precisão dos resultados obtidos.

Planejamento experimental

O planejamento de experimentos é, sem dúvida, a parte mais importante de uma pesquisa, principalmente a que se realiza no campo. É exatamente nessa fase que se estabelecem os fatores de tratamentos, os modelos estatísticos, as técnicas experimentais como tamanho e forma de parcela, as variáveis que serão avaliadas, métodos de avaliação, número de repetições e tantos outros, em função dos objetivos da pesquisa.

É nessa fase que se estabelecem as hipóteses a serem testadas e se definem os testes estatísticos e respectivos níveis de precisão desejada, estreitamente ligados à variabilidade que envolve a pesquisa, no tocante ao material botânico, ao ambiente, ao tamanho e forma de parcelas, ao número de repetições e à relação entre eles, sobretudo dos dois últimos. Nesse contexto, a escolha do modelo experimental se reveste de grande importância, pois depende muito da cultura e dos diversos fatores envolvidos.

Para um breve embasamento teórico preferiu-se, por questão de simplicidade e maior facilidade de entendimento por especialistas da área biológica, que porventura não detenham grande conhecimento de estatística, partir de um modelo experimental baseado num experimento de competição de variedades, por exemplo, onde estas são os tratamentos.

Poder-se-ia, contudo, tomar qualquer caso genérico com até mais de um fator de tratamento, envolvendo fatores qualitativos e quantitativos no mesmo modelo, ou outros tipos de tratamentos, como produtos para controle de pragas ou doenças, níveis de fertilizantes e tantos outros, normalmente pesquisados no âmbito de experimentos de campo com fruteiras e outras plantas perenes arbóreas, uma vez que os princípios apresentados e discutidos são válidos para experimentos de longa duração com essas plantas, envolvendo quaisquer tipos de tratamentos.

A base teórica e a dedução detalhada da metodologia podem ser encontradas em Rossetti (2001). Para uma visão resumida, julgada necessária para melhor entendimento, considere-se, um experimento com c variedades de certa cultura perene, em b blocos casualizados, com k plantas úteis por parcela, onde os dados são obtidos de cada planta, cujo modelo estatístico, segundo Pimentel Gomes (1984), é escrito como:

$$Y_{ijk} = m + c_i + b_j + e_{ijk}, \quad (1)$$

onde: m é a média, c_i ($i = 1, 2, \dots, c$) é o efeito da i -ésima variedade (tratamento), b_j ($j = 1, 2, \dots, b$) é o efeito do j -ésimo bloco, e_{ijk} são aleatórios, com $E(e_{ijk}^2) = \sigma^2$, $E(e_{ijk} e_{i'j'k'}) = 0$ para $(i,j) \neq (i',j')$, $E(e_{ijk} e_{i'j'k'}) = \rho\sigma^2$, onde ρ é o coeficiente de correlação intraclasse (a correlação que deve existir entre parcelas vizinhas) e σ^2 é a variância experimental, de onde decorre a análise de variância da Tabela 1.

Tabela 1. Análise de variância dos diversos componentes do modelo (1), do delineamento experimental.

Fonte de variação	GL	QM	E(QM)
Blocos	(b - 1)	-	-
Variedades	(c - 1)	-	-
Resíduo (a)	(b - 1) (c - 1)	V_1	$\sigma^2 [1 + (k - 1) r]$
Resíduo (b)	b c (k - 1)	V_2	$\sigma^2 (1 - r)$

Na Tabela 1, **GL** designa o número de graus de liberdade para cada componente do modelo; **QM**, o quadrado médio ou estimativa das respectivas variâncias, onde V_1 é a estimativa da variância relativa às parcelas e V_2 a referente a plantas dentro de parcelas e k é o número de plantas úteis da parcela; **E(QM)** é a esperança matemática ou valor esperado dos quadrados médios dos diversos componentes.

Da análise de variância apresentada na Tabela 1, obtém-se as fórmulas dos estimadores dos diversos parâmetros. Desse modo, um estimador de ρ , é obtido pela expressão:

$$\hat{\rho} = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + (k - 1) V_2}, \quad (k > 1).$$

O cálculo do coeficiente de variação será feito pela variância relativa de cada parcela que tem a expressão:

$$V_1 = \sigma^2 [1 + (k - 1) \hat{\rho}].$$

Conclui-se, portanto, que sendo m a média geral, o coeficiente de variação, relativo ao resíduo (a), referente a parcelas, é obtido pela expressão:

$$CV = (100/km) \sqrt{\sigma^2 [1 + (k - 1) \hat{\rho}]} \quad CV = (100 \sigma m) \sqrt{\frac{1 - \hat{\rho}}{k^2} + \frac{\hat{\rho}}{k}} \quad CV = (100 \sigma m) \sqrt{\frac{(1 - \hat{\rho}) + k \hat{\rho}}{k^2}},$$

para $k > 0$ e $\hat{\rho} \geq 0$.

Variância de cada tratamento

Do modelo expresso em (1), obtêm-se a variância da média de r repetições de cada tratamento, pela expressão:

$$V(\hat{m}) = \left(\frac{\sigma^2}{kr} \right) [1 + (k - 1) \hat{\rho}], \text{ para } k, r > 1 \text{ e } \hat{\rho} > 0.$$

Não havendo bordadura entre as parcelas e sendo N o número total de plantas por tratamento, tem-se $N = kr$, logo:

$$V(\hat{m}) = \left(\frac{\sigma^2}{N} \right) [1 + (k - 1) \hat{\rho}].$$

Tamanho e forma das parcelas

Havendo bordadura ($b = \frac{1}{2}$, $b = 1$, $b = 2$), conforme se usar meia bordadura, bordadura completa ou simples, ou bordadura dupla entre as parcelas, de k plantas úteis, em n fileiras de plantio, na área útil da parcela, sendo N o número total de plantas por tratamento, $N = Kr$ (N constante) e r o número de repetições, o número total de plantas por parcela, K , será então:

$$K = (n + 2b) \left(\frac{k}{n} + 2b \right) = \left(1 + \frac{2b}{n} \right) (k + 2bn), \quad n > 1. \quad (2)$$

Como N é o número total de plantas por tratamento e r o número de repetições:

$$N = Kr = \left(1 + \frac{2b}{n} \right) (k + 2bn) r, \text{ e a variância da média do tratamento será então:}$$

$$V(\hat{m}) = \frac{\sigma^2}{N} \left(1 + \frac{2b}{n} \right) \left(1 + \frac{2bn}{k} \right) [1 + (k - 1) \hat{\rho}], \quad k > 1 \text{ e } \hat{\rho} > 0. \quad (3)$$

Determinando-se o mínimo dessa função, tem-se:

$$n = \sqrt[3]{\frac{2b(1-\hat{\rho})}{\hat{\rho}}}, \quad \hat{\rho} > 0 \quad \text{e} \quad k = \sqrt{\frac{2bn(1-\hat{\rho})}{\hat{\rho}}}, \quad \hat{\rho} > 0, \text{ pois } k = n^2,$$

onde k e n são respectivamente os estimadores do número de plantas úteis da parcela e do número de fileiras de plantio dessas parcelas, ou seja, $f(n, k)$ são as coordenadas do ponto mínimo da variância $V(\hat{m})$, isto é:

$$f(n, k) = V(\hat{m}) = \frac{\sigma^2}{N} \left(1 + \frac{2b}{n}\right) \left(1 + \frac{2bn}{k}\right) [1 + (k-1)\hat{\rho}].$$

Número de plantas / Área experimental

Como a área dos experimentos de campo com plantas perenes ou frutíferas arbóreas é uma função de $N = Kr$, considere-se dois experimentos com parcelas de, respectivamente, k e k' plantas úteis, em n e n' fileiras.

$$\frac{N'}{N} = \frac{\left(1 + \frac{2b'}{n'}\right) \left(1 + \frac{2b'n'}{k'}\right) [1 + (k'-1)\hat{\rho}]}{\left(1 + \frac{2b}{n}\right) \left(1 + \frac{2bn}{k}\right) [1 + (k-1)\hat{\rho}]}$$

Como as áreas de cada um dos experimentos são proporcionais aos números totais de plantas, tem-se também:

$$\frac{A'}{A} = \frac{\left(1 + \frac{2b'}{n'}\right) \left(1 + \frac{2b'n'}{k'}\right) [1 + (k'-1)\hat{\rho}]}{\left(1 + \frac{2b}{n}\right) \left(1 + \frac{2bn}{k}\right) [1 + (k-1)\hat{\rho}]} \quad (4)$$

Sendo, respectivamente, r e r' o número de repetições para cada experimento, tem-se que

$$\frac{A'}{A} = \frac{N'}{N} = \frac{rK'}{rK} \quad \text{ou seja} \quad \frac{A'}{A} = \frac{r'K'}{rK} \quad \text{ou ainda} \quad \frac{r'}{r} = \frac{K}{K'} \times \frac{A'}{A} \quad (5)$$

Variância como função do número de plantas por parcela

Como $f(k) = V(\hat{m}) = \left(\frac{\sigma^2}{N}\right) [1+(k-1)\hat{\rho}]$, considere-se, por exemplo, $N = 10$ plantas e $\hat{\rho} = \pm 0,050$. É simples verificar que o mínimo da variância se dá para $k = 1$, independente do sinal de $\hat{\rho}$. Se porém, $k > 1$ e $\hat{\rho} > 0$ essa variância é função crescente de k . Mas se $k > 1$ e $\hat{\rho} < 0$ ela é função decrescente de k , ou seja:

Tomando $\hat{\rho} = 0,050$

Para $k = 1$, $f(1) = (\sigma^2/10)$

Para $k = 2$, $f(2) = (\sigma^2/10) 1,05$

Para $k = 5$, $f(5) = (\sigma^2/10) 1,20$

Para $k = 10$, $f(10) = (\sigma^2/10) 1,45$

Tomando $\hat{\rho} = - 0,050$

Para $k = 1$, $f(1) = (\sigma^2/10)$

Para $k = 2$, $f(2) = (\sigma^2/10) 0,95$

Para $k = 5$, $f(5) = (\sigma^2/10) 0,80$

Para $k = 10$, $f(10) = (\sigma^2/10) 0,55$

De modo geral, o mínimo se daria então para $k = N$ ou $r = 1$, mas com duas restrições:

a) Deve-se ter $1 + (k - 1) \hat{\rho} \geq 0$.

b) Deve haver um número considerável de repetições $r \geq 2$, que permita obter um número razoável de graus de liberdade para o resíduo, pelo menos dez, para que se tenha bons resultados.

Aplicação em experimentos com a cultura do cajueiro

Rossetti et al. (1991) e Rossetti et al. (1996) mostraram que o coeficiente de correlação intraclasse $\hat{\rho}$, em experimentos de campo com cajueiro comum e anão precoce varia entre 0,0647 e 0,2967, ou seja: $0,0647 < \hat{\rho} \leq 0,2967$.

1. Tomando-se, nesse intervalo, dois experimentos com $\hat{\rho} = 0,1243$ e bordadura simples ou completa ($b = 1$) entre as parcelas. No primeiro experimento cada parcela foi formada por $k = 12$ plantas úteis em $n = 4$ fileiras de plantio. No segundo, as parcelas tinham $k' = 4$ plantas úteis em $n' = 2$ fileiras.

Aplicando-se a expressão (2) e designando-se por K e K' , respectivamente, o número total de plantas por parcela do primeiro e segundo experimentos, verifica-se que haviam $K = 30$ e $K' = 16$ plantas por parcela, em cada um deles, ou seja:

$$K = (4 + 2) \left(\frac{20}{4} + 2 \right) \quad K = 30, \text{ no primeiro e,}$$

$$K' = (2 + 2) \left(\frac{6}{2} + 2 \right) \quad K' = 16 \text{ no segundo experimento.}$$

Aplicando-se a expressão (3) e designando-se, por $V(\hat{m})$ e $V'(\hat{m})$, as variâncias da média de cada tratamento, respectivamente, do primeiro e segundo experimentos, verifica-se que suas variâncias são:

$$V(\hat{m}) = \frac{\sigma^2}{N} 5,91825$$

e

$$V'(\hat{m}) = \frac{\sigma^2}{N} 5,4916$$

Conclui-se, pois, que a variância da média de cada tratamento do primeiro experimento é 7,21% maior que a do segundo. Isso, além de confirmar o fato de que parcelas grandes têm maior variância, indica, no caso de haver diferenças significativas entre os tratamentos de ambos os experimentos, que sua detecção é muito mais difícil no primeiro que no segundo.

A aplicação da expressão (4), onde A e A' representam, respectivamente, as áreas ocupadas pelos primeiro e segundo experimentos, permite determinar que a relação entre essas áreas será:

$$\frac{A'}{A} = \frac{5,4916}{5,91825} = 0,92 = 92\%$$

Isto é : $A' = 92\% A$. O segundo experimento, de área A' , ocuparia 92% da área A , do primeiro, com uma economia de 8% na área experimental. Como no primeiro experimento haviam $r = 4$ repetições, é possível verificar-se, com o auxílio da expressão (5), que o segundo experimento poderia ter:

$$\frac{r'}{r} = \frac{30}{16} \times \frac{5,4916}{5,91825} \Rightarrow \frac{r'}{r} = 1,7398 \Rightarrow r' = 1,7398r \Rightarrow r' = 1,7398 \times 4 \Rightarrow r' = 6,9 \Rightarrow r' = 6 \text{ ou } 7,$$

Isto é, $r' = 6$ ou 7 repetições. Nota-se que mesmo aumentando o número de repetições, de $r = 4$ para $r' = 6$ ou 7, o segundo experimento ocuparia área 8% menor do que a do primeiro, ou seja, há economia de 8% na área experimental. Vê-se, por outro lado, que o número total de plantas por tratamento, será reduzido de $N = 4 \times 30 = 120$; para $N' = 6 \times 16 = 96$, no caso de $r = 6$, ou $N' = 7 \times 16 = 112$, no caso de $r = 7$ repetições, com redução efetiva de 20,0% ou 6,7% no número de plantas necessárias, para o novo experimento, conforme se usarem $r = 6$ ou 7 repetições. Nota-se, ainda, que independente do número e do tipo de tratamentos dos experimentos e da área de pesquisa, o segundo experimento, com $r' = 6$ ou 7 repetições terá maior número de graus de liberdade para estimar o erro experimental, havendo, conseqüentemente, maior precisão na estimativa do erro experimental, dos efeitos de tratamentos e na aplicação dos testes estatísticos, portanto maior facilidade de detectar diferenças significativas entre os tratamentos, quando estas existirem.

2. Tomando-se, ainda nesse intervalo, dois experimentos com $\hat{\rho} = 0,0983$ e bordadura simples ou completa ($b = 1$) entre as parcelas. No primeiro experimento cada parcela foi formada por $k = 20$ plantas úteis em $n = 4$ fileiras de plantio. No segundo, as parcelas tinham $k' = 6$ plantas úteis em $n' = 2$ fileiras.

Aplicando-se a expressão (2) e designando-se por K e K' , respectivamente, o número total de plantas por parcela do primeiro e segundo experimentos, verifica-se que haviam $K = 42$ e $K' = 20$ plantas por parcela, em cada um deles, ou seja:

$$K = (4 + 2) \left(\frac{20}{4} + 2 \right) \quad K = 42, \text{ no primeiro e,}$$

$$K' = (2 + 2) \left(\frac{6}{2} + 2 \right) \quad K' = 20 \text{ no segundo experimento.}$$

Aplicando-se a expressão (3) e designando-se, por $V(\hat{m})$ e $V'(\hat{m})$, as variâncias da média de cada tratamento, respectivamente, do primeiro e segundo experimentos, verifica-se que suas variâncias são:

$$V(\hat{m}) = \frac{\sigma^2}{N} 6,02217 \quad \text{e} \quad V'(\hat{m}) = \frac{\sigma^2}{N} 4,97167$$

Conclui-se, pois, que a variância da média de cada tratamento do primeiro experimento é 17,44% maior que a do segundo. Verifica-se novamente que parcelas grandes têm maior variância, indicando, no caso de haver diferenças significativas entre os tratamentos de ambos os experimentos, que sua detecção é muito mais difícil no primeiro que no segundo.

A aplicação da expressão (4), onde A e A' representam, respectivamente, as áreas ocupadas pelos primeiro e segundo experimentos, permite determinar que a relação entre essas áreas será:

$$\frac{A'}{A} = \frac{4,97167}{6,02217} = 0,82 = 82\%. \text{ Isto é : } A' = 82\% A.$$

O segundo experimento, de área A', ocuparia 82% da área A, do primeiro, com uma economia de 18% na área experimental. Como no primeiro experimento haviam $r = 5$ repetições, é possível verificar-se, com o auxílio da expressão (5), que o segundo experimento poderia ter:

$$\frac{r'}{r} = \frac{42}{20} \times \frac{4,97167}{6,02217} \Rightarrow \frac{r'}{r} = 1,7336 \Rightarrow r' = 1,7336 r \Rightarrow r' = 1,7336 \times 5 \Rightarrow r' = 8,7$$

Isto é, $r' = 8$ ou 9 repetições. Nota-se que mesmo aumentando o número de repetições, de $r = 5$ para $r' = 8$ ou 9, o segundo experimento ocuparia área 18% menor do que a do primeiro, ou seja, há economia de 18% na área experimental. Vê-se, por outro lado, que o número total de plantas por tratamento, será reduzido de $N = 5 \times 42 = 210$ para $N' = 8 \times 20 = 160$, no caso de $r = 8$, ou $N' = 9 \times 20 = 180$, no caso de $r = 9$ repetições, com redução efetiva de 23,8% ou 14,3% no número de plantas necessárias, para o novo experimento, conforme se usarem $r = 8$ ou 9 repetições. Nota-se, ainda, que

independente do número e do tipo de tratamentos dos experimentos e da área de pesquisa, o segundo experimento, com $r' = 8$ ou 9 repetições terá maior número de graus de liberdade para estimar o erro experimental, havendo, conseqüentemente, maior precisão na estimativa do erro experimental, dos efeitos de tratamentos e na aplicação dos testes estatísticos, portanto maior facilidade de detectar diferenças significativas entre os tratamentos, quando estas existirem.

Aplicação em experimentos com a cultura da seringueira

Rossetti & Pimentel Gomes (1987), encontraram grande número de experimentos com seringueira contendo, em geral, três repetições, raros com quatro. Analisando-se vários desses experimentos com $r = 3$ repetições, em blocos ao acaso, bordadura simples ($b = 1$) entre as parcelas de $k = 16$ plantas úteis em $n = 4$ fileiras, portanto com um total de $K = 36$ plantas por parcela, onde cada tratamento era constituído de 108 plantas, detectou-se grande variabilidade dentro de cada tratamento, o que dificultava a detecção de diferenças significativas entre eles. Um experimento nessas condições, com $\hat{\rho} = 0,0789$, e parcelas de $k' = 4$ plantas úteis em $n' = 2$ fileiras, ter-se-ia $r' = 6, 8$, podendo-se utilizar $r = 6$ ou 7 repetições.

Utilizando-se $r = 6$ repetições, cada tratamento teria 96 plantas, em parcelas de $K = 16$ plantas ao todo, ocupando precisamente a mesma área, porém com as vantagens de se ter o dobro do número de repetições do primeiro, com 88,89% das plantas nele utilizadas, menor variância da média de cada tratamento e dentro das parcelas, além de contar com maior número de graus de liberdade para estimar o erro experimental, os efeitos de tratamentos e de outros parâmetros, aumentando, substancialmente, a possibilidade de serem detectadas, com precisão, diferenças significativas entre os efeitos testados. Com $r' = 7$ repetições, cada tratamento passaria a ser constituído de 112 plantas, com um acréscimo de 3,7%, em relação ao primeiro, ocupando, portanto, uma área ligeiramente maior, ou seja, 0,96% maior que a do experimento original, com apenas três repetições, que mesmo assim, ainda seria altamente vantajoso, uma vez que pelo aumento do número de graus de liberdade para estimar o erro experimental e os efeitos de tratamentos e de outros parâmetros, seria altamente benéfico na precisão dessas estimativas, com reflexos positivos na qualidade dos resultados obtidos.

Embora se saiba da importância que tem o número de repetições nos experimentos das diversas áreas de pesquisa, há, às vezes, restrições que impedem o uso do número desejável de repetições, sendo a mais comum relativa à área total do experimento. Assim sendo, a alternativa sugerida neste trabalho, para aumentar o número de repetições e a eficiência dos experimentos, reduzindo, ao mesmo tempo, a quantidade de plantas necessárias e, por vezes, a área experimental, parece razoável, pois permite maior precisão à pesquisa agrônômica de campo, com plantas perenes ou frutíferas arbóreas, com custos bem menores, uma vez que se diminui a variância da média de cada tratamento, permitindo maior número de repetições com parcelas pequenas que possibilita diminuir o número de plantas necessárias no experimento, o tamanho da área experimental, reduzindo os custos da pesquisa.

Referências Bibliográficas

- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal: FUNEP/ FCAV/ UNESP, 1995. 247p.
- DAGNELIE, P. **Théorie et méthodes statistiques**. Paris: Press Agronomiques de Gembloux, 1975. v.2.
- GENEZI, A.; LAHAV, E.; PUTTER, J. Determination of optimal plot size in banana experiments. **Fruits**, Paris, v.35, n.1, p. 25-28,1980.
- McRAE, K.B.; RYAN, D A.J. Design and planning of long-term experiments. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 76, n. 4, p. 595-602, out., 1996.
- ORTIZ, R. Plot techniques for assessment of bunch weight in banana trials under two systems of crop management. **Agronomy Journal**, New York, v.87, n.1, p. 63-69, jan/fev., 1995.
- PEARCE, S.C. **Field experimentation with fruit trees and other perennial plants**. 2.ed. England: East Malling CAB, 1975. 183p. (Technical Communication, 23).
- PEARCE, S.L.; MOORE, C.S. Reduction of experimental error in perennial crops using adjustment by neighboring plots. **Experimental Agriculture**, New York, v.12,n. 3, p.267-272, 1976.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.

PIMENTEL GOMES, F.O problema do tamanho das parcelas em experimentos com plantas arbóreas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.12, p.1507-1512, dez., 1984.

ROSSETTI, A.G. **Planejamento de experimentos de nutrição e adubação com plantas perenes arbóreas**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1994. 50p. (Embrapa-CNPAT. Documentos, 13).

ROSSETTI, A.G. Precisão experimental e tamanho de experimentos de campo com fruteiras e outras plantas perenes arbóreas em função da unidade experimental e do número de repetições. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.704-708, dez., 2001.

ROSSETTI, A.G.; PIMENTEL GOMES, F. Determinação do tamanho ótimo de parcelas em ensaios agrícolas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.5, p.477-487, maio., 1983.

ROSSETTI, A.G.; PIMENTEL GOMES, F.A method for the determination of optimum plot size in experiments with rubber tree (*Hevea*). **Journal of Natural Rubber Research**, Malaysia, v.2, n.3, p.135-141, set., 1987.

ROSSETTI, A.G.; ALMEIDA, J.I.L. de; PARENTE, J.I.G.; BARROS, L. de.M. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com cajueiro comum. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.13, n.2, p.117-122, out., 1991.

ROSSETTI, A.G.; BARROS, L. de M.; ALMEIDA, J.I.L. de. Tamanho ótimo de parcelas para experimentos de campo com cajueiro anão precoce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.12, p.843-852, dez., 1996.

SMITH, H.F. An empirical law describing heterogeneity in the yield of agricultural crops. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 28, p.1-23, 1938.

SWALLOW, W.H. Statistical approaches to studies involving perennial crops. **Hortscience**, New York, v. 16, n. 5, p.634-636, 1981.

Embrapa

Agroindústria Tropical

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

