

## **MÉTODOS DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS COM CULTURAS CONSORCIADAS**



**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA**  
**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA**  
**Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC**  
**Planaltina, DF**

MÉTODOS DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE  
ENSAIOS COM CULTURAS CONSORCIADAS

Antônio Carlos Gomes  
Décio Barbin



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC

Planaltina, DF

Exemplares deste documento podem ser solicitados ao:  
CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS - CPAC  
BR 020 - km 18 - Rodovia Brasília-Fortaleza  
Caixa Postal 70-0023  
73.300 - Planaltina - DF  
Telefones: (061) 596-1171, 596-1845, 596-1590.  
Telex: 0611621

Tiragem: 1.200 exemplares

Editor: Comitê de Publicações

José Carlos Sousa Silva

José Luiz Fernandes Zoby

Luiz Carlos B. Nasser - Presidente

Raul Colvara Rosinha - Secretário

Wenceslau J. Goedert

Editores: Antonio de Pádua Carneiro

Dilermando Lúcio de Oliveira

Normalização bibliográfica: Suzana Sperry

Composição: Adonias Pereira de Oliveira

Montagem: Nilda Maria da Cunha Sette

Distribuição: Daniel Venâncio Bezerra

Ficha Catalográfica  
(Preparada pelo SIDOC do CPAC)

Gomes, Antônio Carlos

Métodos de análise e interpretação de ensaios com culturas consorciadas, por Antônio Carlos Gomes e Décio Barbin. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1986.

23p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de Pesquisa, 27).

1. Cultivos - Consorciação - Estatística - Análises - Ensaios. I. Barbin, Décio, colab. II. Título. III. Série.

CDD 631.58

## SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
CONSORCIAÇÃO DE UMA CULTURA PRINCIPAL COM UMA OUTRA SUPLEMENTAR...	7
Introdução.....	7
Terminologia.....	7
Modelo.....	8
Somas de quadrados.....	9
Teste estatístico.....	10
Regras de decisão.....	10
Comentário.....	13
Comparação entre tratamentos.....	15
CONSORCIAÇÃO DE DUAS CULTURAS CONSIDERADAS DE IGUAL IMPORTÂNCIA...	18
Introdução.....	18
Modelo.....	18
Soma de quadrados.....	20
Testes estatísticos.....	20
Regras de decisão.....	20
Comparação entre tratamentos.....	21
CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

# MÉTODOS DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS COM CULTURAS CONSORCIADAS<sup>1</sup>

Antônio Carlos Gomes<sup>2</sup>  
Décio Barbin<sup>3</sup>

## RESUMO

São observados os diferentes métodos que podem ser utilizados na análise e interpretação de experimentos em cultivos consorciados. Os delineamentos e os procedimentos de análise variam de uma situação para outra, dependendo especificamente dos objetivos propostos. O importante é conhecer as várias técnicas de análise com uma finalidade específica, a qual poderia ser o melhor aproveitamento das informações obtidas, visando, assim, a um perfeito entendimento do mecanismo de associação das espécies ou culturas consorciadas com os fatores envolvidos no meio ambiente. Quanto aos métodos, observa-se que os delineamentos e análises frequentemente empregados têm muito em comum com as análises do monocultivo. Entretanto, é importante destacar os aspectos de fundamental interesse, visando retirar de cada experimento o máximo de informações confiáveis, a fim de fazer melhor uso dos recursos disponíveis. Alguns índices de competição são também utilizados como forma de melhor entender o comportamento das culturas no seu mecanismo de competição, tendo em vista a escolha adequada dos componentes dos cultivos consorciados e identificação do balanceamento ótimo das culturas componentes.

---

<sup>1</sup> Parte de Tese de Mestrado do primeiro autor. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, Piracaba, SP.

<sup>2</sup> Matemático, M.Sc.

<sup>3</sup> Eng.-Agr. Dr., Professor do Departamento de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). Piracicaba, SP.

## METHODS OF ANALYSIS AND INTERPRETATION OF INTERCROPPING EXPERIMENTS

### ABSTRACT

Several methods that can be used in the analyses and interpretation of intercropping experiments were discussed in this study. Some designs and the procedures of the analyses change according to the different situations, depending upon the proposed objective. The main purpose is to show various techniques of analyses, specifically those that would be best for utilization with data obtained, regarding a good knowledge about the mechanism of association between species or crops that have been associated with the factors involved in the environment. With respect to the analyses methods used by investigators, it was observed that usual designs and analyses have similarities with sole cropping analyses. However, it is important to emphasize those fundamental aspects, to obtain from each experiment the maximum of reliable information in order to make best use of available data. Many competition indexes are also used to get better knowledge about the crop performance relatively to the competition mechanism, adequate components selection for the intercropping and identification of their optimum balancing.

## Introdução

Em certos sistemas de cultivos agrícolas, o interesse se concentra sobre o desenvolvimento de uma cultura principal, consorciada a uma cultura suplementar. Nesse caso, a cultura suplementar é cultivada simultaneamente ou previamente com a cultura principal. É importante, nesse tipo de consórcio, que o rendimento da cultura principal não seja prejudicada pela presença da cultura suplementar. Todavia, pode sofrer pequena redução em seu rendimento dentro de certos limites previamente estabelecidos (Mead & Willey 1980, Federer 1982).

Suponha-se que  $C_1 = m$  linhagens, variedades ou cultivares de uma cultura A, e  $C_2 = n$  linhagens, variedades ou cultivares de uma cultura B e  $C_1 C_2 = mn$  combinações das linhagens, variedades ou cultivares das culturas A e B, respectivamente, envolvidas no consórcio. Como pressuposições básicas para este estudo, tem-se que:

- a) a densidade da cultura principal em cultivo consorciado será a mesma empregada em monocultivo; e, da mesma forma a densidade da cultura suplementar em cultivo consorciado será a mesma do monocultivo;
- b) os rendimentos serão obtidos das culturas principal e suplementar envolvidas no consórcio, embora se considerará apenas a resposta da cultura principal;
- c) o parâmetro em estudo refere-se à resposta da cultura principal, usada na análise de variância.

## Terminologia

Os termos utilizados para descrever o desenvolvimento de mais de uma cultura em uma mesma área de cultivo são:

### Cultivo consorciado ("Intercropping")

Consiste no plantio de duas ou mais culturas numa mesma área, havendo competição entre elas durante todo ou parte do ciclo de desenvolvimento.

A consorciação compreende quatro subtipos:

a) Cultivos mistos ("Mixed Intercropping")

É o plantio sem arranjo em fileiras distintas. Trata-se de um sistema primitivo mais característico de agricultura nômade.

Exemplo: Plantio de milho e feijão em semeadura manual e de modo aleatório.

b) Cultivo consorciado em fileiras ("Row Intercropping")

Pelo menos uma das culturas está disposta em fileiras.

Exemplo: Plantio de milho e feijão na mesma fileira (em fileiras paralelas) ou plantio de feijão ao acaso entre fileiras de milho.

c) Cultivo em faixas alternadas ("Strip Intercropping")

É o plantio em faixas, permitindo um manejo independente das culturas, sem contudo, evitar que haja competição entre as mesmas.

Exemplo: Duas fileiras de milho para quatro fileiras de feijão.

d) Cultivo de substituição ("Relay Intercropping")

Nesse caso o plantio da segunda cultura é feito após a primeira ter atingido a fase reprodutiva, porém, antes da colheita.

Exemplo: Plantio de feijão da "seca" dentro da cultura do milho, já em fase final de maturação.

## Modelo

O delineamento a ser selecionado deve ser tal que permita o controle da heterogeneidade do material experimental. Pode ser em blocos, quadrados latinos, blocos com os tratamentos no esquema de parcelas subdivididas, blocos divididos (faixas), ou outros delineamentos, de modo a permitir que as comparações de maior interesse sejam estimadas com precisão (Federer 1982, Chetty & Rao 1979, Willey 1979b).

Neste estudo, visando estabelecer o controle da heterogeneidade da área experimental em um único sentido, utilizou-se o delineamento em blocos completos casualizados em esquema fatorial, em que os tratamentos em consórcio possuem esquema fatorial balanceado, enquanto que os de monocultivo são tratamentos adicionais. A utilização deste modelo permite o estudo:

- a) de seleção de genótipos, culturas e variedades (Icrisat 1978, Federer 1982);
- b) de arranjo de fileiras de plantas, quando em cultivo consorciado (Garcia 1979) e outras aplicações.

O modelo linear para variável observada de uma cultura principal A com  $C_1 = m$  linhagens pode ser representado por:

onde: 
$$Y_{hij} = \mu + \beta_h + \tau_i + \gamma_j + \tau\gamma_{ij} + \xi_{hij}$$

- $Y_{hij}$  - é a variável observada para a i-ésima linhagem da cultura A, no j-ésimo sistema de cultivo consorciado no h-ésimo bloco;
- $\beta_h$  - é o efeito do h-ésimo bloco,  $h = 1, 2, \dots, r$ ;
- $\tau_i$  - é o efeito de i-ésima variedade da cultura principal A,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;
- $\gamma_j$  - é o efeito do j-ésimo sistema de cultivo,  $j = 0, 1, 2, \dots, n$ , onde 0 (zero) representa o sistema de monocultivo e  $j = 1, 2, \dots, n$  representa as  $C_2 = n$  linhagens da segunda cultura B, que são denotadas como n sistemas de cultivo.
- $\tau\gamma_{ij}$  - é o efeito da interação da i-ésima linhagem com o j-ésimo sistema de cultivo;
- $\xi_{hij}$  - é o erro experimental, sendo uma variável aleatória normal e independentemente distribuída, com média zero e variância comum.

#### Somas de quadrados

As somas de quadrados são dadas por:

$$S.Q. \text{ Total} = \sum_{h,i,j} Y_{hij}^2 - C ; C = \frac{(\sum Y_{hij})^2}{rm(n+1)} \quad (1)$$

$$S.Q. \text{ Resíduo} = \sum Y_{hij}^2 - SQ\text{Parâmetros}$$

$$S.Q. \text{ Blocos} = \sum_{h=1}^r \hat{\beta}_h Y_{h..} = \frac{\sum_{h=1}^r Y_{h..}^2}{m(n+1)} - C \quad (2)$$

$$S.Q. \text{ Linhagens} = \sum_{i=1}^m \hat{\tau}_i Y_{.i.} = \frac{\sum_{i=1}^m Y_{.i.}^2}{r(n+1)} - C \quad (3)$$

$$S.Q. \text{ Sistemas de Cultivo} = \sum_{j=0}^n \hat{\gamma}_j Y_{..j} = \frac{\sum_{j=0}^n Y_{..j}^2}{mr} - C \quad (4)$$

$$S.Q. (\text{Linhagens} \times \text{Sistemas de Cultivo}) = \sum_{ij} \hat{\tau\gamma}_{ij} Y_{.ij} \quad (5)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^n Y_{.ij}^2}{r} - C - S.Q. \text{ Linhagens} - S.Q. \text{ Sistemas de cultivos}$$

$$S.Q. \text{ Resíduo} = S.Q. \text{ Total} - S.Q. \text{ Blocos} - S.Q. \text{ Linhagens} - S.Q. \text{ Sistemas de cultivo} - S.Q. (\text{Linhagens} \times \text{Sistemas de Cultivo}) \quad (6)$$

### Teste estatístico

O teste F para as hipóteses a serem testadas é feito através do QMRes., para todas as fontes de variação.

### Regras de decisão

Se a hipótese de nulidade  $H_0$  para efeitos de tratamentos não for rejeitada, conclui-se que as médias dos diferentes sistemas testados não diferem estatisticamente. Isso indica não ter havido prejuízo para a cultura principal, quando consorciada com uma cultura suplementar. Nesse caso, o rendimento da cultura suplementar pode constituir uma renda bruta extra.

Quando a cultura principal constitui alta fonte de renda, geralmente o agricultor não se dispõe a sacrificá-la em benefício do

TABELA 1. Análise de variância univariada para mn+m tratamentos da cultura principal m, em n sistemas de cultivo (cultura suplementar) e o sistema de monocultivo com r blocos, em um delineamento em blocos completos casualizados.

Fontes de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio
Blocos	r-1	$\sum_h Y^2_{h..} h../(mn+m) - C = B$	B/(r-1)
Tratamentos	mn+m-1	$\sum_{ij} Y^2_{.ij} .ij/r - C = T$	T/(mn+m-1)
Linhagens	m-1	$\sum_i Y^2_{i..} .i./r(n+1) - C = L$	L/(m-1)
Sistema de cultivo	n	$\sum_{j=0} Y^2_{...j} ..j/mr - C = S$	S/n
Monocultivo versus consorciado	1	$Y^2_{...0}/mr + (\sum_{j=1}^n Y_{...j})^2/mnr - C = R$	R
Entre sist. de cultivo consorciado	n-1	$\sum_{j=1}^n Y^2_{...j} ..j/mr - (\sum_{j=1}^n Y_{...j})^2/nmr = A$	A/(n-1)
Linhagens versus sistemas de cultivos	n(m-1)	$\sum_{i=j}^m \sum_{j=0}^n Y^2_{.ij} .ij/r - L - S - C = I$	I/n(m-1)
Resíduo	(r-1)(mn+m-1)	Subtração = E'	E'/(r-1)(mn+m-1)
TOTAL	r(mn+m)-1	$\sum_{hij} (Y^2_{hij}) - C$	
		$C = \frac{(\sum Y_{hij})^2}{r(mn+m)}$	

consórcio. Nessas condições, isto é, quando a cultura principal não for prejudicada, as vantagens são facilmente avaliadas pelo rendimento da segunda cultura.

Tal situação, entretanto, nem sempre é provável, pois pode ocorrer que o rendimento da cultura principal não possa ser mantido. Logo, em tais casos será útil aplicar outras técnicas de análise para medir a eficiência do consórcio, como será mencionado mais adiante (Mead e Willey 1980).

Se a hipótese de nulidade  $H_0$  for rejeitada a um certo nível de significância ( $\alpha$ ), diferentes fatores devem ser considerados:

1) Linhagens

Nesse caso, os rendimentos médios de linhagens comportam-se potencialmente diferentes, podendo, às vezes, interferir na conclusão dos resultados, quando são comparados os diferentes sistemas.

2) Sistemas de cultivo

Obtêm-se os diferentes comportamentos tanto para o sistema de monocultura como para a de cultivo consorciado. Comparando os sistemas entre si, é possível estabelecer os diferentes desempenhos dos mesmos. Aqui se pode desdobrar a questão em duas sub-hipóteses de interesse.

Primeira Subhipótese: Monocultura versus cultivo consorciado

Através da comparação entre o sistema tradicional de monocultivo com o sistema de cultivo consorciado, pode-se tomar decisões importantes.

Duas situações imediatas podem ocorrer:

- a) o rendimento médio dos sistemas de monocultivo foi superior ao do cultivo consorciado;
- b) o rendimento médio do sistema de monocultivo foi inferior, igual ou sofreu pequena redução em relação ao cultivo consorciado.

Se ocorrer a situação a, é de se supor que a cultura suplementar tem prejudicado a cultura principal, podendo não ser viável a sua utilização. Recomenda-se, então, considerar as relações de preço, tendo em vista os valores econômicos.

A situação b indica que houve vantagens de rendimentos nos diferentes sistemas de cultivo consorciado, quando comparados ao monocultivo.

## Segunda Subhipótese: Entre sistemas de cultivos consorciados

Esse tipo de comparação permite obter entre os sistemas de cultivos consorciados os que melhor se comportam, quando se levam em conta os rendimentos médios.

### 3) Interação de linhagens versus sistemas de cultivo

Esse tipo de comparação é de grande interesse, pois permite observar o comportamento das linhagens em diferentes sistemas de cultivo, e o estudo das combinações de maior interesse.

## Comentário

Além dos procedimentos usuais de análise de variância univariada para a cultura principal, utilizando alguns dos delineamentos convencionais, pode-se executar outras análises. Empregam-se, nesse caso, os índices que avaliam a eficiência dos sistemas de cultivo, e que possam ser submetidos à análise de variância.

Sugestões para análise de variância sobre o índice de rendimento relativo total (RYT) ou uso eficiente da terra (LER) foram apresentados por Chetty & Rao (1979). Salientam eles, porém, que o LER poderá ser utilizado com certas vantagens, por ser um índice que mede a eficiência dos sistemas, independentemente dos níveis de rendimentos. Observam, todavia, ser o LER útil na comparação de diferentes sistemas, quando uma mesma combinação de culturas é envolvida no consórcio.

Os mesmos autores mencionam o emprego de alguns índices que podem ser utilizados como alternativa do LER. Segundo eles, pode-se utilizar os seguintes índices, tendo em vista uma melhor avaliação dos sistemas:

$$I_1 = \frac{Y_{1j} + Y_{j1}}{p_1 Y_{11} + p_2 Y_{jj}}$$

onde:  $Y_{1j}$ ,  $Y_{j1}$ ,  $Y_{11}$  e  $Y_{jj}$  são definidos anteriormente; e  $p_1$ ,  $p_2$  são as proporções de semeadura.

Mas, nesses casos, os preços das culturas envolvidas não são levados em consideração. Afirmam, entretanto, que a viabilidade econô-

mica do sistema aumenta a sua adaptabilidade. Sugerem, então, o uso de outro índice que considere os aspectos de preços baseados na receita líquida, como abaixo.

$$I_2 = \frac{\text{Receita líquida do cultivo consorciado}}{\text{A mais alta receita líquida de cultivo solteiro}}$$

Este índice é simples, mas tem a desvantagem de o denominador considerar apenas um dos componentes do consórcio, além de não considerar o arranjo espacial das culturas componentes.

Considerando as proporções e preços das culturas componentes, sugerem o seguinte índice:

$$I_3 = \frac{R Y_{1j} + Y_{j1}}{R p_1 Y_{11} + p_2 Y_{jj}}$$

onde: R é a relação de preços da i-ésima cultura componente, com os preços da j-ésima cultura componente. Observaram ainda que a relação de preços das culturas consorciadas apresenta-se com menor flutuação que os preços das culturas individuais.

Além das vantagens citadas por Chetty & Rao (1979) sobre o uso do LER, na avaliação dos sistemas de cultivo em consórcio, Mead & Stern (1979) fizeram algumas considerações sobre seu uso. Estes autores mostraram que o LER pode ser utilizado como uma medida do benefício de cultivo consorciado, permitindo que os rendimentos das culturas envolvidas possam ser combinados. Contudo, não fizeram pressuposições sobre as proporções de terra semeada ou mesmo sobre seu particular valor econômico. Salientaram, entretanto, que o LER simplesmente dá uma medida do aumento da eficiência biológica em termos de rendimento colhido, não considerando a área semeada.

Em contrapartida, admitem ser inadequada a análise de variância aplicada a esses índices, quando não escolhida uma padronização adequada, uma vez que, para sua obtenção, normalmente se utilizem os mesmos denominadores para diferentes tratamentos. Este fato provoca a dependência entre os tratamentos. Para contornar esse problema, sugerem que a padronização seja feita com o rendimento de uma única cultura solteira, tornando, assim, mais apropriado o uso da análise de variância.

Estudando a distribuição do LER, a fim de verificar a validade das análises de variância univariada e multivariada no atendimento a pressuposições exigíveis de normalidade e homocedasticidade, Gonçalves (1981) sugere estudos de transformações apropriadas e o emprego de métodos gráficos, com o objetivo de eliminar possíveis erros relacionados às pressuposições básicas de normalidade e homocedasticidade. Verificou, porém, que em todas as padronizações do LER, houve perda na representatividade da análise de variância, isto é, as distribuições empíricas diferem das distribuições teóricas.

Quando se tem em vista a seleção de culturas ou de variedades adequadas ao cultivo consorciado, a análise pode ser executada, com relativa facilidade, sobre as respostas obtidas para a cultura principal, considerando-se as parcelas de monocultivo como controle. Nessa situação, pode-se utilizar delineamentos convencionais, como: blocos ao acaso, quadrado latino e outros, dependendo apenas da natureza do campo experimental e do número de tratamentos empregados (Chetty & Rao 1979).

#### Comparação entre tratamentos

Ao contrário do fracionamento dos  $mn+m-1$  graus de liberdade de tratamentos, como foi descrito na Tabela 1, da análise de variância, pode-se proceder à comparação de médias dos  $mn+m$  tratamentos. Para tal, utilizam-se alguns dos procedimentos usuais de comparação de médias, como: Teste de Tukey, Duncan e outros (Federer 1982).

Esses procedimentos visam a discriminação dos efeitos de tratamentos, destacando os grupos que apresentam melhores perspectivas de sucesso, quanto às vantagens de rendimentos, sem levar em consideração o esquema fatorial.

a) Teste de Tukey. Baseia-se na amplitude total "studentizada" (studentized range) e pode ser utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos (Pimentel Gomes 1978). Nesse caso, tem-se  $mn+m$  tratamentos a comparar, e  $mn+m-1$  contraste distintos a serem estudados.

$$\text{Seja } mn+m = k \quad C_k^2 = \frac{k(k-1)}{2} \quad \text{comparações}$$

$K-1 = mn+m-1$  contrastes ortogonais pelo teste de Tukey, tem-se no total  $\frac{k(k-1)}{2}$  contraste a serem estudados.

O teste é exato e de uso simples, quando o número de repetições é o mesmo para todos os tratamentos, o que pode ser admitido inicialmente.

Calcula-se o valor de

$$\Delta = q_{\alpha, f, v} \sqrt{\frac{E'/(r-1) (mn+m-1)}{r}}$$

onde:  $q_{\alpha, f, v}$  é o valor tabelado da amplitude "studentizada" (studentized range) com taxa experimental de erro  $\alpha$ ;  $f$  graus de liberdade do resíduo; e  $v$  tratamentos;  $r$  é o número de repetição e  $E'/(r-1) (mn+m-1)$  é o quadrado médio residual.

Então, tem-se:  $N = mn+m$  tratamentos e  $N' = (r-1) (mn+m-1)$  graus de liberdade para o resíduo; o valor  $q$  pode, então, ser obtido dando entrada na Tabela 10 de Pimentel Gomes (1978) com  $N$  e  $N'$  número de tratamentos e graus de liberdade do resíduo, respectivamente, com taxa experimental de erro  $\alpha$ .

Então, todo contraste entre duas médias do tipo  $\hat{Y} = \hat{m}_1 - \hat{m}_\mu$ , cuja estimativa exceder o valor  $\Delta$ , será significativo ao nível  $\alpha$  de significância. No caso de serem diferentes os números de repetições, o Teste de Tukey pode ainda ser usado, mas terá valor apenas aproximado.

Tem-se então:

$$\Delta = q \sqrt{(1/2 \hat{V} (\hat{Y}))}$$

Portanto, na comparação de duas médias com diferentes números de repetições, emprega-se este cálculo:

$$\hat{V} (\hat{Y}) = \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) E'/(r-1) (mn+m-1)$$

b) Teste de Duncan. Permite uma maior discriminação dos efeitos de tratamentos, indicando resultados significativos em casos em que o Teste de Tukey não permite obter significância estatística (Pimentel Gomes 1978).

Tal como o Teste de Tukey, o de Duncan, exige, para ser exato, que todos os tratamentos tenham o mesmo número de repetições.

Para sua obtenção calcula-se uma amplitude total mínima significativa (Shortest significant range) pelo contraste entre a maior e menor das médias.

$$\text{Logo: } D = Z \cdot \sqrt{\frac{E'/(r-1) (mn+m-1)}{r}}$$

onde: Z pode ser obtido das Tabelas 12 e 13 de Pimentel Gomes (1978), entrando com número de médias abrangidas pelo contraste em estudo e número de graus de liberdade do resíduo.

A seguir, são obtidos os diferentes valores para D, de acordo com o número de médias a comparar, pondo-as em ordem decrescente de grandeza e classificando-as em seguida.

Para cada valor de D calculado, D varia de acordo com Z, conforme a ordem das médias a comparar e o nível de significância desejado e este, comumente, é utilizado como sendo 1% ou 5%. Logo, obtêm-se  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_{mn+m}$ , que servirá para comparar os diferentes tratamentos.

Admitindo-se, como exemplo, que se pretenda comparar a primeira média (média maior) classificada, com a terceira média, tem-se um contraste que abrange 3 médias. Se  $\zeta = \hat{m}_1 - \hat{m}_3$  for menor que  $D_3$ , então tem-se um contraste em estudo não significativo, ao nível desejado.

Nos casos em que ocorrem números diferentes de repetições nos tratamentos, procede-se de maneira semelhante ao Teste de Tukey, tomando:

$$D = Z \sqrt{(1/2) \hat{v}(\hat{Y})}$$

onde: Z e  $\hat{v}(\hat{Y})$  são como foram definidos anteriormente.

## CONSORCIAÇÃO DE DUAS CULTURAS CONSIDERADAS DE IGUAL IMPORTÂNCIA

### Introdução

Considera-se o caso em que duas culturas em consórcio são de igual importância para o agricultor, que não tem preferência especial sobre uma ou outra, mas sobre o retorno econômico que pode advir dos benefícios do consórcio, tais como: redução dos riscos de mercado ou satisfação de diferentes dietas (Mead & Willey 1980). Neste caso será conveniente avaliar cada cultura em separado e juntas, procurando detectar quais os efeitos de cada uma sobre as respostas da outra (Federer 1982).

Os dados têm as mesmas características descritas no capítulo anterior, a saber:  $C_1 = m$  linhagens, variedades ou cultivares de uma cultura A e  $C_2 = n$  linhagens, variedades ou cultivares de uma cultura B e  $C_1 C_2 = mn$  combinações das linhagens, variedades ou cultivares das culturas A e B envolvidas no consórcio.

Como pressuposições básicas para este estudo, tem-se:

- a) as densidades das culturas envolvidas no consórcio são constantes e iguais às do monocultivo.
- b) os rendimentos das culturas são observados e analisados separadamente (duas respostas), utilizando o mesmo modelo para cada uma delas. Este tipo de análise constitui uma maneira simples de observar os diferentes sistemas de cultivo, dando informações em separado de cada resposta das culturas analisadas (Federer 1982). É válido e aplicável quando uma das culturas não é afetada pelo consórcio. Caso contrário, será preferível analisar os rendimentos combinados (Mead & Stern 1979).

### Modelo

O modelo apresentado objetiva controlar a heterogeneidade de solo em uma única direção, mas, não obstante esse fato, pode-se utilizar alguns dos delineamentos já mencionados.

O modelo linear para variável observada de uma cultura principal A, com  $C_1 = m$  linhagens, pode ser representado por:

$$W_{hij} = \mu_a + \beta_{ah} + \tau_{ai} + \gamma_{aj} + \tau\gamma_{aij} + \epsilon_{ahij},$$

ou ,

$$Z_{hij} = \mu_b + \beta_{bh} + \tau_{bi} + \gamma_{bj} + \tau\gamma_{bij} + \epsilon_{bhij};$$

quando se considera a variável observada de uma cultura principal B com  $C_1 = n$  linhagens.

As letras a e b no modelo denotam a cultura A e B, respectivamente;

$W_{hij}$  é a variável observada para i-ésima linhagem ou variedade de uma cultura A, no j-ésimo sistema de cultivo, no h-ésimo bloco;

$Z_{hij}$  é a variável observada para i-ésima linhagem ou variedade de uma cultura B, no j-ésimo sistema de cultivo, no h-ésimo bloco;

$\beta_{ah}$  ou  $\beta_{bh}$  é o efeito do h-ésimo bloco,  $h = 1, 2, \dots, r$ , para as culturas A e B, respectivamente;

$\mu_{ah}$  ou  $\mu_{bh}$  é o efeito da média geral, comum a todas as observações para as culturas A e B, respectivamente;

$\tau_{ai}$  ou  $\tau_{bi}$  é o efeito da i-ésima linhagem ou variedade de uma cultura, sendo  $i = 1, 2, \dots, m$  para A ou  $i = 1, 2, \dots, n$  para B;

$\gamma_{aj}$  ou  $\gamma_{bj}$  é o efeito do j-ésimo sistema de cultivo, com  $j = 0, 1, 2, \dots, n$  para A, e  $j = 0, 1, 2, \dots, m$  para B, respectivamente, onde 0 (zero) representa o sistema de monocultivo e  $j = 1, 2, \dots, n$  ou  $j = 1, 2, \dots, m$  representam as  $C_2 = n$  linhagens da cultura B ou  $C_2 = m$  linhagens da cultura A.

$\tau\gamma_{aij}$  ou  $\tau\gamma_{bij}$  é o efeito da interação da i-ésima linhagem, com o j-ésimo sistema de cultivo para as culturas A e B, respectivamente;

$\epsilon_{ahij}$  ou  $\epsilon_{bhij}$  é o erro associado à observação  $W_{hij}$ , ou  $Z_{hij}$  respectivamente, casualmente independente e normalmente distribuído com média zero e variância comum  $\sigma_{a\epsilon}^2$  ou  $\sigma_{b\epsilon}^2$  para culturas A e B, respectivamente.

## Soma de quadrados

A obtenção da soma de quadrados pode ser feita de maneira usual, para as culturas A e B, com ligeiras modificações.

## Testes estatísticos

Nesse caso, é preciso considerar os testes para as duas culturas em separado. Considerando o modelo fixo (tipo I), os testes F para todas as causas de variação são feitos com QMRes.

## Regras de decisão

Os sistemas de cultivos consorciados são comparados com os de monocultivos, tendo em vista as respostas obtidas para cada cultura componente, no caso designadas por A e B. Para cada uma dessas respostas aplica-se uma análise univariada, conforme o modelo anteriormente proposto.

Se os tratamentos possuem uma estrutura fatorial definida, como foi o caso apresentado neste capítulo, desdobram-se os efeitos de tratamentos dentro de componentes que comparem os sistemas de monocultivos com o sistema de cultivos consorciados. A seguir, comparam-se os tratamentos dentro de monocultivo e dentro de cultivo consorciado (Mead & Stern 1979, Federer 1982).

Salientam estes autores que as análises dos rendimentos das culturas componentes, separadamente, permitem obter apenas uma resposta parcial na interpretação dos resultados e da avaliação dos sistemas de cultivo. Isso porque o objetivo principal desses sistemas é a maximização da produção total e avaliação do sistema como um todo.

Para contornar este problema, a análise é aplicada sobre os rendimentos combinados. O interesse principal dos pesquisadores centraliza-se na maximização do total de proteínas, calorias, lucro, utilização da terra, etc. Para que seja possível tal estudo, se faz necessário converter a produção das culturas componentes em um único valor para cada parcela, utilizando algumas funções das variáveis observadas. Quando os custos dos insumos utilizados, tais como sementes, adubos, calcários, pesticidas e outros, são disponíveis, pode-se analisar o lucro obtido, comparando os diferentes tratamentos ou avaliar

os sistemas de cultivo através do uso da terra. Emprega-se, então, o índice Uso Eficiente da Terra (LER), como foi definido anteriormente.

Pode-se também obter os valores combinados das culturas componentes, através dos seus valores monetários por ocasião da colheita. Nesse caso, faz-se um estudo sobre as relações de preço (Federer 1982). Entretanto, nem sempre será necessário calcular o rendimento combinado, principalmente quando uma das culturas não é afetada pelo consórcio (Mead & Stern 1979).

Em contrapartida, acredita-se que na presente situação as culturas A e B devem apresentar, nos diferentes sistemas de cultivos consorciados, um rendimento igual ou superior ao esperado do monocultivo. Ou, se o importante for o rendimento combinado, apresentar-se-á como melhor sistema de cultivo aquele que oferecer melhores vantagens. Nesta situação, o cultivo consorciado oferece vantagens, se as duas culturas consorciadas produzem maior rendimento que quando cultivadas separadamente. A avaliação, neste caso, deve envolver a comparação entre o rendimento combinado da cultura intercalar com o rendimento de algumas combinações de culturas, isto é, o total de cada cultura solteira.

Uma outra situação bastante simples e importante se dá quando as culturas componentes são igualmente aceitáveis e não há nenhuma obrigação que determine que ambas têm que ser cultivadas. Assim, a vantagem do cultivo consorciado pode ser avaliada pelo rendimento da cultura intercalar, isto é, o total de ambas culturas, quando este excede o mais alto rendimento das culturas em monocultivo.

Este tipo de avaliação tem sido feito com combinações de capins por Donald (1963), podendo também ser aplicado para culturas componentes similares, como diferentes cultivares de uma mesma cultura ou cereais similares, aveia e cevada, por exemplo (Mead & Willey 1980).

#### Comparação entre tratamentos

Os procedimentos de comparação de médias são executados para cada cultura de maneira usual, utilizando alguns dos testes, como o de Tukey, Duncan e outros, ou estabelecendo os contrastes de interesse. Decompõem-se as somas de quadrados de tratamentos em componentes que permitam a avaliação dos diferentes sistemas de cultivo.

## CONCLUSÕES

- 1°) Na consorciação de uma cultura principal, associada a uma cultura suplementar, o método de análise univariada pode atender satisfatoriamente e ajudar na interpretação dos resultados.
- 2°) No caso de ambas as culturas serem consideradas como principais, é necessário que as respostas de cada cultura sejam avaliadas separadamente, verificando, em cada situação, quais os prejuízos ou vantagens de rendimentos, quando em consórcio. Além dessas análises, é possível o uso de outras técnicas como a análise dos rendimentos combinados ou a conversão da produção das culturas componentes em um único valor para cada parcela.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHETTY, C.K.R. & BHASKARA RAO, U.M. Experimental designs for intercropping systems and analysis of data. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON INTERCROPPING, Ryderabad, India. Proceedings... Hyderabad, ICRISAT, 1979. p.277-81.
- DONALD, C.M. Competition among crop and pasture plants. Adv.Agron., 15:1-118, 1963.
- FEDERER, W.T. Curso sobre delineamento e análise estatística de experimentos de consorciação de culturas. Brasília, EMBRAPA-DMQ, 1982. 189p.
- GARCIA, A. Arranjos de fileiras de plantas em culturas associadas de quiabo e repolho e de quiabo e pimentão. Viçosa, UFV, 1979. 98p. Tese-MS.
- GOMES, A.C. Métodos de análise e interpretação de ensaios com culturas consorciadas, Piracicaba, ESALQ, 1983. 120p. Tese-MS.
- GONÇALVES, S.R. Conсорciação de culturas: técnicas de análise e estudo da distribuição do LER. Brasília, Unb, 1981. 218p. Tese-MS.
- INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS. Annual report 1978-79. Hyderabad, 1979.
- MEAD, R. & STERN, R.D. Statistical considerations in experiments to intercropping. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON INTERCROPPING. Hyderabad, India. Proceedings... Hyderabad, ICRISAT, 1979. p.263-76.

MEAD, R. & WILLEY, R.W. O concept of a land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. Expl.Agric., 16:217-28, 1980.

PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 8.ed. Piracicaba, Nobel, 1978. 430p.

WILLEY, R.W. Intercropping, its importance and research needs. Part 2. Agronomy and Research Approaches. Field Crops Abstr., 32:73-85, 1979.



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA  
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC  
Planaltina, DF