



# A importância do erro experimental

Cristiano Nunes Nesi<sup>1</sup> e Stéfani de Bettio<sup>2</sup>

**Resumo** – O erro experimental resulta dos efeitos de fatores não controlados que causam variação e ocorrem de forma aleatória entre as unidades que receberam os tratamentos, não pode ser conhecido individualmente e tem interferência nos testes de hipóteses e nos procedimentos para comparações de médias. O objetivo dessa revisão é discutir a importância do erro experimental no teste F e na diferença mínima significativa (DMS) utilizada nos procedimentos de comparações múltiplas de médias, exemplificando com um ensaio de competição de cultivares de feijoeiro. A DMS se eleva quando há aumento no quadrado médio do resíduo. Para o exemplo, quando o coeficiente de variação aumenta de 5% para 20%, a DMS aumenta em quatro vezes nos testes de Scheffé e Tukey e cinco para Dunnett e Duncan. Para um coeficiente de variação de 20%, a DMS é mais de 50% da média das cultivares para os testes de Scheffé e Tukey. Observa-se uma DMS entre dois tratamentos maior que a média do experimento com um coeficiente de variação de 35% utilizando-se o teste de Scheffé.

**Termos para indexação:** variação ambiental, diferença mínima significativa.

## The importance of the experimental error

**Abstract** – The statistical analysis is used to test hypotheses due to the presence of the effects of not controlled factors that cause variation, called experimental error. These effects are randomized among the units that received treatments, they cannot be known individually and they have direct interference in the tests of hypotheses and in the procedures for comparisons of means. The objective of this review is to discuss the importance of the experimental error in F test and least significant difference (LSD) used in the procedures of multiple comparisons of means, using as example a competition assay of common beans cultivars. LSD increases with the increase of the mean square residues. When the coefficient of variation increases from 5% to 20%, LSD increases four times in the tests of Scheffé and Tukey and five times for Dunnett and Duncan tests. For a coefficient of variation of 20%, LSD is greater than 50% of the mean of cultivars for Scheffé and Tukey tests. With a coefficient of variation of 35% the LSD between two treatments is higher than the mean experiment when the Scheffé test is used.

**Index terms:** environmental variation, least significant difference.

## Introdução

Na experimentação agrícola, utiliza-se a análise estatística devido à presença, em todas as observações, de efeitos de fatores não controlados que causam variação, denominados de erro experimental. Esses efeitos ocorrem de forma aleatória entre as unidades que receberam os tratamentos, não podem ser conhecidos individualmente e tendem a mascarar o efeito do tratamento em estudo, pois têm interferência nos

testes de hipóteses e nos procedimentos para comparações múltiplas de médias (Steel & Torrie, 1960; Banzatto & Kronka, 1995).

Cochran & Cox (1978) distinguem duas fontes principais que contribuem para formar o erro experimental. A primeira é a variabilidade inerente às unidades experimentais, produzindo resultados diferentes, embora tenham sido submetidas a um mesmo tratamento. A segunda ocorre na condução do experimento devido à inexistência de uniformidade da

técnica experimental. Entre os principais fatores que contribuem para aumentar o erro experimental, Federer (1977), Lopes et al. (1994) e Banzatto & Kronka (1995) citam a não-utilização dos princípios básicos da experimentação (repetição, casualização e controle local), a heterogeneidade das unidades experimentais e do material experimental, as competições entre as parcelas e dentro delas, a realização desuniforme dos tratamentos culturais e a ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas. Em

Aceito para publicação em 16/8/05.

<sup>1</sup>Eng. agr., M.Sc., Epagri/Cepaf, C.P. 791, 89801-970 Chapecó, SC, fone: (49) 3361-0600, e-mail: cristiano@epagri.rct-sc.br.

<sup>2</sup>Acadêmica do curso de Zootecnia, Udesc/Centro Educacional do Oeste – CEO –, Rua Benjamin Constant, 164-D, 89806-070 Chapecó, SC, e-mail: sdebettio@yahoo.com.br.

muitos experimentos, os resultados são tão influenciados pelo erro experimental que somente diferenças notáveis entre tratamentos podem ser detectadas, e ainda estas podem estar sujeitas a uma incerteza considerável (Cochran & Cox, 1978). A qualidade de um experimento é avaliada pela magnitude do erro experimental e pelo atendimento das pressuposições do modelo matemático, ou seja, aditividade do modelo, erros experimentais aleatórios, independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância comum (Stork et al., 2000).

Segundo Banzatto & Kronka (1995), o quadrado médio de tratamentos é um estimador da variância entre os tratamentos e o quadrado médio do resíduo é um estimador da variância comum dentro de cada um dos tratamentos e, portanto, estima o erro experimental. A aplicação destas suposições resulta em maior precisão experimental, e quanto menor for o quadrado médio do resíduo, menor será a diferença mínima significativa utilizada nos testes de comparações de médias duas a duas. Na experimentação, de modo geral, ensaios com baixa precisão podem levar a conclusões incorretas, pois ocorre um aumento na probabilidade de ocorrência do erro tipo II, ou seja, os efeitos dos tratamentos não diferem entre si, apesar de existir diferença entre eles. O erro tipo I (indica que os efeitos dos tratamentos diferem quando não existe diferença) não é afetado, pois pode ser controlado pelos níveis de significância (Judice et al., 2002). O procedimento de inferência para comparar os efeitos dos tratamentos consiste, basicamente, em comparar a variação entre as unidades experimentais com diferentes tratamentos com a variação entre unidades experimentais com um mesmo tratamento, ou seja, com a variação atribuível ao erro experimental. Desejando-se testar a hipótese estatística  $H_0: t_i = 0; \forall_i$ , por exemplo, com tratamentos ( $t_i$ ) de efeito fixo, calcula-se a estatística denominada de teste F dada por:

$$F = \frac{\text{Quadrado Médio de Tratamentos}}{\text{Quadrado Médio do Resíduo}}$$

De acordo com Lúcio & Stork (1999), o valor de F calculado deve ser maior que F tabelado para a significância adotada, para se rejeitar  $H_0$  e concluir que pelo menos um contraste entre médias de tratamentos é diferente de zero. O valor de F calculado determina quantas vezes a estimativa da variância do “erro mais o efeito dos tratamentos” é maior que a estimativa da variância do erro, e quanto mais F se distancia de um, mais se observa o efeito de tratamentos. Em certos casos, mesmo havendo diferenças entre os efeitos dos tratamentos, estas poderão não ser detectadas se a variância do erro for grande. Para uma dada diferença entre tratamentos, mesmo sendo pequena, o valor de F estimado dependerá do valor do erro experimental. Assim, a rejeição de  $H_0$  depende, principalmente, da magnitude do erro experimental. Quando pelo teste F for concluído que pelo menos um contraste de médias dos tratamentos difere de zero, precisa-se de um critério para definir quais tratamentos diferem entre si. Para tanto, utiliza-se um método que forneça a diferença mínima significativa (DMS) entre duas médias. Essa diferença será o instrumento de medida, e toda vez que o valor absoluto da diferença entre duas médias for maior ou igual à DMS, considera-se que as médias diferem significativamente (Banzatto & Kronka, 1995). Há diversos procedimentos disponíveis na literatura para as comparações de médias. Entre eles destacam-se o teste de Scheffé, de Tukey, de Dunnett e de Duncan, descritos a seguir considerando a diferença mínima significativa (DMS), o quadrado médio do resíduo (QMRes) e o mesmo número de repetições (r) para todos os tratamentos:

a)  $DMS_{(Scheffé)} = \sqrt{(t-1) \cdot F \cdot 2 \cdot QMRes / r}$   
( $t$  é o número de tratamentos,  $F$  é o valor tabelado em função dos graus de liberdade de tratamentos e dos graus de liberdade do resíduo); proposto por Scheffé (1953), é o mais conservador de todos os testes, pois sugere apenas um valor de diferença mínima significativa, mesmo existindo várias médias. Utiliza-se nos casos em que os contrastes de médias são estabe-

lecidos após a realização do experimento ou sugeridos pelos dados.

b)  $DMS_{(Tukey)} = q \cdot \sqrt{QMRes / r}$   
( $q$  é o valor tabelado em função do número de tratamentos e dos graus de liberdade do resíduo); sugerido por Tukey (1951), é um teste menos conservador que o de Scheffé, apropriado para comparar todos os pares de médias entre si.

c)  $DMS_{(Dunnett)} = D \cdot \sqrt{2 \cdot QMRes / r}$   
( $D$  é o valor tabelado em função dos graus de liberdade de tratamentos e dos graus de liberdade do resíduo); sugerido por Dunnett (1955), é um teste para comparações em que apenas um tratamento serve de referência para os demais, ou seja, comparam-se todos os tratamentos com apenas um.

d)  $DMS_{(Duncan)} = q_i \cdot \sqrt{QMRes / r}$   
( $q_i$  é o valor tabelado em função do número de médias abrangidas pelo contraste e dos graus de liberdade do resíduo); proposto por Duncan (1955), esse teste utiliza amplitudes múltiplas, pois existem várias diferenças mínimas significativas, comparadas de acordo com o posicionamento das médias ordenadas.

O objetivo deste trabalho é discutir e exemplificar a importância do erro experimental no teste F e na diferença mínima significativa utilizada nos procedimentos de comparações múltiplas de médias.

## Material e métodos

Foi considerado um experimento de competição de 20 cultivares de feijoeiro de cor preta, conduzido em Campos Novos, SC (safra 2003/04), no delineamento experimental em blocos completos ao acaso com quatro repetições. A produtividade média das cultivares e o quadrado médio do resíduo do experimento foram 2.253,35kg/ha e 109.279,85 respectivamente, o que resulta em um coeficiente de variação experimental de 14,67%. A partir dessas informações foram simulados diferentes quadrados médios do resíduo e calculados os coeficientes de variação experimental e as diferenças mínimas significativas para os procedimentos de comparações de médias de Scheffé, de Tukey, de Dunnett e de Duncan. ▶

## Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentadas as diferenças mínimas significativas (DMS) simuladas para diferentes procedimentos de comparação de médias.

Todos os procedimentos levam em consideração o quadrado médio do resíduo, e assim, quanto maior o erro experimental, maior será a diferença mínima significativa necessária para evidenciar a diferença entre dois tratamentos. Para um coeficiente de variação de 20%, que é o máximo permitido em ensaios de Valor de Cultivo e Uso (Brasil, 2001), a diferença mínima significativa é mais de 50% da média das cultivares para os testes de Scheffé e Tukey. Quando o coeficiente de variação do experimento aumenta de 5% para 20%, a diferença mínima significativa aumenta em quatro vezes para os procedimentos de Scheffé e Tukey e cinco vezes para Dunnett e Duncan. Para um coeficiente de variação de 35%, utilizando-se o teste de Scheffé, a diferença mínima significativa entre dois tratamentos foi maior que a média do experimento. Em ensaios de competição de cultivares deve existir a preo-

cupação em manter as condições experimentais uniformes para que se obtenham estimativas precisas da média e de outros parâmetros, além de garantir que o desempenho superior de uma cultivar reflita o seu potencial genético (Ramalho et al., 2000).

Para minimizar o erro experimental e, com isso, reduzir as diferenças mínimas significativas, alguns fatores devem ser considerados, de acordo com Cochran & Cox (1978), Costa et al. (2002) e Martin et al. (2005): o material experimental (sementes, mudas, solo, etc.) deve ser uniforme e cuidadosamente selecionado; adequar o tamanho das parcelas para que não sejam pequenas demais, deixando de ser representativas da cultura a elas associadas, nem grandes demais em detrimento do controle local; empregar bordadura e considerar o número de repetições de acordo com o erro experimental desejado; usar técnicas de controle local como, por exemplo, blocos completos, incompletos, faixas, etc., para que as parcelas sejam agrupadas em condições ambientais homogêneas; deve-se dar uniformidade na realização dos tratamentos culturais como

irrigação, profundidade de semeadura, regulagem de pulverizadores; manter os ensaios livres de plantas daninhas, pragas e doenças, pois esses fatores ocorrem nas unidades experimentais de forma aleatória; deve-se manter o solo em fertilidade adequada para a cultura em pauta – em baixa fertilidade, pequenas variações na quantidade de recursos essenciais para as plantas proporcionam acentuado efeito no rendimento; utilizar procedimentos e instrumentos que proporcionem mensuração com precisão adequada (calibragem de balanças, paquímetros, etc.); incorporar no modelo estatístico variáveis que expressem fontes de variação relevantes do material experimental e sua conseqüente consideração nos procedimentos de análises estatísticas, como, por exemplo, número de plantas nas parcelas e pequenas manchas de fertilidade do solo.

## Literatura citada

- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. *Experimentação agrícola*. 3.ed. Jaboticabal: Funep, 1995. 245p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Anexo IV. *Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso do feijão* (*Phaseolus vulgaris*), para a inscrição no registro nacional de cultivares. RNC. 2001.
- COCHRAN, W.G.; COX, G.M. *Diseños experimentales*. México: Trillas, 1978. 661p.
- COSTA, N.H.A.D.; SERAPHIN, J.C.; ZIMMERMANN, F.J.P. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz em terras altas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.3, p.243-249, mar. 2002.
- DUNCAN, D.B. Multiple range and multiple F-tests. *Biometrics*, v.11, p.1-2, 1955.
- DUNNETT, C.W. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with a control. *Journal of the American Statistical Association*, v.50, p.1.096-1.121, 1955.
- FEDERER, W.T. *Experimental design: theory and application*. 3.ed. Nova York: Oxford & IBH, 1977. 593p.

Tabela 1. Diferença mínima significativa para a produtividade de grãos em quatro procedimentos de comparações múltiplas de médias a 5% de probabilidade de erro, em função da estimativa da variância residual num experimento de competição de cultivares de feijoeiro. Campos Novos, SC, safra 2003/04

QM Resíduo <sup>(1)</sup>	C.V. <sup>(2)</sup>	Diferença mínima significativa			
		Scheffé	Tukey	Dunnett	Duncan <sup>(3)</sup>
	%	kg/ha.....			
12.693,99	5	326,87	295,75	238,58	195,48
50.775,95	10	653,74	591,50	477,17	390,96
114.245,89	15	980,61	887,26	715,75	586,43
203.103,81	20	1.307,48	1.183,01	954,34	781,91
317.349,70	25	1.634,35	1.478,76	1.192,92	977,39
456.983,57	30	1.961,22	1.774,51	1.431,51	1.172,87
622.005,42	35	2.288,08	2.070,27	1.670,09	1.368,35

<sup>(1)</sup>Quadrado médio do resíduo.

<sup>(2)</sup>Coefficiente de variação experimental – representa o desvio padrão residual, expresso como porcentagem da média geral do experimento.

<sup>(3)</sup>Para esse teste, a diferença mínima significativa foi calculada comparando-se a maior e a menor média do experimento.

8. JUDICE, M.G.; MUNIZ, J.A.; AQUINO, L.H.; BEARZOTTI, E. Avaliação da precisão experimental em ensaios com bovinos de corte. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v.26, n.5, p.1.035-1.040, set./out. 2002.
9. LOPES, S.J. ; STORK, L.; GARCIA, D. C. A precisão de ensaios de cultivares de milho sob diferentes adubações. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.24, n.3, p.483-487, 1994.
10. LÚCIO, A.D.C.; STORK, L. O manejo das culturas interfere no erro experimental. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.5, n.2, p.311-316, 1999.
11. MARTIN, T.N.; STORK, L.; LÚCIO, A.D.C.; CARVALHO, M.P.; SANTOS, P.M. Bases genéticas de milho e alterações no plano experimental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.1, p.35-40, jan. 2005.
12. RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. *Experimentação em genética e melhoramento de plantas*. Lavras: Ufla, 2000. 303p.
13. SCHEFFÉ, H. A method for judging all contrasts in the analysis of variance. *Biometrika*, v.40, p.87-104, 1953.
14. STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics*. New York: Mc Graw Hill Book, 1960. 481p.
15. STORK, L.; LOPES, S.J.; MARQUES, D.G.; TISSOT, C.A.; DAROS, C.A. Análise de covariância para melhoria da capacidade de discriminação em ensaios de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.7, p.1.311-1.316, jul. 2000.
16. TUKEY, J.W. Quick and dirty methods in statistics, Part II: simple analysis for standard designs. In: ANNUAL CONVENTION OF THE AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY CONTROL, 5. *Proceedings...* New York: American Society for Quality Control, 1951. p.189-197.



Antes a produtividade de maçã em SC era de 1,2t/ha.  
Hoje a produtividade média passa de 30t/ha.

**Aqui tem a contribuição da Extensão Rural.**