

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRO REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**CONSEQUÊNCIAS DO DESBALANCEAMENTO DE DADOS NO
DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO,
CONSIDERANDO O MODELO FIXO**

Bolsista: Elias Lourenço Vasconcelos Neto, CNPq

ITACOATIARA

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRO REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL

PIB-E/0027/2008

**CONSEQUÊNCIAS DO DESBALANCEAMENTO DE DADOS NO
DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO,
CONSIDERANDO O MODELO FIXO**

Bolsista: Elias Lourenço Vasconcelos Neto, CNPq

Orientadora: Prof. Dr. Fábio Medeiros Ferreira

ITACOATIARA

2009

Todos os direitos deste relatório são reservados à Universidade Federal do Amazonas e aos seus autores. Parte deste relatório somente poderá ser reproduzida para fins acadêmicos e, ou, científicos.

Esta pesquisa, financiada pelo Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq, através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal do Amazonas.

RESUMO

Um dos inconvenientes da execução de experimentos é a perda de unidades experimentais (parcelas), o que ocasiona o desbalanceamento estatístico. Não se conhecem estudos que investiguem a influência da quantidade de parcelas perdidas nas conclusões obtidas pela análise de variância e pelos testes de comparação entre tratamentos. Objetivou-se averiguar se a perda de parcelas altera as pressuposições necessárias à análise de variância e/ou modifica as conclusões sobre a comparação entre tratamentos em relação ao experimento balanceado. Para isto, foram simuladas seis populações (tratamentos), seguindo distribuição normal, com médias paramétricas de 10, 12, 20, 31, 32 e 33 para uma variável hipotética. Considerou-se a homocedasticidade entre as variâncias populacionais, com valores iguais a 1 e 100. Os efeitos de tratamento foram considerados fixos e cada tratamento foi representado por 5 repetições, totalizando 30 parcelas para o experimento balanceado. Foram definidas perdas de 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60% em relação ao experimento balanceado, mantendo-se no mínimo duas parcelas por tratamento. Foram realizadas 10.000 simulações aleatórias para cada situação de desbalanceamento, totalizando 140.000 experimentos. Foram computadas, para cada simulação, análises de variância, teste de normalidade (Shapiro-Wilk), homocedasticidade (Barlett), estimativas das médias e variâncias dos tratamentos, médias e variâncias do experimento, coeficiente de variação, teste de Tukey, além das probabilidades associadas aos testes realizados. Foram calculadas, ainda, a média e algumas medidas de variabilidade destas estatísticas consideradas. Todo o processo de simulação e análise de dados foi realizado pelo programa R. De modo geral, o desbalanceamento estatístico não trouxe prejuízos maiores à inferência dos experimentos, considerando-se variâncias populacionais iguais a 1 e 100, mesmo para 60% de desbalanceamento. Entretanto, à medida que o número de parcelas foi diminuído, aumentou-se a chance de que valores que não traduzissem as reais características das distribuições das populações (tratamentos) fossem encontrados para as estatísticas consideradas – aspecto evidente nas variações entre as simulações de cada cenário de desbalanceamento. Portanto, na comparação de populações cuja variabilidade é considerada alta em relação a uma determinada variável, recomenda-se maior cuidado com o planejamento experimental, a fim de se evitar, quando possível, a perda de parcelas.

ABSTRACT

The lost of experimental units (plots) represents one of the experiments execution inconveniences, which causes the statistical unbalancing. There aren't studies about the lost of plots' influence in the conclusions of the analysis of variance and tests of comparison between treatments. The goal of this study was to check whether the lost of plots changes the analysis of variance and tests of comparison or not. The methodology consisted on the simulation of six populations (treatments), in normal distribution and parametric averages 10, 12, 20, 31 and 32 for a hypothetical variable. It was considered the homocedasticity between the population variances, using the values 1 and 100. Treatment effects were considered fixed and each treatment was represented by 5 repetitions, resulting in 30 plots for the balanced experiment. The lost of plots was defined as 0, 10, 20, 30, 40, 50 and 60% for the balanced experiment, keeping at least two plots for each treatment. For each situation of unbalancing, 10.000 random simulations have been made, totalizing 140.000 experiments. For each simulation were computed the analysis of variance, the normality test (Shapiro-Wilk), the homocedasticity (Barlett), the averages and variances of the treatments estimate, the averages and variances of the experiment, the variation coefficient, the Tukey's test and the probabilities related to the tests. Further the average and some variability measures of the considered statistics were also calculated. Simulation process and data analysis were processed by the R program. In general, the statistic unbalancing did not interfere in the experiment results, considering population variances 1 and 100, even at 60% of unbalancing. In the other hand, as far as the number of plots diminished, it increased the chance of appearing a non-real data of the population distribution – noticed on the simulations variances of the unbalancing. Therefore, it is recommended great care with the experimental planning to avoid, as long as possible, the lost of plots when a variable variability is high, when it comes to population comparison.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de seis populações, referentes a uma variável hipotética normalmente distribuída, com variâncias iguais a112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos resultados para o experimento balanceado, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.....	16
Tabela 2 - Resumo dos resultados para 10% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.....	16
Tabela 3 - Resumo dos resultados para 20% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.....	17
Tabela 4 - Resumo dos resultados para 30% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.....	17
Tabela 5 - Resumo dos resultados para 40% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.....	17
Tabela 6 - Resumo dos resultados para 50% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.....	18
Tabela 7 - Resumo dos resultados para 60% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.....	18
Tabela 8 - Resumo dos resultados para o experimento balanceado, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.....	22
Tabela 9 - Resumo dos resultados para 10% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.....	23
Tabela 10 - Resumo dos resultados para 20% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.....	23
Tabela 11 - Resumo dos resultados para 30% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.....	23

Tabela 12- Resumo dos resultados para 40% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2	24
Tabela 13 - Resumo dos resultados para 50% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.....	24
Tabela 14 - Resumo dos resultados para 60% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2	24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3. METODOLOGIA	13
3.1. Simulação das populações estudadas	13
3.2. Cenários de desbalanceamento	14
3.3. Análises dos dados simulados	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
4.1. Grande Cenário 1: Variâncias Populacionais iguais a 1.....	16
4.2. Grande Cenário 2: Variâncias Populacionais iguais a 100.....	22
5. CONCLUSÕES.....	28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1. INTRODUÇÃO

O estado de desbalanceamento estatístico acontece em decorrência da ausência ou perda de uma ou mais unidades experimentais (parcelas) durante a execução do experimento, acarretando em número desigual de repetições para os tratamentos avaliados. Este fato acontece com frequência em experimentos agrônômicos, cujas entidades são plantas ou animais, dispostos ao ar livre. Além disso, podem estar envolvidos muitos tratamentos e, conseqüentemente, muitas plantas ou animais são requeridos, o que pode acarretar ausência de informações de algumas parcelas.

Embora estas entidades sejam manipuladas com a preocupação de se manter as condições ambientais bem controladas e homogeneizadas, o que preconiza os princípios básicos da experimentação, eventuais situações resultam na perda de parcelas, a exemplo de ataques de pragas e doenças, competição entre espécies de plantas na área experimental, intempéries, dados não anotados, mal coletados ou existência de valores discrepantes (*outliers*).

Independente do delineamento experimental empregado, a perda de parcelas ocasiona alterações na composição da análise de variância, na estimação das médias e variâncias dos tratamentos e contrastes de médias. As publicações recentes, relacionadas a dados desbalanceados em experimentação, têm dirigido suas atenções à escolha de métodos e realização de testes adequados ao estudo do desbalanceamento para modelos com efeitos fixos, misto ou aleatórios. É consenso que o desbalanceamento gera maior complexidade às análises, do ponto de vista teórico, e pode levar a diferentes resultados em função dos métodos utilizados. Atualmente com os avanços dos aplicativos estatísticos computacionais juntamente com os esforços dos pesquisadores em desenvolver metodologias apropriadas, a análise de experimentos desbalanceados tornou-se facilitada. No entanto, cabe ainda questionar até que ponto o

desbalanceamento de dados ou a perda de parcelas pode alterar a inferência do pesquisador quando comparada a um experimento balanceado. Acredita-se que a perda de dados possa alterar os resultados e inferências quando comparada a um experimento balanceado. É pertinente associar as conseqüências do desbalanceamento estatístico aos procedimentos de análise e estimação, à medida que se aumenta o número de parcelas perdidas.

Para encontrar respostas a estas questões tem-se no processo de simulação de dados a alternativa mais viável. No presente estudo serão simulados dados referentes a experimentos montados sob delineamentos inteiramente casualizados, considerando apenas o modelo estatístico cujo efeito de tratamento é fixo.

Objetiva-se neste trabalho averiguar se a perda de parcelas altera as pressuposições necessárias à análise de variância e modifica as conclusões sobre as comparações entre tratamentos em relação a um experimento balanceado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um experimento é entendido como um trabalho previamente planejado, que segue a determinados princípios básicos e no qual se faz a comparação dos efeitos dos tratamentos. Unidade Experimental (ou parcela) são as entidades ou grupo de entidades (plantas, vasos, animais, máquinas, pessoas etc.) sobre as quais aplicam-se os tratamentos (BARBIN, 2003). A instalação e execução de um ensaio requerem um plano estratégico de distribuição dos tratamentos às unidades experimentais conforme os critérios básicos da experimentação (repetição, casualização e controle da casualização), o que defini assim o delineamento experimental a ser empregado (MACHADO et al. 2005). Como foi citado anteriormente, são três os princípios básicos da experimentação, a saber: repetição, que consiste em se terem várias parcelas com o mesmo tratamento; casualização, consiste em se distribuírem os tratamentos pelas

parcelas através de sorteio; controle da casualização, favorecimento do princípio da casualização, é usado quando a área experimental é heterogênea (BARBIN, 2003).

O delineamento inteiramente casualizado (DIC) é o mais simples que existe. A distribuição dos tratamentos às unidades experimentais é completamente aleatória, cujo número de repetições pode variar de tratamento para tratamento, sem que isto venha a dificultar a análise estatística do experimento. É indicado para condições experimentais homogêneas, à semelhança de laboratórios, casas-de-vegetação, viveiros etc.

O procedimento inicial para a comparação entre tratamentos tem ficado a cargo da análise de variância (ANOVA, do inglês, *Analysis of Variance*). Por filosofia, a análise visa decompor a variação total, relativa a todos os valores observados no experimento, em várias fontes de variação, cujo número depende do modelo estatístico empregado. De acordo com Ribeiro Júnior (2001), para a realização da ANOVA algumas pressuposições básicas devem ser estritamente ou aproximadamente satisfeitas para validar as conclusões obtidas. É necessário que os efeitos do modelo sejam aditivos e os erros experimentais normalmente distribuídos, independentes, com média zero e variância comum ($e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$).

Na ANOVA realiza-se um teste, denominado teste F, cujo propósito é identificar a se existe ou não pelo menos uma diferença entre os tratamentos, sendo este fator de natureza fixa. Se o teste F for significativo para um fator qualitativo e de efeito fixo, procedimentos de comparações múltiplas poderão ser realizados para que o pesquisador saiba quais tratamentos ou grupos de tratamentos apresentam as melhores respostas para a variável avaliada (BANZATTO e KRONKA, 1995).

Fator de efeito fixo é aquele cujas inferências serão dirigidas apenas aos seus níveis e nenhum outro mais. Um modelo é fixo se todos os fatores que o compõe

também são de efeito fixo, desconsiderando o erro experimental (BARBIN, 1993; MCCULLOCH e SEARLE, 2001).

A análise de experimentos com dados desbalanceados tem merecido, nas últimas décadas, atenção especial por parte dos pesquisadores (MARCELINO e IEMMA, 2000). No entanto, muitos trabalhos tem tido o propósito principal de investigar os melhores métodos de análise e de estimação (VALÉRIO FILHO, 1991; PINHO e MISCHAN, 1996; OIKAWA e IEMMA, 1999; MARCELINO e IEMMA, 2000; COIMBRA et al., 2006). Na estatística experimental, principalmente na pesquisa agropecuária, a análise de variância de ensaios com mais de um fator e com número de repetições constantes, caracterizando um delineamento balanceado, é relativamente fácil e amplamente conhecida, porém quando ocorre um número diferente de repetições, caracterizando um delineamento desbalanceado, torna-se mais complexa (MANSO e MORAIS, 2006). Existindo um número desigual de repetições (fatoriais desbalanceados), perde-se a ortogonalidade e os cálculos das somas de quadrados se tornam bem mais complexos (WESCHSLER, 1998). Além disso, se a estimação dos componentes de variância é feita sobre dados desbalanceados, a estimativa obtida pode ser função do método utilizado. Em outras palavras, diferentes métodos de estimação podem levar, sob desbalanceamento, a diferentes estimativas de um mesmo parâmetro (MARCELINO e IEMMA, 2000).

Até o presente momento não se tem conhecimento de investigações que buscam responder sobre a influência da quantidade de parcelas perdidas nas conclusões obtidas pela análise de variância e testes de comparações entre tratamentos, baseados no método de estimação de parcela perdida ou na teoria de modelos lineares.

Muitos estudos direcionados a escolha de modelos e técnicas de análise tem feito uso de simulação de dados, pois desta maneira parâmetros são conhecidos e vários

cenários, à semelhança do fenômeno real, podem ser definidos pelo pesquisador, a exemplo dos trabalhos de estatística experimental realizados por Tomé et al. (2002), Borges e Ferreira (2003), Souza et al. (2006). Com o avanço dos aplicativos computacionais destinados à estatística, a análise de experimentos, em geral, tornou-se facilitada (COSTA, 2003) e juntamente com a simulação de dados, não há mais restrições de estudos desta natureza, uma vez que avaliações experimentais com dados reais podem ser limitadas por questões de ordem prática, temporal e financeira.

3. METODOLOGIA

3.1. Simulação das populações estudadas

Foi simulada uma variável hipotética para seis populações infinitas (tratamentos) seguindo distribuição normal, com valores paramétricos de média iguais a 10, 12, 20, 31, 32 e 33. Considerou-se a homogeneidade das variâncias para as seis populações, assumindo valores paramétricos iguais a 1 e 100. A Figura 1 é um esboço do comportamento das distribuições das populações simuladas com variância igual a 1.

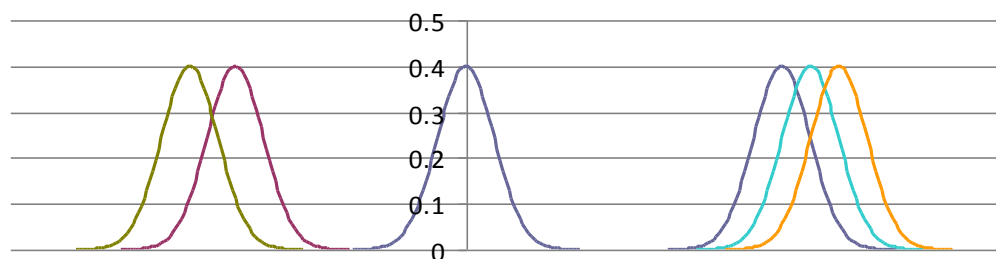


Figura 1. Distribuição de seis populações, referentes a uma variável hipotética, com variâncias iguais a 1.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), cujo modelo estatístico é o seguinte:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$$

em que Y_{ij} refere-se ao valor observado da variável no i -ésimo tratamento ($i = 1, 2, \dots, I$) na j -ésima repetição ($j = 1, 2, \dots, J$); μ é uma constante inerente a todas observações; t_i refere-se ao efeito do i -ésimo tratamento; e_{ij} refere-se ao erro experimental associado à observação Y_{ij} .

Os efeitos de tratamento foram considerados fixos. Dentro de cada população foram amostradas, ao acaso, cinco observações (repetições), totalizando 30 unidades experimentais, para o experimento balanceado.

Tais condições simuladas garantiram o atendimento às pressuposições para a análise de variância: normalidade, homocedasticidade, independência dos erros ($e_{ij} \sim \text{NID}(\mu, \sigma^2)$) e aditividade do modelo estatístico.

3.2. Cenários de desbalanceamento

A partir das 30 unidades experimentais simuladas, nenhuma e perdas de 3, 6, 9, 12, 15 e 18 parcelas foram consideradas, representando assim o experimento balanceado e os desbalanceamentos de 10, 20, 30, 40, 50 e 60%, respectivamente. Definiu-se a restrição de manter pelo menos duas parcelas por tratamento, o que permitiu calcular medidas de variabilidade dos mesmos.

Com os dois valores paramétricos de variâncias simulados, definiu-se dois grande cenários: variâncias populacionais iguais a 1 e 100. Em cada um deles foram consideradas as sete situações de desbalanceamento, dentro das quais foram realizadas 10.000 simulações aleatórias, totalizando 140.000 ($= 2 \times 7 \times 10.000$) diferentes experimentos.

3.3. Análises dos dados simulados

Em cada uma das 140.000 simulações foram computadas as respectivas: *a*) análises de variância (somadas de quadrados, quadrados médios e estatística F calculada (F_c)); *b*) teste de homogeneidade de variâncias (Bartlett); *c*) teste de normalidade (Shapiro-Wilk); *d*) estimativas das médias e variâncias dos tratamentos; *e*) média e variância geral; *f*) coeficiente de variação e *g*) teste para a comparação das médias dos tratamentos (Tukey). Foram computadas as respectivas probabilidades associadas aos testes realizados, com exceção do teste F.

De acordo com as distribuições das populações espera-se que aquelas mais distantes se diferenciem estatisticamente, embora com o aumento das variâncias populacionais esta diferenciação possa ser mais estreita.

As comparações se destinaram entre as situações de desbalanceamento com o experimento balanceado (nenhuma parcela perdida). Foram calculadas a média, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e máximo das estatísticas, probabilidades e medidas utilizadas (*a, b, c, d, e, f, g*) para cada grupo de 10.000 simulações, nos 28 cenários considerados. Ademais, foi contabilizado o percentual, dentre as 10.000 simulações, de valores de probabilidade (*p-value*) inferiores a 5% ($P < 0,05$), associados aos testes de normalidade, homogeneidade e contrastes entre médias no teste de Tukey.

Para a estatística F, considerou-se o percentual de F_c maiores do que os respectivos valores F tabelados (F_{tab}), que variaram de acordo com o número de parcelas perdidas. Entendeu-se que estes percentuais representaram a chance de se cometer o erro tipo I nos cenários estipulados.

Todo o processo de geração das populações, simulação e análise dos dados foi realizado pelo programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2004), disponibilizado

em <http://www.r-project.org/>. Para a compilação dos dados fez-se uso da planilha eletrônica Microsoft Excel 2007.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Grande Cenário 1: Variâncias Populacionais iguais a 1

. Análise de Variância

Na média de cada grupo de 10.000 simulações, as somas de quadrado de tratamento (SQTrat), resíduo (SQRes) e total (SQTo), além do quadrado médio de tratamento (QMTrat), decresceram na medida em que aumentou-se o desbalanceamento. Por serem estas medidas de variabilidade, tal redução ocorreu conforme o esperado. O quadrado médio do resíduo (QMRes), em média, apresentou o valor esperado igual a 1, independente do nível de desbalanceamento. No entanto, com o aumento da perda de observações constatou-se, a partir das medidas de variabilidade (desvio-padrão, máximo – mínimo, coeficiente de variação) maior variação dos valores das SQ e QM.

No caso do teste F, o raciocínio é diferente dos demais testes, pois espera-se diferença entre os tratamentos, sendo esta a hipótese de nulidade. Deste modo, o valor de F calculado (F_c) também decresceu com o incremento da perda de parcelas em relação ao experimento balanceado. O percentual de F_c superiores aos valores de F tabelado (F_{tab}) foi igual a 100%, independente do número de parcelas perdidas. Isto significa que em todas as situações de desbalanceamento o teste F foi significativo, caracterizando pelo menos uma diferença entre contrastes de médias de tratamentos, conforme o esperado. No entanto, observou-se que os valores F_c variaram mais (maiores desvios-padrão, coeficiente de variação e máximo – mínimo) à medida que se aumentou

o desbalanceamento estatístico (Tabelas 1 a 7). O menor valor de F_c (= 43,31) foi obtido com 18 parcelas perdidas, continuando a ser altamente significativo (Tabela 7).

Tabela 1- Resumo dos resultados para o experimento balanceado, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.

Nenhuma parcela perdida	F_c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	592,8	23,00	94,81	49,72	4,31	50,70
Desvio padrão	188,68	0,18	3,57	0,62	28,92	29,02
Mínimo	219,60	22,35	80,86	2,19	0,01	0,07
Máximo	2238,37	23,63	108,27	6,83	99,99	99,99
C.V.(%)	32,00	1,00	4,00	14,00	58,00	57,00
P<0,05 (%)	100,00	-	-	-	5,00	5,00

F_c : F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 2 - Resumo dos resultados para 10% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.

Três parcelas perdidas	F_c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	539,25	22,98	94,58	4,31	50,64	50,91
Desvio padrão	190,51	0,81	5,88	0,68	28,83	28,98
Mínimo	175,81	21,16	72,51	1,81	0,01	0,01
Máximo	2367,55	24,97	115,00	7,24	100,00	100,00
C.V.(%)	35,00	4,00	6,00	16,00	57,00	57,00
P<0,05 (%)	100,00	-	-	-	3,00	3,00

F_c : F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 3 - Resumo dos resultados para 20% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.

Seis parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	486,50	23,00	94,50	4,30	50,20	51,50
Desvio padrão	189,80	1,00	7,20	0,70	28,60	29,20
Mínimo	156,40	20,10	62,00	1,90	0,00	0,00
Máximo	3008,10	26,50	122,00	7,50	100,00	100,00
C.V.(%)	39,00	4,00	8,00	17,00	57,00	57,00
P<0,05 (%)	100,00	-	-	-	3,00	3,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 4 - Resumo dos resultados para 30% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.

Novo parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	435,20	23,02	94,40	4,28	50,48	51,97
Desvio padrão	192,90	1,34	8,81	0,83	28,48	28,93
Mínimo	104,31	18,46	63,91	1,67	0,04	0,11
Máximo	2110,69	27,46	125,64	7,92	99,98	100,00
C.V.(%)	44,00	6,00	9,00	19,00	56,00	56,00
P<0,05 (%)	100,00	-	-	-	4,00	4,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 5 - Resumo dos resultados para 40% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.

12 parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	384,01	23,01	95,10	4,27	50,01	52,91
Desvio padrão	191,11	1,36	8,87	0,92	28,48	29,00
Mínimo	81,64	18,32	68,46	1,62	0,03	0,02
Máximo	2316,13	26,73	125,80	8,60	99,99	100,0
C.V.(%)	50,00	6,00	9,00	21,00	57,00	55,00
P<0,05 (%)	100,00	-	-	-	4,00	3,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 6 - Resumo dos resultados para 50% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.

15 parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	343,24	22,99	96,09	4,25	52,00	55,97
Desvio padrão	215,16	1,45	8,77	1,05	28,15	29,99
Mínimo	64,51	19,73	67,00	1,15	0,01	0,03
Máximo	3186,52	25,76	127,48	8,77	100,00	100,00
C.V.(%)	63,00	6,00	9,00	25,00	54,00	54,00
P<0,05 (%)	100,00	-	-	-	3,00	3,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 7- Resumo dos resultados para 60% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 1.

18 parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	326,55	23,00	99,91	4,18	52,08	65,03
Desvio padrão	321,14	0,28	5,97	1,24	28,01	32,25
Mínimo	43,31	21,93	77,94	0,63	0,05	0,06
Máximo	10837,48	24,05	122,42	10,21	100,00	100,00
C.V.(%)	98,00	1,00	6,00	30,00	54,00	50,00
P<0,05 (%)	100,00	-	-	-	3,00	3,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

. Normalidade e homocedasticidade

A normalidade dos erros, verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, foi atestada quando *p-values* foram superiores a 5%. Como os dados foram simulados assumindo-se distribuições normais para as populações, na média do grupo de 10.000 simulações, a perda de parcelas não descaracterizou a normalidade dos erros (Tabelas 1 a 7). Quanto a variabilidade no grupo de simulações, manteve-se semelhante para os vários cenários de desbalanceamento.

O percentual de *p-values* inferiores a 5% ($P < 0,05$) caracterizaram a probabilidade de se cometer o erro tipo I. Isto quer dizer que nestes experimentos a normalidade foi rejeitada, quando na realidade ela é característica da distribuição dos erros experimentais.

O valor percentual máximo obtido entre os sete cenários de desbalanceamento foi de apenas 0,05 (Tabela 1), o que representa somente 5% de experimentos balanceados simulados, cuja normalidade dos erros foi desconsiderada, sendo, portanto, um valor perfeitamente “aceitável”.

Para a verificação da homocedasticidade (variâncias homogêneas) pelo teste de Bartlett, o panorama foi bastante semelhante ao teste de normalidade (Tabelas 1 a 7). Agora o percentual de *p-values* inferiores a 5% ($P < 0,05$) caracterizaram a probabilidade de se rejeitar a homocedasticidade, quando na verdade ela é característica entre as distribuições dos erros das populações.

. Medidas descritivas

Numa visão geral, a média e a variância geral do experimento não sofreram fortes alterações devido ao desbalanceamento. Esperava-se uma média experimental igual a 23,00 (média das médias dos tratamentos) fato que ocorreu de maneira muito próxima, quando considerada a média das 10.000 simulações referentes aos níveis de desbalanceamento (Tabelas 1 a 7). Até 30% de perda, a amplitude total (valor máximo – valor mínimo) tendeu a crescer, atingindo um valor máximo de aproximadamente 9,00. Após este percentual de perda, a amplitude total tendeu a decrescer.

A variância geral do experimento manteve-se próxima nos vários cenários de perda de parcelas, contudo os valores simulados tenderam a variar mais com o incremento do desbalanceamento (Tabelas 1 a 7).

O coeficiente de variação experimental ($C.V_e$) é uma medida de precisão do experimento e por ser uma razão entre a raiz do QMRes e a média geral do experimento esperava-se um valor de $C.V_e \cong 0,043$. Em termos médios de grupo de simulações, não houve alterações severas com a diminuição do número de parcelas, conforme as Tabelas 1 a 7. No entanto, aumentou-se a variabilidade dos valores estimados de $C.V_e$ com o aumento do número de parcelas perdidas.

Em relação às médias dos tratamentos, esperava-se que os valores estimados fossem os mais próximos possíveis dos valores paramétricos de 10, 12, 20, 31, 32 e 33. Com base na média das 10.000 simulações, o desbalanceamento não prejudicou a estimação dessas médias paramétricas, sendo encontradas diferenças entre as estimativas dos valores médios e os valores paramétricos a partir da terceira casa decimal. Quanto aos desvios padrões, coeficiente de variação e amplitude total do grupo de 10.000 simulações, houve uma leve tendência de aumentarem com o incremento na perda de parcelas (dados não apresentados).

Em relação às variâncias dos tratamentos, esperava-se que os valores estimados fossem os mais próximos possíveis do valor paramétrico 1. Com base na média das 10.000 simulações, o desbalanceamento não prejudicou a estimação dessas variâncias paramétricas, sendo estas bem próximas do valor 1.

. Comparações entre médias de tratamentos

Esperava-se que as populações com média paramétricas 10 (Pop1) e 12 (Pop2) fossem estatisticamente diferentes daquelas com médias 20 (Pop3), 31 (Pop4), 32 (Pop5) e 33 (Pop6) – Grupo de diferença 1 - assim Pop4, Pop5 e Pop6 diferissem da Pop1, Pop2 e Pop3 – Grupo de diferenças 2. O desbalanceamento não descaracterizou a diferenciação esperadas. Nas 10.000 simulações, em cada um dos sete cenários de

desbalanceamento, os valores de probabilidade (*p-values*) associados a cada comparação entre contratos de duas médias, foram 100% significativos (*p-value* < 5% ou $P < 0,05$) para os grupo de diferença 1 e 2 (dados não apresentados).

Entre o grupo Pop1 e Pop2 e o grupo Pop4, Pop5 e Pop6, esperava-se menor diferenciação entre elas, ou seja, algumas observações de uma das populações poderia ser considerada pertencente aquela outra mais próxima (exemplo, Pop 4 e Pop5), o que definiria *p-values* > 5% (não diferenciação de populações). Esta expectativa foi verificada, para os vários níveis de desbalanceamento. Um aspecto interessante observado o foi que no experimento balanceado (cinco repetições por tratamento) o percentual de *p-values* < 5% foi muito maior - mais de 50% para Pop1-Pop2 e Pop4-Pop6, ou seja, em mais de 50% das 10.000 simulações foram definidas como tratamentos diferentes - do que nos cenários de desbalanceamento, tendendo a diminuir com o aumento de parcelas perdidas. Isto significa dizer que para as populações com distribuições próximas, o número reduzido de repetições por tratamento não foi capaz de representá-las a ponto de diferenciá-las uma das outras.

4.2. Grande Cenário 2: Variâncias Populacionais iguais a 100

. Análise de Variância

Na média de cada grupo de 10.000 simulações, as somas de quadrado de tratamento (SQTrat), resíduo (SQRes) e total (SQTo), além do quadrado médio de tratamento (QMTrat), decresceram à medida que aumentou-se o desbalanceamento, à semelhança do grande cenário 1. O quadrado médio do resíduo (QMRes), em média, apresentou o valor esperado igual a 100, independente do nível de desbalanceamento. No entanto, com o aumento da perda de observações constatou-se, a partir das medidas

de variabilidade (desvio-padrão; amplitude total = máximo – mínimo; coeficiente de variação) maior variação dos valores das SQ e QM.

Deste modo, o valor de F calculado (F_c) também decresceu com o incremento da perda de parcelas em relação ao experimento balanceado. O percentual de F_c superiores aos valores de F_{tab} apresentou comportamento diferente do cenário 1. Com variâncias populacionais iguais a 1, a chance de se cometer o erro tipo I foi nula, em qualquer situação de desbalanceamento considerado.

No caso das variâncias populacionais iguais a 100, houve uma redução no percentual de significância para o teste F, na medida em que aumentou-se o desbalanceamento. Portanto a diferenciação entre tratamentos ficou prejudicada com o aumento das variâncias populacionais somada a perda de parcelas.

Assim como no cenário 1, observou-se que os valores F_c variaram mais à medida que se aumentou o desbalanceamento estatístico (Tabelas 8 a 14). Além disso, os valores de F_c foram bastante inferiores aos F_c do grande cenário 1, o que aumentou a chance de se encontrar não significância para o teste F. Com 5 unidades experimentais por tratamento (experimento balanceado), o percentual de *p-value* inferiores a 5% foi de 3,32% (100 - 96,68), estando dentro do limite aceitável (Tabela 8).

Tabela 8 - Resumo dos resultados para o experimento balanceado, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.

Nenhuma parcela perdida	F_c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	7,05	23,02	194,15	49,81	43,28	51,17
Desvio padrão	3,37	1,83	44,66	28,70	7,21	28,85
Mínimo	0,79	15,31	64,51	0,02	20,61	0,00
Máximo	38,91	29,34	412,50	99,99	77,42	100,00
C.V.(%)	48,00	8,00	23,00	58,00	17,00	56,00
P<0,05 (%)	96,68	-	-	-	5,00	4,00

F_c : F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 9 - Resumo dos resultados para 10% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.

Três parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	6,51	22,99	193,96	50,49	43,33	50,73
Desvio padrão	3,31	2,05	47,16	28,61	7,81	28,90
Mínimo	0,49	15,24	63,54	0,04	17,10	0,01
Máximo	33,88	30,45	467,75	100,00	81,00	100,00
C.V.(%)	51,00	9,00	24,00	57,00	18,00	57,00
P<0,05 (%)	93,82	-	-	-	4,00	4,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 10 - Resumo dos resultados para 20% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.

Seis parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	5,99	23,01	194,25	50,01	43,32	51,60
Desvio padrão	3,25	2,28	50,53	28,76	8,49	28,81
Mínimo	0,45	14,28	54,94	0,03	18,37	0,08
Máximo	31,25	31,75	410,68	99,96	83,60	99,99
C.V.(%)	54,00	10,00	26,00	58,00	20,00	56,00
P<0,05 (%)	88,72	-	-	-	5,00	3,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 11 - Resumo dos resultados para 30% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.

Nove parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	5,41	23,00	193,20	50,32	43,38	52,37
Desvio padrão	3,22	2,52	53,59	28,69	9,36	29,07
Mínimo	0,26	12,69	48,83	0,01	18,39	0,02
Máximo	46,68	32,84	472,97	99,93	104,60	100,00
C.V.(%)	60,00	11,00	28,00	57,00	22,00	56,00
P<0,05 (%)	80,35	-	-	-	4,00	4,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 12 - Resumo dos resultados para 40% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.

12 parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	4,97	23,03	193,83	51,41	43,27	53,32
Desvio padrão	3,42	2,72	58,64	28,29	10,30	29,29
Mínimo	0,28	12,83	28,06	0,01	13,56	0,02
Máximo	47,35	33,44	512,03	100,00	123,08	100,00
C.V.(%)	69,00	12,00	30,00	55,00	24,00	55,00
P<0,05 (%)	68,22	-	-	-	4,00	3,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 13 - Resumo dos resultados para 50% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.

15 parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	4,73	22,99	195,92	51,06	43,18	55,91
Desvio padrão	4,01	2,95	65,66	28,18	12,14	29,60
Mínimo	0,19	12,06	34,28	0,06	11,44	0,04
Máximo	80,04	33,27	539,28	99,99	110,56	100,00
C.V.(%)	85,00	13,00	34,00	55,00	28,00	53,00
P<0,05 (%)	53,74	-	-	-	3,00	3,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

Tabela 14 - Resumo dos resultados para 60% de desbalanceamento, considerando 10.000 simulações no grande cenário 2.

18 parcelas perdidas	F _c	Média Geral	Variância Geral	C.V.	<i>p-value</i> teste de Bartlett (%)	<i>p-value</i> teste Shapiro-Wilk (%)
Média	4,71	22,98	199,06	51,51	42,56	65,17
Desvio padrão	5,18	2,87	73,19	27,80	13,91	32,15
Mínimo	0,11	12,49	18,21	0,07	6,06	0,17
Máximo	170,41	34,26	553,99	99,95	120,36	100,00
C.V.(%)	110,00	12,00	37,00	54,00	33,00	49,00
P<0,05 (%)	36,21	-	-	-	3,00	3,00

F_c: F calculado; *p-value*: valor de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação; P<0,05: percentual de valores *p-value* inferiores a 5%.

. Normalidade e homocedasticidade

Na média do grupo de 10.000 simulações, a perda de parcelas não descaracterizou a normalidade dos erros (Tabelas 1 a 7). Quanto a variabilidade no grupo de simulações, manteve-se semelhante para os vários cenários de desbalanceamento.

O percentual de *p-values* inferiores a 5% ($P < 0,05$) situaram-se dentro do limite aceitável, com o valor máximo entre os sete cenários de desbalanceamento igual a 4%. Quanto a homocedasticidade o panorama foi bastante semelhante ao teste de normalidade (Tabelas 8 a 14).

Portanto, verificou-se que o aumento das variâncias populacionais somado a perda de parcelas não influenciou expressivamente nas conclusões sobre a normalidade e homocedasticidade dos erros.

. Medidas descritivas

Na média das 10.000 simulações, o comportamento da média e da variância geral do experimento dentro do cenário 2 não sofreram fortes alterações devido ao desbalanceamento, embora a variabilidade de resultados tenha aumentado em relação ao cenário 1. A variância do experimento aumentou, conforme o esperado, quando comparada ao cenário 1 (Tabelas 8 a 14).

Esperava-se um valor de $C.V_e \cong 43,00$. Em termos médios de grupo de simulações, não houve alterações severas com a diminuição do número de parcelas, conforme as Tabelas 8 a 14. No entanto, aumentou-se a variabilidade dos valores estimados de $C.V_e$ com o aumento do número de parcelas perdidas.

Em relação às médias dos tratamentos, assim como no cenário 1, com base na média das 10.000 simulações, o desbalanceamento não prejudicou a estimação dessas

médias paramétricas. Quanto aos desvios padrões, coeficiente de variação e amplitude total do grupo de 10.000 simulações, houve um aumento para os vários níveis de desbalanceamento quando comparado ao grande cenário 1 (veja Tabelas 1 a 7 e 8 a 14).

Em relação às variâncias dos tratamentos, esperava-se que os valores estimados fossem os mais próximos possíveis do valor paramétrico 100. Com base na média das 10.000 simulações, o desbalanceamento não prejudicou a estimação dessas variâncias paramétricas, sendo estas bem próximas do parâmetro.

. Comparações entre médias de tratamentos

Com variâncias populacionais maiores, esperava-se um menor discernimento entre as populações mais próximas. Este aspecto foi verificado com *p-values* associados a cada comparação entre contrastes de duas médias. Populações próximas como Pop1 e Pop2 e o grupo Pop4, Pop5 e Pop6, quando comparadas entre si, tiveram baixos percentuais de $P < 0,05$ ($\cong 0,05$ a $0,07\%$) nos vários cenários de desbalanceamento. Significa dizer que no grande cenário 2 as populações mais próximas foram tidas como populações que não diferem estatisticamente, mesmo no experimento balanceado.

Em relação aos tratamentos possivelmente mais distanciados, sua diferenciação não foi tão clara, evidenciada pelo percentual de *p-values* bem menores do que os obtidos no cenário 1. Com o desbalanceamento diminuiu-se a chance de diferenciar os tratamentos possivelmente mais distanciados. No entanto, verificou-se que os resultados foram muito mais influenciados pelo aumento da variância populacional do que propriamente pelo desbalanceamento estatístico.

5. CONCLUSÕES

No geral, o desbalanceamento estatístico não trouxe prejuízos maiores à inferência dos experimentos, considerando variâncias populacionais iguais a 1 e 100, mesmo para 60% de desbalanceamento. No entanto, à medida que foi diminuído o número de parcelas, aumentou-se a chance de se encontrar valores para as estatísticas consideradas que não traduziam as reais características das distribuições das populações (tratamentos), aspecto percebido nas variações entre as simulações de cada cenário de desbalanceamento. Portanto, na comparação de populações cuja variabilidade é tida como alta, em relação a uma determinada variável, recomenda-se maior cuidado com o planejamento experimental, a fim de se evitar a perda de parcelas, quando possível.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247p.

BARBIN, D. **Planejamento e análise estatística de experimentos agrônômicos**. Araçatuba: Midas, 2003. 194p.

BORGES, L.C.; FERREIRA, D.F. Poder e taxas de erro tipo I dos testes Scott-Knott, Tukey e Student-Newman-Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos. **Rev. Mat. Estat.**, São Paulo: v.21, n.1, p. 67-83, 2003.

COIMBRA et al. Esperanças matemáticas dos quadrados médios: uma análise essencial. **Ciência Rural**, v.36, n.6, p. 1730-1738, 2006.

COSTA, S.C. **Modelos lineares generalizados mistos para dados longitudinais**. 2003. 107f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade de São Paulo.

MACHADO et al. **Estatística experimental**: uma abordagem fundamentada no planejamento e no uso de recursos computacionais. Londrina: 2005, 2990p.

MANSO, E.M.; MORAIS, A.R. Emprego do modelo superparametrizado em experimento fatorial desbalanceado com dois fatores. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 234-242, 2006.

MARCELINO, S.D.R.; IEMMA, A.F. Métodos de estimação de componentes de variância em modelos mistos desbalanceados. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.643-652, 2000.

MCCULLOCH, C. E.; SEARLE, S. R. **Generalized, linear, and mixed models**. John Wiley & Sons, Inc. 2001. 325 p.

PINHO, S.Z; MISCHAN, M.M. **análise de regressão em experimentos em parcelas subdivididas com dados não-balanceados: uma solução na linguagem GLIM**. **Scientia Agricola**, v.53, n.1, p. 1996.

OIKAWA, S.M.; IEMMA, A. F. Hipóteses estatísticas com dados **Scientia Agricola** desbalanceados nos modelos com três fatores de efeitos fixos hierarquizados, , v.56, n.4, p.1123-1134, 1999.

R DEVELOPMENT CORE TEAM, **R: A language and environment for statistical computing**. Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2005. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>> Acesso em: 10 abr. 2008.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV, 2001, 301p.

SOUZA, E.F.M; PETERNELLI, L.A.; BARBOSA, M.H.P. Designs and model effects definitions in the initial stage of a plant breeding program. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p. 369-375, 2006.

TOMÉ, M. A.; BUENO FILHO, J.S.S.; FERREIRA, D.F. Blocos fixos ou aleatórios? O caso dos ensaios em látice no melhoramento vegetal, **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.26, n.3, p. 576-584, 2002.

VALÉRIO FILHO, W.V. **Comparação de métodos para estimação de componentes da variância de dados através de simulação de dados**. Piracicaba, 1991. 137p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

WECHSLER, F.S. Fatoriais fixos desbalanceados: uma análise mal compreendida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.3, p. 231-262, 1998.