**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMAÇÃO DE COMPONENTES
DA VARIÂNCIA ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO DE DADOS**

WALTER VERIANO VALÉRIO FILHO

Aprovada em: 06.09.1991

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Décio Barbin ESALQ/USP

Profa. Dra. Clarice Garcia Borges Demétrio ESALQ/USP

Prof. Dr. Carlos Roberto Padovani IBBMA/UNESP

Prof. Dr. Euclides Braga Malheiros FMVAJ/UNESP

Prof. Dr. João Ademir de Oliveira FEIS/UNESP

Barbin

Prof. Dr. DÉCIO BARBIN

Orientador

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Valério Filho, Walter Veriano

V164c Comparação de métodos para estimação de componentes
da variância através de simulação de dados. Piracicaba,
1991. 160p.

Tese - ESALQ

Bibliografia.

1. Análise de variância - Componente - Estimativa 2.
Estatística agrícola 3. Estatística matemática 4. Modelo
matemático 5. Simulação I. Escola Superior de Agricultura
Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 519.535

D e d i c o,

Ao meu pai com saudades.

À minha mãe com a maior das gratidões.

Aos meus irmãos com lembranças.

Ao tias Dúdu, Norma e Noêmia pelos tempos passados.

À Gabriela, Manoela, Mariana e Andréa, minhas filhas
queridas

À Preta, companheira, amiga e mulher de todos os
instantes, com o maior amor

A G R A D E C I M E N T O S

À Profa. Dalva Maria de Oliveira Villarreal,
Departamento de Ciências FEIS/UNESP.

Ao Prof. Dr. Cássio Roberto de Melo Godói, Departamento
de Matemática e Estatística ESALQ/USP.

Ao Prof. Paulo Isamo Hiratsuka, Departamento de
Ciências FEIS/UNESP.

Para Luciane Eloiza Pagnani de Camargo, Analista de
Sistema, Magda Nogueira Bezerra, e Valentim Aparecido Paris,
Programadores, Polo Computacional, FEIS/UNESP.

À Maria Lucia Miranda, Secretária, Departamento de
Ciências, FEIS/UNESP.

À Teresa Cristina Tarlé Pissara, Curso de Agronomia,
FEIS/UNESP.

Ao Prof. Carlos Alberto Hector Flechtmann, Departamento
de Biologia, FEIS/UNESP.

Ao Prof. Dr. João Ademir de Oliveira, Departamento de
Biologia, FEIS/UNESP.

Ao Prof. Dr. Décio Barbin, Departamento de Matemática e
Estatística, ESALQ/USP, pela amizade, confiança e
orientação.

I N D I C E

	Página
RESUMO	vi
SUMMARY	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. METODOLOGIA	7
3.1. Modelos em Estudo	7
3.1.1. Modelo Cruzado Misto	7
3.1.2. Modelo Hierárquico Misto	9
3.2. Métodos de Estimação	10
3.2.1. Método "ANOVA"	11
3.2.2. Método "MIVQUE"	15
3.2.3. Método "ML"	18
3.2.4. Método "REML"	20
3.3. Métodos e Formas de Simulação	21
3.4. Critérios de Comparação	26
3.4.1. Erro Quadrático Médio	27
3.4.2. Viés	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31

4.1. Modelo Cruzado Misto	31
4.1.1. Erro Quadrático Médio Associado ao Fator Aleatório no Modelo Cruzado ...	31
4.1.2. Valor Absoluto do Viés Associado ao Fator Aleatório no Modelo Cruzado ...	48
4.1.3. Erro Quadrático Médio Associado ao Resíduo no Modelo Cruzado	62
4.1.4. Valor Absoluto do Viés Associado ao Resíduo no Modelo Cruzado	77
4.2. Modelo Hierárquico Misto	92
4.2.1. Erro Quadrático Médio Associado ao Fator Aleatório no Modelo Hierárquico	92
4.2.2. Valor Absoluto do Viés Associado ao Fator Aleatório no Modelo Hierárquico	108
4.2.3. Erro Quadrático Médio Associado ao Resíduo no Modelo Hierárquico	122
4.2.4. Valor Absoluto do Viés Associado ao Resíduo no Modelo Hierárquico	136
5. CONCLUSÕES	150
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMAÇÃO DE COMPONENTES DA VARIÂNCIA ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO DE DADOS

Autor: *Walter Veriano Valério Filho*

Orientador: *Prof. Dr. Décio Barbin*

RESUMO

Com o objetivo de comparar métodos de estimação de componentes da variância através da técnica de simulação de dados, optou-se pelos estimadores da análise da variância, da máxima verossimilhança e máxima verossimilhança restrita e pelos estimadores quadráticos imparciais de variância mínima. Todos estes métodos estão implantados no SAS ("Statistical Analysis System") e são denotados respectivamente por: ANOVA ("Analysis of Variance"), ML ("Maximum Likelihood"), REML ("Restricted Maximum Likelihood") e MIVQUEO ("Minimum Variance Quadratic Unbiased Estimation"). Estes estimadores foram utilizados em dois tipos de modelos mistos com dois fatores: o cruzado sem interação e o hierárquico.

Na simulação dos dados para cada modelo

foram definidos quatro valores para a variância associada ao fator aleatório ($VARB = 0,25; 1,00; 4,00; 9,00$), sempre tomando-se a variância associada ao resíduo igual a um ($VARE = 1,00$), três valores para o número de níveis de efeitos fixos e três para o número de níveis de efeitos aleatórios ($A = 2, 4, 6$ e $B = 4, 6, 10$) e para cada uma das 36 combinações anteriores, três níveis crescentes no grau de desbalanceamento ($DESB = BA, W0, W1$), sendo que o nível BA, corresponde ao caso balanceado. Para cada uma das 108 possíveis combinações de $VARB, A, B$ e $DESB$, foram simulados 50 experimentos, e dentro de cada experimento, as observações seguiam uma distribuição normal característica.

Dois critérios de comparação foram utilizados na avaliação dos estimadores, o erro quadrático médio e o valor absoluto do viés.

Os resultados indicaram que: a-) para o fator aleatório no modelo cruzado, o método REML foi o menos tendencioso, enquanto que o ML geralmente exibiu maior viés. Já em termos de erro quadrático, quando B foi mínimo, o ML mostrou melhor desempenho, e para $B > 4$ os métodos ANOVA e REML apresentaram-se como os melhores, nos casos de maior desbalanceamento; b-) para o resíduo no modelo cruzado, quando $B = 4$ e $A < 6$, o método ML apresentou o melhor

desempenho, e para $B > 4$ e $A > 2$, os melhores foram os métodos ANOVA e REML; c-) para o fator aleatório no modelo hierárquico, notou-se que, no desbalanceamento e com $VARB = 0,25$, os mais próximos e menos tendenciosos foram os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML, e para $VARB > 0,25$ o REML foi em geral o menos viesado. Em termos de erro quadrático, o método ML teve o melhor desempenho quando $A = 2$, e para $A \geq 4$ e $VARB > 0,25$, destacou-se o método REML; d-) para o resíduo no modelo hierárquico, em casos de maior desbalanceamento e com $VARB = 0,25$, os métodos MIVQUEO, REML e ML apresentaram-se próximos e superaram o ANOVA em termos de erro quadrático, mas para $VARB > 0,25$, permaneceram os métodos ML, REML e ANOVA com os menores erros. Os métodos ML e REML foram os menos tendenciosos quando $VARB$ e B foram mínimos. Acentuadamente no maior grau de desbalanceamento com B máximo e para $VARB$ crescente o método ANOVA apresentou-se como o menos tendencioso; e-) nos casos balanceados, ocorreu uma tendência de equivalência entre os métodos: ANOVA, MIVQUEO e REML, à medida em que $VARB$, A e B tiveram acréscimos simultâneos ou não; f-) nos casos desbalanceados em geral, os métodos ML, ANOVA e principalmente o REML apresentaram frequentemente os melhores resultados, enquanto que o MIVQUEO raramente superou os demais.

METHODS COMPARISON TO ESTIMATE VARIANCE COMPONENTS
BY DATA SIMULATION

Author: *Walter Veriano Valério Filho*

Adviser: *Prof. Dr. Décio Barbin*

SUMMARY

To compare variance components estimation methods by data simulation technique, it has been choosed analysis of variance, maximum likelihood, restricted maximum likelihood and minimum variance quadratic unbiased estimators. All these methods are implanted in SAS ("Statistical Analysis System") software, and respectively named as ANOVA ("Analysis of Variance"), ML ("Maximum Likelihood"), REML ("Restricted Maximum Likelihood") and MIVQUEO ("Minimum Variance Quadratic Unbiased Estimation"). These estimators were utilized in two mixed models types, with two factors: the two-way crossed classification without interaction and two-way nested classification.

On data simulation for each model, four variance values associated to the random factor were

defined (VARB = 0,25; 1,00; 4,00; 9,00), always attributing value one to the variance associated to error (VARE = 1,00), three values for the fixed effect levels and random effect levels number (A = 2, 4, 6 and B = 4, 6, 10), and for each of 36 anterior combinations, three crescent levels at unbalancing grade (DESB = BA, W0, W1), here with BA level corresponding to the balanced case. For each one of the 108 possible VARB, A, B and DESB combinations, 50 experiments were simulated, and in each experiment, the observations followed a characteristic normal distribution.

Two comparative criterions were utilized on estimators evaluation, the mean quadratic error and absolute value bias.

The results indicated that: a-) for the random factor of the two-way crossed classification, REML method was the less biased, while the ML often exhibited a greater bias. In relation to quadratic error, when B was minimum, ML showed better performance, and for $B > 4$ the ANOVA and REML methods showed the best performance, in the cases of greater unbalancing; b-) for the error on the two-way crossed classification model, when $B = 4$ and $A < 6$, the ML method showed the best performance, and for $B > 4$ and $A \geq 2$, ANOVA and REML were the best methods; c-) for the random factor on the two-way nested classification model, it

has been observed that, on unbalancing and with $VARB = 0,25$, the closer and the less biased methods were ANOVA, MIVQUEO and REML, and for $VARB > 0,25$ generally REML was the less biased. In relation to quadratic error, the ML method had the best performance when $A = 2$, and for $A \geq 4$ and $VARB > 0,25$, REML method exceeds; d-) for the error on the two-way nested classification model, in cases of greater unbalancing and with $VARB = 0,25$, MIVQUEO, REML and ML methods showed closer and surpassed ANOVA by means of quadratic error, but for $VARB > 0,25$, ML, REML and ANOVA, methods showed the least errors. The ML and REML methods were the less tendentious when $VARB$ and B were the minimum. Accentuating on a greater unbalancing grade with maximum B and for crescent $VARB$, the ANOVA method showed the less biased; e-) on the balanced cases, occurred an equivalence tendency between ANOVA, MIVQUEO and REML methods, when $VARB$, A and B had simultaneous additions or not; f-) generally, on the unbalanced cases, the ML, ANOVA methods and mainly the REML frequently presented better profit while the MIVQUEO rarely exceeded the other ones.

1. INTRODUÇÃO

É comum associar a um experimento estatisticamente planejado um modelo linear, composto de efeitos fixos e aleatórios, sendo estes últimos os que dão origem propriamente, ao conjunto denominado componentes da variância. Existe bastante aplicação destes componentes, por exemplo, em delineamentos onde se procuram estabelecer procedimentos de controle de qualidade, em genética estatística, como em HENDERSON (1984), estimando-se, herdabilidade e correlações genéticas, e também em aspectos de amostragem.

Tradicionalmente, o método usado para se obter estes componentes tem sido o da Análise da Variância, que possui inúmeras propriedades se os dados são balanceados, isto é, o mesmo número de observações nas subclasses. Entretanto, com dados não balanceados, na maioria das vezes, as propriedades não se verificam. A partir deste ponto surgem então outros métodos, cada um produzindo, em geral, diferentes resultados para um mesmo

componente. Decorre então, a necessidade de se comparar, de alguma forma, as propriedades de cada método.

Para essas comparações, além do próprio método ANOVA ("Analysis of Variance"), foram incluídos os métodos: MIVQUE ("Minimum Variance Quadratic Unbiased Estimation"); ML ("Maximum Likelihood") e REML ("Restricted Maximum Likelihood"), que se constituem atualmente, em metodologias para as quais tem-se demonstrado bastante interesse.

Estes métodos estão apresentados no SAS ("Statistical Analysis System"), versão 6.03 (1987) para microcomputadores. Pretende-se através deste sistema, e com a técnica de simulação de dados, pois com dados não balanceados em geral não se conseguem formas explícitas para os componentes, realizar tais comparações, usando-se como critérios de eficiência, o erro quadrático médio e o valor absoluto do viés de cada estimador.

Dois tipos de modelos mistos, com dois fatores serão usados: cruzado sem interação e o hierárquico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Durante muitos anos, o método ANOVA, mais comumente empregado em modelos fixos com dados balanceados, foi utilizado para estimar componentes da variância. O método consiste em equacionar os quadrados médios do quadro da análise da variância, aos seus respectivos valores esperados, e resolver o sistema resultante nos próprios componentes. Esta metodologia quando empregada em situações balanceadas, produz estimadores com propriedades estatísticas desejáveis, entretanto, se os dados não são balanceados e, mais em particular, no caso do modelo misto (efeitos fixos e aleatórios), perde-se muito destas qualidades.

HENDERSON (1953), apresentou os métodos 1, 2 e 3. O método 3, ou de ajuste de constantes, particularmente tinha como objetivo, substituir o ANOVA, nos casos desbalanceados em modelos mistos. Nos casos balanceados reduz-se ao ANOVA, e possui como inconveniente o fato de não ser unicamente definido, SEARLE (1968). O método 1,

apropriado para modelos aleatórios, em linhas gerais, é uma extensão do ANOVA, para o caso desbalanceado, VALÉRIO FILHO (1983). O método 2 de Henderson, na realidade é uma modificação do método 1, para que ele possa ser aplicado em alguns tipos de modelos mistos, VALÉRIO FILHO (1983). Os anos que se sucederam a HENDERSON (1953), foram de uso considerável destes métodos, além da exploração de suas propriedades.

Mudanças ou novos desenvolvimentos só ocorreram realmente com HARTLEY & RAO (1967) que descreveram, através da técnica da máxima verossimilhança, novos procedimentos para obtenção de componentes da variância. Desde então, vários métodos surgiram, e destaca-se, em particular, a metodologia proposta por RAO (1971a,1971b), através dos estimadores MINQUE e MIVQUE, que são formas quadráticas das observações, que satisfazem às seguintes propriedades: invariância quanto à translação dos efeitos fixos, não tendenciosidade e, norma mínima da diferença entre o estimador e seu valor verdadeiro no caso do MINQUE e variância mínima do estimador, em se tratando do MIVQUE.

Estas linhas de estimação, pós HENDERSON (1953), constituem-se hoje em duas classes bem definidas de

estimadores, que são: ML, REML ("Maximum Likelihood", "Restricted Maximum Likelihood") e MINQUE, MIVQUE ("Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation"), "Minimum Variance Quadratic Unbiased Estimation").

CORBEIL & SEARLE (1976b) através da simulação de dados comparam entre outros os métodos ML, REML e ANOVA, no caso de dados não balanceados, através do erro quadrático médio, e indicam alguma vantagem, para o método ML no caso de um modelo misto cruzado com dois fatores.

SWALLOW & MONAHAN (1984), no caso de um modelo aleatório com um fator, também através da simulação, comparam entre outros, os métodos: ANOVA, ML, REML e MIVQUEO. Usam como critérios, o erro quadrático médio e o viés, em várias situações não balanceadas. Entre as conclusões, destacam-se: a-) para se estimar o componente da variância associado ao resíduo, todos os métodos apresentam pouca tendenciosidade e, em termos de erro quadrático, o MIVQUEO é o menos eficaz; b-) com exceção dos casos de alto grau de desbalanceamento e relação entre variâncias (efeitos aleatórios e resíduo) maior do que um, o método ANOVA deve ser preferido devido a sua facilidade de aplicação; c-) para se estimar o componente associado ao fator aleatório, deve-se optar pelo método ML, sempre que a

relação entre variâncias for menor do que meio e para relações maiores do que meio, o viés do ML pode eliminar sua superioridade em termos de erro quadrático sobre os demais; d-) o método MIVQUEO, para se estimar o componente associado ao fator aleatório, tem boa performance, quando a relação entre variâncias está próxima de zero, enquanto que para relações maiores do que um, este método revela um fraco desempenho, tanto para o fator aleatório, como para o resíduo.

SERAPHIN (1984) trabalhando com modelos de dois fatores, um hierárquico aleatório e outro, um fatorial misto com interação, compara através da técnica de simulação e o critério de erro quadrático médio os métodos: ANOVA, ML e MIVQUE, com as seguintes conclusões: a-) MIVQUE e ANOVA produzem os mesmos resultados para dados balanceados; b-) deve-se preferir o MIVQUE, se forem possíveis recursos computacionais de grande porte, e em caso contrário, o método ANOVA; c-) para o modelo fatorial o método ML apresenta bons resultados desde que não se leve em consideração tendenciosidade e tempo de processamento; d-) finalmente, conclui que os métodos se mostram mais eficientes, quando a relação entre variâncias (efeitos aleatórios e o resíduo) é igual à 0,25, e quando os dados são balanceados.

3. METODOLOGIA

3.1. Modelos em Estudo

Dois tipos de modelos serão considerados neste estudo: misto com dois fatores cruzados, sem interação e misto com dois fatores, com o fator aleatório aninhado.

3.1.1. Modelo Cruzado Misto

A representação deste modelo será:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, A$; $j = 1, 2, \dots, B$; $k = 1, 2, \dots, N_{ij}$;

onde:

y_{ijk} : a k -ésima observação, do i -ésimo nível do fator fixo α com o j -ésimo nível do fator aleatório β ;

μ : uma constante;

α_i : o efeito do i-ésimo nível do fator fixo α ;

β_j : o efeito do j-ésimo nível do fator aleatório β ;

ε_{ijk} : erro associado à observação y_{ijk} .

Na forma de matriz tem-se:

$$\underset{\sim}{Y} = \underset{\sim}{1} \underset{\sim}{\mu} + \underset{\sim}{X}_1 \underset{\sim}{\alpha} + \underset{\sim}{X}_2 \underset{\sim}{\beta} + \underset{\sim}{\varepsilon} \quad (2)$$

sendo:

$\underset{\sim}{Y}$: vetor de observações, com dimensão $N \times 1$ ($N = \sum_i \sum_j N_{ij}$);

$\underset{\sim}{1}$: vetor de uns, dimensão $N \times 1$;

$\underset{\sim}{X}_1$: matriz de incidência, dimensão $N \times A$;

$\underset{\sim}{\alpha}$: vetor de efeitos fixos, dimensão $A \times 1$;

$\underset{\sim}{X}_2$: matriz de incidência, dimensão $N \times B$;

$\underset{\sim}{\beta}$: vetor de efeitos aleatórios, dimensão $B \times 1$;

$\underset{\sim}{\varepsilon}$: vetor de erros, dimensão $N \times 1$

ou ainda:

$$\underset{\sim}{Y} = \underset{\sim}{X} \underset{\sim}{\theta} + \underset{\sim}{X}_2 \underset{\sim}{\beta} + \underset{\sim}{\varepsilon} \quad (3)$$

com $\underset{\sim}{X} = [\underset{\sim}{1}, \underset{\sim}{X}_1]$ e $\underset{\sim}{\theta}' = [\underset{\sim}{\mu}, \underset{\sim}{\alpha}']$.

Serão usadas as seguintes suposições:

- $E(\beta) = 0$; $Var(\beta) = (VARB)I_B$; I_B : matriz identidade de ordem B;
- $E(\varepsilon) = 0$; $Var(\varepsilon) = (VARE)I_N$; I_N : matriz identidade de ordem N;
- $Cov(\beta, \varepsilon') = 0$;
- $\beta \sim N[0; (VARB)I_B]$;
- $\varepsilon \sim N[0; (VARE)I_N]$.

Ainda com relação do modelo apresentado em (3), tem-se que:

$$Var(Y) = V = (VARB)X_2X_2' + (VARE)I_N$$

3.1.2. Modelo Hierárquico Misto

Neste caso, o modelo é dado por:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{jd} + \varepsilon_{ijk}, \quad (4)$$

$i = 1, 2, \dots, A$; $j = 1, 2, \dots, B$; $k = 1, 2, \dots, N_{ij}$;

onde:

y_{ijk} : a k -ésima observação, do j -ésimo nível do fator aleatório β , dentro do i -ésimo nível do fator fixo α ;

μ : uma constante;

α_i : o efeito do i -ésimo nível do fator fixo α ;

β_j : o efeito do j -ésimo nível do fator aleatório β dentro do i -ésimo nível do fator fixo α ;

ε_{ijk} : erro associado à observação y_{ijk} .

Em termos matriciais usam-se as mesmas representações (2) e (3) do modelo cruzado anterior, inclusive com as mesmas suposições, e com a ressalva de que, neste caso, o fator aleatório β está aninhado no fator fixo α .

3.2. Métodos de Estimação

Como já se observou anteriormente existem hoje duas linhas para estimação de componentes da variância de grande interesse, são elas: a-) máxima verossimilhança e máxima verossimilhança restrita (ML e REML) e b-) estimação imparcial quadrática de norma mínima e estimação imparcial quadrática de variância mínima (MINQUE e MIVQUE).

Por outro lado, está o método da Análise da Variância (ANOVA), que foi e que ainda continua sendo uma metodologia muito utilizada na obtenção de componentes da variância.

Dentro destes aspectos, achou-se que seria bastante oportuno um estudo que pudesse confrontar todas estes métodos. Optou-se então pelos métodos ANOVA, MIVQUE, ML e REML, que estão implantados no SAS ("Statistical Analysis System") na versão 6.03, para microcomputadores, o qual se constituiu num veículo imprescindível para o desenvolvimento deste trabalho.

Na sequência apresenta-se uma síntese de cada uma destas metodologias, adaptando-as aos modelos em questão.

3.2.1. Método "ANOVA"

É também chamado método 3 de Henderson, ou ainda, de ajuste de constantes. Trabalha com reduções nas somas de quadrados, devido ao ajuste de diferentes submodelos, do modelo completo, estimando os componentes da variância, ao igualar o valor numérico de cada redução, à sua esperança, tomada sob o modelo completo.

Com relação à forma matricial apresentada em (2), inicialmente representando o modelo cruzado, sejam as seguintes reduções, usando-se a notação de matriz inversa generalizada de GRAYBILL (1983):

$$R(\mu) = Y' \underset{\sim}{1} (\underset{\sim}{1}' \underset{\sim}{1})^{-1} \underset{\sim}{1}' Y; \quad \text{posto}(\underset{\sim}{1}) = 1$$

$$RC\underset{\sim}{\mu}, \underset{\sim}{\alpha} = \underset{\sim}{Y}' H C H' H \underset{\sim}{D}^{-1} \underset{\sim}{H}' \underset{\sim}{Y}, \quad H = X = [1, \underset{\sim}{X}_1], \text{ posto } (H) = A$$

$$RC\underset{\sim}{\mu}, \underset{\sim}{\alpha}, \underset{\sim}{\beta} = \underset{\sim}{Y}' L C L' L \underset{\sim}{D}^{-1} \underset{\sim}{L}' \underset{\sim}{Y}, \quad L = [1, \underset{\sim}{X}_1, \underset{\sim}{X}_2], \\ \text{posto } (L) = A + B - 1$$

$$RC\underset{\sim}{\emptyset} = \underset{\sim}{Y}' I_{\underset{\sim}{N}} \underset{\sim}{Y}, \quad \text{posto } (I_{\underset{\sim}{N}}) = N.$$

Como funções das anteriores, considerem-se as seguintes reduções:

$$RC\underset{\sim}{\alpha}, \underset{\sim}{\beta} | \underset{\sim}{\mu} = RC\underset{\sim}{\mu}, \underset{\sim}{\alpha}, \underset{\sim}{\beta} - RC\underset{\sim}{\mu} \quad (5)$$

$$RC\underset{\sim}{\beta} | \underset{\sim}{\mu}, \underset{\sim}{\alpha} = RC\underset{\sim}{\mu}, \underset{\sim}{\alpha}, \underset{\sim}{\beta} - RC\underset{\sim}{\mu}, \underset{\sim}{\alpha} \quad (6)$$

De SEARLE (1971a, 1971b), tem-se respectivamente os seguintes valores esperados:

$$E [RC\underset{\sim}{\alpha}, \underset{\sim}{\beta} | \underset{\sim}{\mu}] = (A+B-2)(VARE) + h_1(VARB) + \text{função } (C\underset{\sim}{\alpha}_1)$$

$$E [RC\underset{\sim}{\beta} | \underset{\sim}{\mu}, \underset{\sim}{\alpha}] = (B-1)(VARE) + h_2(VARB)$$

$$\text{onde } h_1 = N - \sum_j N_j^2 / N \text{ e } h_2 = N - \sum_i (\sum_j N_{ij}^2) / N_i.$$

Multiplicando-se a equação (6) por (-1) e somando-a, à equação (5), e a mesma operação nos valores esperados correspondentes, obtém-se duas equações igualando-se cada redução ao seu respectivo valor esperado, da seguinte forma:

$$R(\alpha|\mu) = (A-1)(\widehat{VARE}) + (h_1 - h_2)(\widehat{VARB}) + \text{função}(\alpha_1)$$

$$R(\beta|\mu, \alpha) = (B-1)(\widehat{VARE}) + h_2(\widehat{VARB}).$$

Acrescentando-se as duas últimas equações, a relação:

$$S.Q.RES = E(S.Q.RES) = E(Y'Y - R(\mu, \alpha, \beta)) = (N-A-B+1) \widehat{VARE}$$

obtem-se um sistema de equações, cuja solução fornece os componentes, pelo método ANOVA, para o modelo cruzado em estudo, isto é:

$$\frac{(h_1 - h_2)}{A-1} \widehat{VARB} + \frac{1}{A-1} [\text{função}(\alpha_1)] + \widehat{VARE} = \frac{1}{A-1} R(\alpha|\mu)$$

$$\frac{h_2}{B-1} \widehat{VARB} + \widehat{VARE} = \frac{1}{B-1} R(\beta|\mu, \alpha)$$

$$\widehat{VARE} = \frac{1}{N-A-B+1} S.Q.RES$$

Para a forma matricial em (2), agora representando o modelo hierárquico, considere as seguintes reduções:

$$R(\mu) = Y' 1(1'1)^{-1}1'Y, \quad \text{posto}(1) = 1$$

$$R(\mu, \alpha) = Y'HCH'H)^{-1}H'Y, \quad H = X = [1, X_1], \quad \text{posto}(H) = A$$

$$R(\mu, \alpha, \beta) = Y' L (L' L)^{-1} L' Y, \quad L = [1, X_1, X_2],$$

com $\text{posto}(L) = AB$

$$R(0) = Y' I_N Y, \quad \text{posto}(I_N) = N$$

De forma análoga à anterior, sejam as reduções (5) e (6), e como em SEARLE (1971a, 1971b), pode-se mostrar que:

$$E[R(\alpha, \beta | \mu)] = (AB-1)(VARE) + h_1(VARB) + \text{função}(\alpha_1) \quad (7)$$

$$E[(\beta | \mu, \alpha)] = (AB-A)(VARE) + h_2(VARB) \quad (8)$$

onde:

$$h_1 = \sum_i \sum_j N_{ij}^2 / N; \quad h_2 = N - \sum_i (\sum_j N_{ij}^2 / N_{i.}).$$

Multiplicando-se (8) por (-1) e somando-se o resultado à (7), e usando-se as mesmas operações nas reduções correspondentes, obtém-se:

$$R(\alpha | \mu) = (A-1)(VARE) + (h_1 - h_2)(VARB) + \text{função}(\alpha_1)$$

$$R(\beta | \mu, \alpha) = (AB-A)(VARE) + h_2(VARB).$$

Neste caso,

$$E(S.Q.RES) = (N-AB)(VARE),$$

portanto, o sistema resultante, para os componentes da variância, para o modelo hierárquico, será dado por:

$$\begin{aligned} \frac{(h_1 - h_2)}{A-1} \hat{VARB} + \frac{1}{A-1} [função(\alpha_1)] + \hat{VARE} &= \frac{1}{A-1} RC(\alpha|\mu) \\ \frac{h_2}{AB-A} \hat{VARB} + \hat{VARE} &= \frac{1}{AB-A} RC(\beta|\mu, \alpha) \\ \hat{VARE} &= \frac{1}{N-AB} S.Q.RES \end{aligned}$$

No sistema SAS o método da análise da variância é a opção "TYPE1" do procedimento VARCOMP.

3.2.2. Método "MINQUE"

RAO (1970, 1971a, 1971b, 1972, 1973), descreveu o método MINQUE para componentes da variância impondo, ao estimador as seguintes propriedades: i-) que fôsse uma forma quadrática das observações; ii-) fôsse invariante quanto à translação dos efeitos fixos; iii-) fôsse imparcial; iv-) que ele minimizasse uma norma Euclidiana.

No desenvolvimento do MINQUE nenhuma

suposição quanto à distribuição dos efeitos aleatórios é requerida, mas sob normalidade destes efeitos como, por exemplo, em HARVILLE (1977), demonstra-se que o MINQUE, tem variância mínima, isto é, obtém-se um MIVQUE ("Minimum Variance Quadratic Unbiased Estimator").

Para os dois modelos em estudo, a forma geral apresentada em (3), pode ser reescrita como:

$$\underset{\sim}{Y} = \underset{\sim}{X} \underset{\sim}{\theta} + \underset{\sim}{Z} \underset{\sim}{U} \quad (9)$$

onde:

$$\underset{\sim}{Z} = [\underset{\sim}{I}_N, \underset{\sim}{X}_2] = [\underset{\sim}{Z}_0, \underset{\sim}{Z}_1]; \quad \underset{\sim}{U}' = [\underset{\sim}{\varepsilon}', \underset{\sim}{\beta}'] = [\underset{\sim}{U}'_0, \underset{\sim}{U}'_1].$$

Como em (3.1), tem-se:

$$\underset{\sim}{\text{Var}}(\underset{\sim}{Y}) = \underset{\sim}{V} = \underset{\sim}{Z}_1 \underset{\sim}{Z}_1' (\underset{\sim}{VAREB}) + \underset{\sim}{Z}_0 \underset{\sim}{Z}_0' (\underset{\sim}{VARE}).$$

No desenvolvimento do MINQUE, como por exemplo em SEARLE (1979; 1987) estes estimadores são obtidos através da resolução do seguinte sistema expresso na forma matricial, através de:

$$\left\{ \text{tr}(\underset{\sim}{P}_{\underset{\sim}{V}} \underset{\sim}{Z}_i \underset{\sim}{Z}_i' \underset{\sim}{P}_{\underset{\sim}{V}} \underset{\sim}{Z}_j \underset{\sim}{Z}_j') \right\}_{i,j=0}^1 \cdot \underset{\sim}{\sigma}^2 = \left\{ \underset{\sim}{Y}' \underset{\sim}{P}_{\underset{\sim}{V}} \underset{\sim}{Z}_i \underset{\sim}{Z}_i' \underset{\sim}{P}_{\underset{\sim}{V}} \underset{\sim}{Y} \right\}_{i=0}^1$$

onde os índices i, j correspondem as posições matriciais.

Com $\sigma^2_{\sim} = \begin{bmatrix} \text{VARE} \\ \text{VARB} \end{bmatrix}$, e $P_v = V_v^{-1} - V_v^{-1} X(X'V_v^{-1}X)^{-1} X'V_v^{-1}$

função de $V = V_v$, com w_0 e w_1 , usados "a priori" para VARE e VARB, respectivamente.

Mais especificamente o sistema terá a seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \text{tr}(P_v Z_0 Z_0' P_v Z_0 Z_0') & \text{tr}(P_v Z_0 Z_0' P_v Z_1 Z_1') \\ \text{tr}(P_v Z_1 Z_1' P_v Z_0 Z_0') & \text{tr}(P_v Z_1 Z_1' P_v Z_1 Z_1') \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{VARE} \\ \text{VARB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y' P_v Z_0 Z_0' P_v Y_{\sim} \\ Y' P_v Z_1 Z_1' P_v Y_{\sim} \end{bmatrix}.$$

No SAS, o MIVQUE é obtido através do procedimento VARCOMP, com a opção "MIVQUEO", baseada numa escolha particular de V_v , conforme HARTLEY et alii (1978), adotando-se $w_0 = 1$ e $w_1 = 0$, e que produz:

$$V = V_v = I_N \text{ e } P_v = M = I_N - X(X'X)^{-1}X';$$

e o sistema então, será:

$$\left\{ \text{tr}(Z_i' M Z_j (Z_i' M Z_j)') \right\}_{i,j=0}^1 \cdot \sigma^2_{\sim} = \left\{ Y' M Z_i (Y' M Z_i)' \right\}_{i=0}^1$$

ou ainda

$$\begin{bmatrix} \text{tr}(Z_0' M Z_0 (Z_0' M Z_0)') & \text{tr}(Z_0' M Z_1 (Z_0' M Z_1)') \\ \text{tr}(Z_1' M Z_0 (Z_1' M Z_0)') & \text{tr}(Z_1' M Z_1 (Z_1' M Z_1)') \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{VARE} \\ \text{VARB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y' M Z_0 (Y' M Z_0)' \\ Y' M Z_1 (Y' M Z_1)' \end{bmatrix}.$$

3.2.3. Método "ML"

A estimação de componentes da variância pela técnica da máxima verossimilhança foi aplicada ao modelo linear misto geral por HARTLEY & RAO (1967). Assumindo-se que os erros e os efeitos aleatórios sejam normalmente distribuídos e, juntamente com as suposições de (3.1), pode-se demonstrar em relação à (9), que:

$$Y \sim N(X\theta, V).$$

Nestas condições, a função de verossimilhança será dada por:

$$L = (2\pi)^{-(1/2)N} |V|^{-1/2} \exp \left[-1/2 (Y - X\theta)' V^{-1} (Y - X\theta) \right].$$

onde, $|V|$ é o determinante de V .

Maximizando L com relação a θ e aos componentes da variância $VARB$ e $VARE$, que ocorrem em V , obtém-se um sistema de equações em θ , $VARB$ e $VARE$. Estas equações podem ser encontradas por exemplo em SEARLE (1987) e para os componentes em particular são dadas por:

$$\text{tr}(V^{-1}Z_i Z_i') = (Y - X\theta)' V^{-1} Z_i Z_i' V^{-1} (Y - X\theta), \quad i=0,1$$

ou ainda

$$\left\{ \text{tr}(V^{-1}Z_i Z_i' V^{-1}Z_j Z_j') \right\}_{i,j=0}^1 \cdot \sigma^2 = \left\{ Y' P Z_i Z_i' P Y \right\}_{i=0}^1$$

$$\text{com } P = V^{-1} - V^{-1} X (X' V^{-1} X)^{-1} X' V^{-1}$$

e mais explicitamente:

$$\begin{bmatrix} \text{tr}(V^{-1}Z_0 Z_0' V^{-1}Z_0 Z_0') & \text{tr}(V^{-1}Z_0 Z_0' V^{-1}Z_1 Z_1') \\ \text{tr}(V^{-1}Z_1 Z_1' V^{-1}Z_0 Z_0') & \text{tr}(V^{-1}Z_1 Z_1' V^{-1}Z_1 Z_1') \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{VARE} \\ \text{VARB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y' P Z_0 Z_0' P Y \\ Y' P Z_1 Z_1' P Y \end{bmatrix}$$

A não ser com dados balanceados e mesmo assim em poucos casos, não existe em geral uma forma explícita para a solução do sistema anterior. Portanto, o processo de resolução deve ser numérico e iterativo, função de valores iniciais para VARE e VARB embutidos em V e por conseguinte em P.

O sistema SAS considera os estimadores obtidos no MIVQUEO, para iniciar o processo de iteração e, se constitui na opção "ML" do procedimento VARCOMP.

3.2.4. Método "REML"

THOMPSON (1962), para dados balanceados em modelos aleatórios, sugeriu estimar os componentes da variância, maximizando a parte da função de verossimilhança invariante em relação à média.

PATTERSON & THOMPSON (1971) estenderam este procedimento para delineamentos em blocos, e propuseram uma metodologia que poderia ser utilizada em qualquer situação desbalanceada.

Ainda dentro deste aspecto, CORBEIL & SEARLE (1976a) apresentam algoritmos específicos.

Em termos gerais, pode-se dizer que se tem uma variação do ML, para modelos mistos. O método então maximiza a função de verossimilhança de um vetor $\underset{\sim}{LY}$, combinação linear das observações, que é invariante em relação a $\underset{\sim}{X}\theta$, considerando o modelo apresentado em (3), isto é:

$$\underset{\sim}{LY} = \underset{\sim}{LX}\theta + \underset{\sim}{LX}_2\underset{\sim}{\beta} + \underset{\sim}{L}\varepsilon,$$

o qual é invariante em relação a $\underset{\sim}{X}\theta$, se e somente se $\underset{\sim}{LX} = \underset{\sim}{0}$.

Com a forma de uma matriz L , descrita em

CORBEIL & SEARLE (1976a) pode-se demonstrar que o sistema de equações para o REML será dado por:

$$\left\{ \text{tr}(PZ_i Z_i' PZ_j Z_j') \right\}_{i,j=0}^1 \cdot \sigma^2 = \left\{ Y' PZ_i Z_i' P Y \right\}_{i=0}^1$$

ou ainda:

$$\begin{bmatrix} \text{tr}(PZ_0 Z_0' PZ_0 Z_0') & \text{tr}(PZ_0 Z_0' PZ_1 Z_1') \\ \text{tr}(PZ_1 Z_1' PZ_0 Z_0') & \text{tr}(PZ_1 Z_1' PZ_1 Z_1') \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{VARE} \\ \text{VARB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y' PZ_0 Z_0' P Y \\ Y' PZ_1 Z_1' P Y \end{bmatrix}$$

Como se salientou para o método ML, somente para poucos casos balanceados existem formas explícitas para a solução deste sistema, por conseguinte o processo de resolução deve ser numérico e iterativo, com valores iniciais para VARB e VARE.

O SAS também neste caso, inicia o processo de iteração com os valores dos componentes, obtidos no método MIVQUEO, e consiste da opção "REML" do procedimento VARCOMP.

3.3. Métodos e Formas de Simulação

Na simulação dos dados em cada modelo em estudo, definiram-se quatro (4) valores de variâncias

associadas ao fator aleatório ($VARB = 0,25; 1,00; 4,00; 9,00$), tomando-se sempre a variância associada ao resíduo igual a um ($VARE = 1,00$). Para cada uma destas variâncias, adotaram-se três (3) valores distintos para número de níveis de efeitos fixos ($A = 2, 4 \text{ e } 6$) e três (3) valores, para o número de níveis de efeitos aleatórios ($B = 4, 6 \text{ e } 10$). Para cada uma das trinta e seis (36), combinações anteriores, consideraram-se três (3) níveis crescentes no grau de desbalanceamento ($DESB = BA, W0 \text{ e } W1$), sendo que um dos níveis, (BA), representa o caso balanceado, o nível (W1) o caso mais desbalanceado e o (W0), um grau intermediário de desbalanceamento. Desta forma, conseguiu-se obter um conjunto de cento e oito (108) combinações diferentes, cada uma delas representando formas das duas estruturas lineares em estudo.

Para cada uma destas cento e oito (108) combinações, foram simulados, cinquenta (50) experimentos.

Desta forma, para cada um dos modelos em estudo, foram simulados cinco mil e quatrocentos (5400) experimentos e no total, um conjunto de dez mil e oitocentos (10800) experimentos.

A simulação de cada um dos experimentos foi feita através de um programa no SAS, utilizando-se a função

RANNOR, na geração dos efeitos aleatórios. Esta função produz valores de uma variável aleatória, normalmente distribuída com média zero (0) e variância um (1), usando a transformação de BOX & MULLER (1958).

Para cada modelo em questão e para cada valor de variância, foi gerado um conjunto básico inicial de cinquenta (50) experimentos balanceados, com o número de níveis de efeitos fixos, igual a seis ($A=6$) e o número de níveis de efeitos aleatórios, igual a dez ($B=10$), e com seis ($K=6$) observações nas subclasses. Nestes casos então, cada observação para um dado experimento era constituída de uma constante (adotou-se $\mu=10$) mais um efeito fixo α_i , (adotou-se $\alpha_1 = 1,80482$; $\alpha_2 = -0,07992$; $\alpha_3 = 0,39658$; $\alpha_4 = -1,08332$; $\alpha_5 = 2,23829$; $\alpha_6 = -0,62423$), que variava dentro do experimento conforme um dos seis (6) níveis considerados, mas permanecia constante de experimento para experimento, mais um efeito aleatório β_j , um de dez (10) valores gerados a partir de uma "semente aleatória" (marco inicial de geração), característica do fator β neste experimento, e mais um erro (ε_{ijk}), sendo um de trezentos e sessenta (360) valores obtidos a partir de uma outra "semente aleatória" que também definia o dado experimento. No geral, tinha-se então um conjunto de cinquenta (50) pares de "sementes", geradores dos efeitos aleatórios e dos resíduos.

Este conjunto de pares de sementes, permaneceu constante para cada relação de variâncias (VARB/VARE) ou para cada valor de VARB, e em cada modelo em estudo.

As estruturas básicas desbalanceadas W0 e W1, partindo-se do conjunto balanceado anterior, foram obtidas para cada experimento, como mostra a Tabela 1, escolhendo-se ao acaso o número de observações das subclasses correspondentes.

A Tabela 1 a seguir, relata o esquema e a forma de obtenção destes experimentos básicos.

Tabela 1 - Número de observações por subclasses, segundo níveis dos fatores de efeitos fixos e aleatórios e o grau de desbalanceamento, dos experimentos básicos.

Fator Fixo (α)	Grau de desbal. (DESB)	Fator Aleatório (β)									
		β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{10}
α_1	BA	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	WO	5	4	6	3	4	5	6	5	3	4
	W1	4	3	6	3	0	5	6	3	2	0
α_2	BA	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	WO	4	6	4	4	4	5	4	3	5	6
	W1	3	6	2	0	1	4	2	0	3	6
α_3	BA	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	WO	5	3	4	5	6	4	4	5	3	6
	W1	2	1	0	4	6	3	2	0	3	2
α_4	BA	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	WO	4	4	6	4	5	4	5	4	5	4
	W1	0	1	6	1	4	3	4	2	0	3
α_5	BA	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	WO	4	4	5	4	6	4	4	6	5	3
	W1	3	2	5	0	6	2	4	6	2	3
α_6	BA	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	WO	5	4	6	5	4	4	4	5	4	4
	W1	4	3	6	4	3	2	1	5	3	0

O esquema apresentado na Tabela 1, deu origem a todas as formas e combinações em estudo. Por exemplo, os cinquenta experimentos com a combinação $VARB = 4,00$; $A = 4$; $B = 6$ e $DESB = W1$, para o modelo hierarárquico, foram obtidos com uma estrutura semelhante a da Tabela 1, organizada em particular, para o modelo hierárquico com $VARB = 4,00$, escolhendo-se aleatoriamente do conjunto básico desbalanceado $W1$, quatro (4) níveis dos seis (6) fixos e seis (6) entre os dez (10) aleatórios.

Este modo de obtenção dos dados, certamente introduz correlação entre as diversas combinações que caracterizam cada forma dos modelos em estudo, mas como em CORBEIL & SEARLE (1976b), se um dos possíveis critérios usados para comparação dos métodos, depender de alguma maneira de algum fator, por exemplo, o número de níveis de efeitos aleatórios B , então este procedimento de obtenção dos dados, exibirá mais prontamente esta dependência, pois que, desta forma controla-se sempre o maior número possível de fontes de variação.

3.4. Critérios de Comparação

Utilizaram-se dois critérios de comparação: o erro quadrático médio e o viés.

3.4.1. Erro Quadrático Médio

O erro quadrático médio é definido em MOOD et alii (1974), como sendo:

$$EQM = E(T - \Theta)^2,$$

onde T é um estimador do parâmetro Θ .

Demonstra-se que:

$$EQM = Var(T) + (E(T) - \Theta)^2,$$

com $Var(T)$ a variância do estimador e $(E(T) - \Theta)$, o viés do estimador.

Como se simularam cinquenta (50) experimentos para cada uma das combinações em cada modelo, o erro quadrático médio, foi estimado para cada método por:

$$\hat{EQM} = \frac{\sum_{\Delta=1}^{50} (\hat{VARI} - VARI)_{\Delta}^2}{50},$$

onde:

$\Delta = 1, 2, 3, \dots, 50$ identifica o experimento

$VARI$ representa o componente a ser estimado ($VARB$ ou $VARE$) e

$\hat{VARI}$, a respectiva estimativa ($\hat{VARB}$ ou $\hat{VARE}$)

3.4.2. Viés

Como visto anteriormente, o viés de um estimador T , em relação a um parâmetro θ por definição é dado por:

$$VIÉS = E(T) - \theta.$$

E com as mesmas especificações, pode-se estimá-lo por:

$$\hat{VIÉS} = \frac{\sum_{\Delta=1}^{50} \hat{(VARI)}_{\Delta}}{50} - \hat{VARI}.$$

onde:

$\Delta = 1, 2, 3, \dots, 50$ identifica o experimento

$VARI$ representa o componente a ser estimado ($VARB$ ou $VARE$) e

$\hat{VARI}$, a respectiva estimativa ($\hat{VARB}$ ou $\hat{VARE}$)

Estes dois critérios são básicos para se avaliar a eficiência de um estimador, o erro quadrático médio, mostra a dispersão das estimativas em torno do seu valor verdadeiro, portanto, à medida que o erro quadrático médio aumenta, diminui a qualidade do estimador.

O viés por sua vez é um indicativo, da posição das estimativas em relação ao seu valor verdadeiro, também, pode-se dizer que a qualidade de um estimador diminui, à medida que o viés cresce em valor absoluto.

Deve-se observar que na obtenção dos estimadores ML ou REML, quando o processo numérico não convergia, descartava-se o experimento. Isto acontecia quando as estimativas de VARE obtidos pelo MIVQUE0 (início do processo de iteração do ML e REML) eram menores do que zero e mais frequentemente no caso do modelo hierárquico com $VARB \geq 4,00$.

No geral houve o descarte de aproximadamente 1% dos experimentos. O cálculo do erro quadrático e viés eram então efetuados sobre os experimentos restantes, procedimento este também adotado em SERAPHIN (1984).

Fizeram-se também, comparações relativas entre os métodos, tomando-se como padrão, o método da Análise da Variância (ANOVA), através das seguintes expressões:

a) Comparações em erro quadrático

$$C_{EQM}^{(MET)} = (1 - \hat{EQM}(MET) / \hat{EQM}(ANOVA)) * 100, \quad (10)$$

onde:

MET representa os métodos: MIVQUEO, REML e ML.

b) Comparações em viés

$$C_{\text{VIES}}^{\text{METD}} = (1 - |\hat{\text{VIÉS}}(\text{METD})| / |\hat{\text{VIÉS}}(\text{ANOVA})|) * 100, \quad (11)$$

onde:

MET, representa os métodos: MIVQUEO, REML e ML;

$|\cdot|$, indica o valor absoluto do viés.

As expressões (10) e (11) indicam o comportamento de cada método, tomando-se como padrão o método ANOVA em qualquer um dos critérios. Valores positivos, mostram um melhor desempenho do método em questão, em relação ao ANOVA, enquanto que, valores negativos, traduzem uma melhor performance do ANOVA.

Nos casos de equivalência, as expressões anulam-se.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados para os erros quadráticos médios e viés, referentes ao fator aleatório e resíduo, obtidos através dos métodos: ANOVA, MIVQUEO, REML e ML, são apresentados para cada uma das combinações dos valores de VARB, A, B e DESB e em cada um dos modelos em estudo.

4.1. Modelo Cruzado Misto

4.1.1. Erro Quadrático Médio Associado ao Fator Aleatório no Modelo Cruzado

A Tabela 2 apresenta os erros quadráticos médios, associados ao fator aleatório no modelo cruzado, para todas as combinações e métodos em estudo.

Além de uma visão pormenorizada dos resultados, observa-se de imediato, que independentemente do método, há acréscimos nos erros à medida em que VARB aumenta, e também nas combinações onde se modifica apenas o

grau de desbalanceamento, observações estas também mencionadas em SERAPHIN (1984).

Nota-se ainda que, com a diminuição do número de níveis de efeitos aleatórios, fixando-se as outras variações, o erro torna-se maior para todos os métodos considerados.

Nas alterações isoladas e crescentes no número de níveis de efeitos fixos, observa-se, para todos os métodos, decréscimos não muito acentuados, no erro quadrático, que ocorrem principalmente para $VARB < 4,00$.

TABELA 2 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos.
(Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,05077	0,05077	0,04544	0,03779
			W0	0,06438	0,06712	0,05757	0,04289
			W1	0,08672	0,09648	0,06937	0,04227
		6	BA	0,03045	0,03045	0,02779	0,02671
			W0	0,03468	0,03627	0,03084	0,02875
			W1	0,04572	0,05659	0,03337	0,02934
		10	BA	0,02120	0,02120	0,02050	0,02075
			W0	0,02515	0,02534	0,02391	0,02358
			W1	0,02995	0,03128	0,03093	0,03021
	4	4	BA	0,04923	0,04923	0,04839	0,03633
			W0	0,05576	0,05438	0,05567	0,03826
			W1	0,07397	0,07184	0,07013	0,04453
		6	BA	0,02593	0,02593	0,02548	0,02423
			W0	0,02877	0,02812	0,02892	0,02598
			W1	0,03200	0,03484	0,03080	0,02821
		10	BA	0,01374	0,01374	0,01357	0,01425
			W0	0,01504	0,01464	0,01525	0,01564
			W1	0,01933	0,02188	0,01979	0,02045

TABELA 2 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos.
(Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,03991	0,03991	0,03955	0,03097
			WO	0,05237	0,05148	0,05302	0,03712
			W1	0,07399	0,07550	0,07054	0,04467
		6	BA	0,02036	0,02036	0,02036	0,02042
			WO	0,02338	0,02288	0,02388	0,02260
			W1	0,02909	0,02954	0,03008	0,02783
		10	BA	0,01165	0,01165	0,01165	0,01243
			WO	0,01278	0,01260	0,01299	0,01371
			W1	0,01602	0,01739	0,01627	0,01726
1,00	2	4	BA	0,53040	0,53040	0,52814	0,46504
			WO	0,57199	0,59600	0,56643	0,47783
			W1	0,61219	0,68686	0,62413	0,49289
		6	BA	0,29528	0,29528	0,29528	0,31233
			WO	0,31075	0,31722	0,31546	0,32621
			W1	0,33764	0,40332	0,34841	0,35440
		10	BA	0,18100	0,18100	0,18100	0,19752
			WO	0,19225	0,19796	0,19156	0,20539
			W1	0,21438	0,27018	0,20648	0,22333

TABELA 2 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB.	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,57061	0,57061	0,56961	0,45456
			W0	0,59286	0,58116	0,60519	0,46240
			W1	0,67605	0,69556	0,68539	0,51308
		6	BA	0,29794	0,29794	0,29794	0,29970
			W0	0,31106	0,30556	0,31921	0,30957
			W1	0,32120	0,35655	0,32695	0,32106
		10	BA	0,16000	0,16000	0,16000	0,17351
			W0	0,16317	0,16160	0,16716	0,17858
			W1	0,19011	0,23689	0,17637	0,18946
	6	4	BA	0,52006	0,52006	0,51990	0,42441
			W0	0,58257	0,57238	0,59345	0,45404
			W1	0,69969	0,73380	0,69064	0,50825
		6	BA	0,26981	0,26981	0,26981	0,27889
			W0	0,28474	0,28027	0,28987	0,28993
			W1	0,31793	0,32757	0,32239	0,31516
		10	BA	0,14993	0,14993	0,14993	0,16375
			W0	0,15409	0,15382	0,15532	0,16876
			W1	0,17738	0,20389	0,16556	0,17941

TABELA 2 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos.
(Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	7,79147	7,79147	7,79147	6,70084
			W0	7,99710	8,26888	7,96586	6,70229
			W1	8,56222	9,19223	8,91374	7,26459
		6	BA	4,23364	4,23364	4,23364	4,47625
			W0	4,29896	4,33888	4,37991	4,55037
			W1	4,80650	5,54829	4,85478	4,88439
		10	BA	2,38432	2,38432	2,38432	2,63708
			W0	2,42328	2,49670	2,41796	2,64723
			W1	2,76046	3,64593	2,42608	2,66678
	4	4	BA	8,29198	8,29198	8,29198	6,73596
			W0	8,30905	8,15190	8,47548	6,74136
			W1	9,00294	9,48540	8,90680	6,95783
		6	BA	4,37403	4,37403	4,37403	4,46671
			W0	4,41220	4,34249	4,51655	4,52366
			W1	4,49139	4,99316	4,51995	4,53218
		10	BA	2,33894	2,33894	2,33894	2,55019
			W0	2,32814	2,23235	2,37561	2,57044
			W1	2,64531	3,36623	2,38262	2,57946

TABELA 2 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	7,97019	7,97019	7,97019	6,54839
			WO	8,29657	8,15074	8,45591	6,72149
			W1	9,25208	9,85696	9,01808	6,99285
		6	BA	4,20094	4,20094	4,20094	4,34523
			WO	4,27841	4,22496	4,34348	4,41665
			W1	4,52908	4,68356	4,55244	4,55495
		10	BA	2,27929	2,27929	2,27929	2,49243
			WO	2,29949	2,31052	2,30529	2,51543
			W1	2,57071	2,99489	2,34514	2,55172
9,00	2	4	BA	39,20881	39,20881	39,20881	33,26137
			WO	39,77978	40,98120	39,68768	33,16287
			W1	41,45214	46,06310	41,61431	34,07632
		6	BA	21,19893	21,19893	21,19893	22,26197
			WO	21,25109	21,37838	21,69079	22,48426
			W1	22,84095	27,49870	22,90117	23,29316
		10	BA	11,65519	11,65519	11,65519	12,86277
			WO	11,71203	12,02759	11,72848	12,85163
			W1	13,13810	17,78686	11,12331	12,21351

TABELA 2 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	41,10422	41,10422	41,10422	33,53038
			WO	40,79989	40,02023	41,62235	33,49318
			W1	43,66214	46,26108	42,85426	34,00225
		6	BA	21,80614	21,80614	21,80614	22,33037
			WO	21,75281	21,41876	22,25827	22,49907
			W1	22,11948	24,59302	22,21522	22,44768
		10	BA	11,63125	11,63125	11,63125	12,67924
			WO	11,51427	11,50731	11,73379	12,72648
			W1	13,00357	16,58223	11,69866	12,68580
	6	4	BA	40,10847	40,10847	40,10847	32,96236
			WO	40,90380	40,19160	41,68635	33,52096
			W1	44,62877	47,78397	43,31394	34,20486
		6	BA	21,27624	21,27624	21,27624	21,96778
			WO	21,49358	21,24879	21,79850	22,23401
			W1	22,32564	23,11011	22,39342	22,59128
		10	BA	11,45165	11,45165	11,45165	12,50557
			WO	11,56543	11,64122	11,57542	12,61194
			W1	12,76731	14,89843	11,61806	12,64129

A Tabela 3 apresenta o comportamento de cada método, em termos do erro quadrático médio, associado ao fator aleatório no modelo cruzado, tomando-se como padrão, o método ANOVA através da expressão (10).

Observa-se destes resultados que quando o número de níveis de efeitos aleatórios é mínimo ($B = 4$): a-) o método ML tem o melhor desempenho; b-) nos casos balanceados, os métodos ANOVA e MIVQUEO equiparam-se, e para $VARB \geq 4,00$, o método REML inclui-se nesta equivalência; c-) no maior grau de desbalanceamento o método MIVQUEO, na maioria das vezes apresenta-se com os maiores erros.

Para $B = 6$ e $VARB = 0,25$, nota-se que: a-) o método ML, no geral é o apresenta os melhores resultados; b-) em situações de balanceamento, os métodos ANOVA e MIVQUEO são iguais, e juntamente com o método REML, caminham para equivalência, à medida em que o número de níveis de efeitos fixos cresce.

Para $B = 6$, $VARB > 0,25$ observa-se que: a-) com dados balanceados, os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML produzem os mesmos resultados e, melhores do que o método

ML; b-) no grau intermediário de desbalanceamento W_0 , os métodos ANOVA e MIVQUEO revezam-se quanto a melhor performance; c-) no maior nível de desbalanceamento W_1 , ocorrem melhores resultados em favor do método ANOVA, e o método MIVQUEO é o que apresenta os maiores erros.

Para $B = 10$, nota-se que: a-) com dados balanceados, os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML, são em geral equivalentes e superam o método ML; b-) no grau intermediário de desbalanceamento, os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML revezam-se, quanto ao melhor comportamento, principalmente para $VARB > 0,25$; c-) no maior desbalanceamento, para $VARB = 0,25$, o método ANOVA é superior, e para $VARB > 0,25$, destaca-se o método REML. No maior grau de desbalanceamento, o método MIVQUEO tem o pior desempenho.

Observa-se ainda nos casos balanceados, o fato dos métodos ANOVA e MIVQUEO apresentarem sempre os mesmos resultados, o que também foi ressaltado em SERAPHIN (1984).

A supremacia do método ML para se estimar o componente associado ao fator aleatório, citada em SWALLOW &

MONAHAN (1984), nas relações entre variâncias menores do que meio, é verificada em parte, para $VARB = 0,25$, pois que, mais evidente é a superioridade deste método nos casos onde o número de níveis de efeitos aleatórios é mínimo.

TABELA 3 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,00	10,51	25,58
			W0	4,25 ⁽⁻⁾	10,58	33,37
			W1	11,25 ⁽⁻⁾	20,01	51,25
		6	BA	0,00	8,73	12,27
			W0	4,58 ⁽⁻⁾	11,06	17,10
			W1	23,76 ⁽⁻⁾	27,03	35,84
		10	BA	0,00	3,31	2,12
			W0	0,73 ⁽⁻⁾	4,92	6,27
			W1	4,43 ⁽⁻⁾	3,28 ⁽⁻⁾	0,87 ⁽⁻⁾
	4	4	BA	0,00	1,71	26,22
			W0	2,49	0,16	31,39
			W1	2,89	5,19	39,80
		6	BA	0,00	1,71	6,53
			W0	2,27	0,53 ⁽⁻⁾	9,68
			W1	8,86 ⁽⁻⁾	3,75	11,84
		10	BA	0,00	1,26	3,75 ⁽⁻⁾
			W0	2,63	1,42 ⁽⁻⁾	4,03 ⁽⁻⁾
			W1	13,17 ⁽⁻⁾	2,37 ⁽⁻⁾	5,77 ⁽⁻⁾

TABELA 3 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,00	0,88	22,38
			WO	1,70	1,24 ⁽⁻⁾	29,12
			W1	2,05 ⁽⁻⁾	4,66	39,62
		6	BA	0,00	0,00	0,27 ⁽⁻⁾
			WO	2,14	2,13 ⁽⁻⁾	3,34
			W1	1,54 ⁽⁻⁾	3,38 ⁽⁻⁾	4,35
		10	BA	0,00	0,00	6,76 ⁽⁻⁾
			WO	1,44	1,60 ⁽⁻⁾	7,25 ⁽⁻⁾
			W1	8,51 ⁽⁻⁾	1,53 ⁽⁻⁾	7,71 ⁽⁻⁾
1,00	2	4	BA	0,00	0,43	12,32
			WO	4,20 ⁽⁻⁾	0,97	16,46
			W1	12,20 ⁽⁻⁾	1,95 ⁽⁻⁾	19,49
		6	BA	0,00	0,00	5,78 ⁽⁻⁾
			WO	2,08 ⁽⁻⁾	1,51 ⁽⁻⁾	4,97 ⁽⁻⁾
			W1	19,45 ⁽⁻⁾	3,19 ⁽⁻⁾	4,97 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	9,13 ⁽⁻⁾
			WO	2,97 ⁽⁻⁾	0,36	6,83 ⁽⁻⁾
			W1	26,03 ⁽⁻⁾	3,69	4,17 ⁽⁻⁾

TABELA 3 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,00	0,17	20,34
			W0	1,97	2,08 ⁽⁻⁾	22,01
			W1	2,89 ⁽⁻⁾	1,38 ⁽⁻⁾	24,11
		6	BA	0,00	0,00	0,59 ⁽⁻⁾
			W0	1,77	2,62 ⁽⁻⁾	0,48 ⁽⁻⁾
			W1	11,01 ⁽⁻⁾	1,79 ⁽⁻⁾	0,04
		10	BA	0,00	0,00	8,44 ⁽⁻⁾
			W0	0,96	2,45 ⁽⁻⁾	9,44 ⁽⁻⁾
			W1	24,61 ⁽⁻⁾	7,23	0,34
	6	4	BA	0,00	0,03	18,39
			W0	1,75	1,87 ⁽⁻⁾	22,06
			W1	4,88 ⁽⁻⁾	1,29	27,36
		6	BA	0,00	0,00	3,37 ⁽⁻⁾
			W0	1,57	1,80 ⁽⁻⁾	1,82 ⁽⁻⁾
			W1	3,03 ⁽⁻⁾	1,40 ⁽⁻⁾	0,87
		10	BA	0,00	0,00	9,22 ⁽⁻⁾
			W0	0,18	0,79 ⁽⁻⁾	9,52 ⁽⁻⁾
			W1	14,94 ⁽⁻⁾	6,67	1,14 ⁽⁻⁾

TABELA 3 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,00	0,00	14,00
			WO	3,40 ⁽⁻⁾	0,39	16,19
			W1	7,36 ⁽⁻⁾	4,11 ⁽⁻⁾	15,16
		6	BA	0,00	0,00	5,73 ⁽⁻⁾
			WO	0,93 ⁽⁻⁾	1,88 ⁽⁻⁾	5,85 ⁽⁻⁾
			W1	15,43 ⁽⁻⁾	1,00 ⁽⁻⁾	1,62 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	10,60 ⁽⁻⁾
			WO	3,03 ⁽⁻⁾	0,22	9,24 ⁽⁻⁾
			W1	32,08 ⁽⁻⁾	12,11	3,39
	4	4	BA	0,00	0,00	18,77
			WO	1,89	2,00 ⁽⁻⁾	18,87
			W1	5,36 ⁽⁻⁾	1,07	22,72
		6	WO	0,00	0,00	2,12 ⁽⁻⁾
			WO	1,58	2,37 ⁽⁻⁾	2,53 ⁽⁻⁾
			W1	11,17 ⁽⁻⁾	0,64 ⁽⁻⁾	0,91 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	9,03 ⁽⁻⁾
			WO	0,25	2,04 ⁽⁻⁾	10,41 ⁽⁻⁾
			W1	27,25 ⁽⁻⁾	9,93	2,49

TABELA 3 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,00	0,00	17,84
			WO	1,76	1,92 ⁽⁻⁾	18,98
			W1	6,54 ⁽⁻⁾	2,53	24,42
		6	BA	0,00	0,00	3,43 ⁽⁻⁾
			WO	1,25	1,52 ⁽⁻⁾	3,23 ⁽⁻⁾
			W1	3,41 ⁽⁻⁾	0,52 ⁽⁻⁾	0,57 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	9,35 ⁽⁻⁾
			WO	0,48 ⁽⁻⁾	0,25 ⁽⁻⁾	9,39 ⁽⁻⁾
			W1	16,50 ⁽⁻⁾	8,77	0,74
9,00	2	4	BA	0,00	0,00	15,17
			WO	3,02 ⁽⁻⁾	0,23	16,63
			W1	11,12 ⁽⁻⁾	0,39 ⁽⁻⁾	17,79
		6	BA	0,00	0,00	5,01 ⁽⁻⁾
			WO	0,60 ⁽⁻⁾	2,07 ⁽⁻⁾	5,80 ⁽⁻⁾
			W1	20,39 ⁽⁻⁾	0,26 ⁽⁻⁾	1,98 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	10,36 ⁽⁻⁾
			WO	2,69 ⁽⁻⁾	0,14 ⁽⁻⁾	9,73 ⁽⁻⁾
			W1	35,38 ⁽⁻⁾	15,34	7,04

TABELA 3 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,00	0,00	18,43
			WO	1,91	2,02 ⁽⁻⁾	17,91
			W1	5,95 ⁽⁻⁾	1,85	22,12
		6	BA	0,00	0,00	2,40 ⁽⁻⁾
			WO	1,54	2,32 ⁽⁻⁾	3,43 ⁽⁻⁾
			W1	11,18 ⁽⁻⁾	0,43 ⁽⁻⁾	1,48 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	9,01 ⁽⁻⁾
			WO	0,06	1,91 ⁽⁻⁾	10,53 ⁽⁻⁾
			W1	27,52 ⁽⁻⁾	10,03	2,44
	6	4	BA	0,00	0,00	17,82
			WO	1,74	1,91 ⁽⁻⁾	18,05
			W1	7,07 ⁽⁻⁾	2,95	23,36
		6	BA	0,00	0,00	3,25 ⁽⁻⁾
			WO	1,14	1,42 ⁽⁻⁾	3,44 ⁽⁻⁾
			W1	3,51 ⁽⁻⁾	0,30 ⁽⁻⁾	1,19 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	9,20 ⁽⁻⁾
			WO	0,66 ⁽⁻⁾	0,09 ⁽⁻⁾	9,05 ⁽⁻⁾
			W1	16,69 ⁽⁻⁾	9,00	0,99

4.1.2. Valor Absoluto do Viés Associado ao Fator Aleatório no Modelo Cruzado

A Tabela 4 mostra o valor absoluto para o viés, associado ao fator aleatório no modelo cruzado, para todas as combinações.

Nota-se que todos os métodos, tornam-se mais tendenciosos para valores crescentes de VARB. Observa-se também em termos do número de níveis de efeitos fixos, fixando-se as outras variações, que os métodos na maioria das vezes, apresentam-se com mais viés, no número mínimo de A.

Nas alterações no número de níveis de efeitos aleatórios, o método ML, mostra tendenciosidade crescente, à medida em que este número diminui.

Quanto ao desbalanceamento, em combinações correspondentes, os métodos ANOVA e MIVQUE0, principalmente este último, exibem tendências de maior viés, quando o número de níveis de efeitos aleatórios é máximo ($B = 10$) e também para $B = 6$, mas com $VARB > 1,00$.

TABELA 4 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,07139	0,07139	0,06189	0,12447
			W0	0,05982	0,06335	0,04693	0,11757
			W1	0,03406	0,04474	0,00965	0,09860
		6	BA	0,06550	0,06550	0,06072	0,10272
			W0	0,06418	0,06479	0,05723	0,10281
			W1	0,06156	0,05971	0,03983	0,09951
		10	BA	0,05831	0,05831	0,05699	0,08330
			W0	0,05796	0,05846	0,05498	0,08347
			W1	0,05545	0,06109	0,05085	0,08805
	4	4	BA	0,04174	0,04174	0,04014	0,10092
			W0	0,01980	0,02214	0,01548	0,08580
			W1	0,01607	0,02787	0,00502	0,08636
		6	BA	0,05612	0,05612	0,05528	0,09343
			W0	0,04595	0,04900	0,04287	0,08513
			W1	0,05537	0,07135	0,04361	0,09354
		10	BA	0,04881	0,04881	0,04848	0,07213
			W0	0,04789	0,05011	0,04605	0,07108
			W1	0,05629	0,07211	0,05074	0,08147

TABELA 4 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,04167	0,04167	0,04099	0,09888
			W0	0,02499	0,02694	0,02301	0,08781
			W1	0,00686	0,00992	0,00215	0,08093
		6	BA	0,05535	0,05535	0,05535	0,09171
			W0	0,05047	0,05205	0,04926	0,08796
			W1	0,05093	0,05818	0,04642	0,09303
		10	BA	0,04587	0,04587	0,04587	0,06861
			W0	0,04918	0,05136	0,04766	0,07103
			W1	0,05573	0,06712	0,05041	0,07809
1,00	2	4	BA	0,23853	0,23853	0,23743	0,44730
			W0	0,21122	0,22167	0,20174	0,42780
			W1	0,18103	0,22227	0,12699	0,39997
		6	BA	0,25090	0,25090	0,25090	0,38832
			W0	0,24339	0,24964	0,23862	0,38268
			W1	0,25408	0,27230	0,23011	0,38995
		10	BA	0,20369	0,20369	0,20369	0,29083
			W0	0,19928	0,20708	0,19390	0,28441
			W1	0,21659	0,26132	0,19059	0,29245

TABELA 4 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,17246	0,17246	0,17196	0,38808
			WO	0,14052	0,14960	0,13284	0,36260
			W1	0,13120	0,16420	0,10359	0,36322
		6	BA	0,21875	0,21875	0,21875	0,35495
			WO	0,20510	0,21548	0,19677	0,33871
			W1	0,23027	0,27702	0,19355	0,34574
		10	BA	0,17812	0,17812	0,17812	0,26388
			WO	0,17681	0,18459	0,17126	0,25886
			W1	0,21047	0,26617	0,17100	0,26519
	6	4	BA	0,17341	0,17341	0,17334	0,38593
			WO	0,14420	0,15144	0,13757	0,36164
			W1	0,10841	0,11874	0,10301	0,35250
		6	BA	0,21963	0,21963	0,21963	0,35363
			WO	0,21156	0,21730	0,20630	0,34387
			W1	0,21246	0,23204	0,19557	0,34301
		10	BA	0,17294	0,17294	0,17294	0,25798
			WO	0,18054	0,18799	0,17432	0,26001
			W1	0,20382	0,24206	0,17395	0,26419

TABELA 4 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,83357	0,83357	0,83357	1,64520
			WO	0,78660	0,82433	0,75317	1,59280
			W1	0,88061	1,11361	0,68843	1,58229
		6	BA	0,94887	0,94887	0,94887	1,46996
			WO	0,94021	0,96963	0,91344	1,44497
			W1	1,06683	1,30072	0,86775	1,42616
		10	BA	0,73632	0,73632	0,73632	1,07019
			WO	0,73614	0,77437	0,70690	1,04612
			W1	0,84641	1,04874	0,69218	1,04461
	4	4	BA	0,69460	0,69460	0,69460	1,53024
			WO	0,65504	0,69099	0,62270	1,48000
			W1	0,64787	0,75136	0,55609	1,45329
		6	BA	0,87119	0,87119	0,87119	1,39864
			WO	0,86267	0,90088	0,82871	1,36529
			W1	0,95244	1,10835	0,81087	1,35988
		10	BA	0,67852	0,67852	0,67852	1,01424
			WO	0,68312	0,71090	0,66256	1,00103
			W1	0,82094	1,02421	0,65022	0,99636

TABELA 4 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,69759	0,69759	0,69759	1,52924
			WO	0,65304	0,68077	0,62643	1,47829
			W1	0,57742	0,61200	0,55874	1,44476
		6	BA	0,87457	0,87537	0,87537	1,40006
			WO	0,86872	0,89086	0,84742	1,37814
			W1	0,88022	0,94263	0,82094	1,36410
		10	BA	0,66891	0,66891	0,66891	1,00435
			WO	0,69334	0,72065	0,66942	1,00562
			W1	0,78475	0,92285	0,66241	1,00378
9,00	2	4	BA	1,77621	1,77621	1,77621	3,60217
			WO	1,72539	1,80837	1,65118	3,51625
			W1	1,78771	2,13383	1,50964	3,44916
		6	BA	2,08303	2,08303	2,08303	3,24843
			WO	2,08825	2,15670	2,02446	3,20416
			W1	2,28500	2,61781	1,96217	3,17101
		10	BA	1,59134	1,59134	1,59134	2,33969
			WO	1,61195	1,70167	1,54214	2,29782
			W1	1,81547	2,31084	1,41972	2,19975

TABELA 4 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB.	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	1,56436	1,56436	1,56436	3,43256
			WO	1,53366	1,61432	1,46006	3,35802
			W1	1,54640	1,75794	1,35513	3,30265
		6	BA	1,95984	1,95984	1,95984	3,13918
			WO	1,97263	2,05623	1,89691	3,08879
			W1	2,17110	2,49969	1,86501	3,07161
		10	BA	1,50134	1,50134	1,50134	2,25477
			WO	1,52069	1,58038	1,47629	2,23339
			W1	1,83427	2,27545	1,45218	2,21809
	6	4	BA	1,56939	1,56939	1,56939	3,43308
			WO	1,52655	1,58767	1,46740	3,35896
			W1	1,40101	1,47278	1,36118	3,29639
		6	BA	1,96731	1,96731	1,96731	3,14335
			WO	1,97334	2,02252	1,92556	3,10990
			W1	2,00756	2,13702	1,88269	3,08220
		10	BA	1,48728	1,48728	1,48728	2,24088
			WO	1,54156	1,60102	1,48893	2,24316
			W1	1,74535	2,04482	1,47339	2,23365

A Tabela 5, mostra o comportamento de cada método, em termos do valor absoluto do viés associado ao fator aleatório no modelo cruzado, adotando-se como padrão, o método ANOVA através da expressão (11).

Nota-se que os melhores resultados são do método REML, e esta supremacia é mais nítida no desbalanceamento.

Nos casos balanceados, os métodos ANOVA e MIVQUEO são equivalentes e à medida em que VARB, A e B crescem, o método REML também inclui-se nesta equivalência.

O método ML mostra-se o mais tendencioso como em SWALLOW & MONAHAN (1984), com mais ênfase para este caso, quando o número de níveis de efeitos aleatórios é mínimo. Para $B = 10$, $A < 6$ e $VARB > 1$, o método MIVQUEO, divide com o método ML o pior desempenho.

TABELA 5 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,00	13,30	74,36 ⁽⁻⁾
			W0	5,89 ⁽⁻⁾	21,56	96,53 ⁽⁻⁾
			W1	31,37 ⁽⁻⁾	71,67	189,50 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	7,29	56,83 ⁽⁻⁾
			W0	0,96 ⁽⁻⁾	10,83	60,20 ⁽⁻⁾
			W1	3,01	35,30	61,65 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	2,26	42,87 ⁽⁻⁾
			W0	0,87 ⁽⁻⁾	5,14	44,02 ⁽⁻⁾
			W1	10,16 ⁽⁻⁾	8,30	58,78 ⁽⁻⁾
	4	4	BA	0,00	3,84	141,80 ⁽⁻⁾
			W0	11,81 ⁽⁻⁾	21,80	333,38 ⁽⁻⁾
			W1	73,48 ⁽⁻⁾	68,75	437,45 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	1,50	66,48 ⁽⁻⁾
			W0	6,63 ⁽⁻⁾	6,71	85,25 ⁽⁻⁾
			W1	28,84 ⁽⁻⁾	21,24	68,92 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,69	47,76 ⁽⁻⁾
			W0	4,64 ⁽⁻⁾	3,84	48,44 ⁽⁻⁾
			W1	28,11 ⁽⁻⁾	9,85	44,74 ⁽⁻⁾

TABELA 5 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,00	1,64	137,30 ⁽⁻⁾
			WO	7,82 ⁽⁻⁾	7,90	251,42 ⁽⁻⁾
			W1	44,56 ⁽⁻⁾	68,67	1079,45 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	65,70 ⁽⁻⁾
			WO	3,13 ⁽⁻⁾	2,39	74,28 ⁽⁻⁾
			W1	14,24 ⁽⁻⁾	8,84	82,67 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	49,59 ⁽⁻⁾
			WO	4,44 ⁽⁻⁾	3,09	44,43 ⁽⁻⁾
			W1	20,44 ⁽⁻⁾	9,55	40,13 ⁽⁻⁾
1,00	2	4	BA	0,00	0,00	87,52 ⁽⁻⁾
			WO	4,95 ⁽⁻⁾	4,49	102,54 ⁽⁻⁾
			W1	22,78 ⁽⁻⁾	29,85	120,94 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	54,77 ⁽⁻⁾
			WO	2,57 ⁽⁻⁾	1,96	57,23 ⁽⁻⁾
			W1	7,17 ⁽⁻⁾	9,44	53,47 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	42,78 ⁽⁻⁾
			WO	3,91 ⁽⁻⁾	2,70	42,72 ⁽⁻⁾
			W1	20,65 ⁽⁻⁾	12,01	35,03 ⁽⁻⁾

TABELA 5 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,00	0,29	125,03 ⁽⁻⁾
			W0	6,46 ⁽⁻⁾	5,46	158,04 ⁽⁻⁾
			W1	25,15 ⁽⁻⁾	21,05	176,84 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	62,26 ⁽⁻⁾
			W0	5,06 ⁽⁻⁾	4,06	65,15 ⁽⁻⁾
			W1	20,30 ⁽⁻⁾	15,95	50,15 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	48,15 ⁽⁻⁾
			W0	4,40 ⁽⁻⁾	3,14	46,41 ⁽⁻⁾
			W1	26,47 ⁽⁻⁾	18,75	26,00 ⁽⁻⁾
	6	4	BA	0,00	0,04	122,55 ⁽⁻⁾
			W0	5,02 ⁽⁻⁾	4,60	150,79 ⁽⁻⁾
			W1	9,53 ⁽⁻⁾	4,98	225,16 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	61,01 ⁽⁻⁾
			W0	2,72 ⁽⁻⁾	2,49	62,54 ⁽⁻⁾
			W1	9,22 ⁽⁻⁾	7,95	61,45 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	49,17 ⁽⁻⁾
			W0	4,13 ⁽⁻⁾	3,45	44,02 ⁽⁻⁾
			W1	18,76 ⁽⁻⁾	14,66	29,62 ⁽⁻⁾

TABELA 5 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,00	0,00	97,37 ⁽⁻⁾
			W0	4,80 ⁽⁻⁾	4,25	102,49 ⁽⁻⁾
			W1	26,46 ⁽⁻⁾	21,82	79,68 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	54,92 ⁽⁻⁾
			W0	3,13 ⁽⁻⁾	2,85	53,69 ⁽⁻⁾
			W1	21,92 ⁽⁻⁾	18,66	33,68 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	45,34 ⁽⁻⁾
			W0	5,19 ⁽⁻⁾	3,97	42,11 ⁽⁻⁾
			W1	23,91 ⁽⁻⁾	18,22	23,42 ⁽⁻⁾
	4	4	BA	0,00	0,00	120,30 ⁽⁻⁾
			W0	5,49 ⁽⁻⁾	4,94	125,94 ⁽⁻⁾
			W1	15,97 ⁽⁻⁾	14,17	124,32 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	60,54 ⁽⁻⁾
			W0	4,43 ⁽⁻⁾	3,94	58,26 ⁽⁻⁾
			W1	16,37 ⁽⁻⁾	14,86	42,78 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	49,48 ⁽⁻⁾
			W0	4,07 ⁽⁻⁾	3,01	46,54 ⁽⁻⁾
			W1	24,76 ⁽⁻⁾	20,80	21,37 ⁽⁻⁾

TABELA 5 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,00	0,00	119,22 ⁽⁻⁾
			WO	4,25 ⁽⁻⁾	4,07	126,37 ⁽⁻⁾
			W1	5,99 ⁽⁻⁾	3,24	150,21 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	59,94 ⁽⁻⁾
			WO	2,55 ⁽⁻⁾	2,45	58,64 ⁽⁻⁾
			W1	7,09 ⁽⁻⁾	6,74	54,97 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	50,15 ⁽⁻⁾
			WO	3,94 ⁽⁻⁾	3,45	45,04 ⁽⁻⁾
			W1	17,60 ⁽⁻⁾	15,59	27,91 ⁽⁻⁾
9,00	2	4	BA	0,00	0,00	102,80 ⁽⁻⁾
			WO	4,81 ⁽⁻⁾	4,30	103,79 ⁽⁻⁾
			W1	19,36 ⁽⁻⁾	15,55	92,94 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	55,95 ⁽⁻⁾
			WO	3,28 ⁽⁻⁾	3,05	53,44 ⁽⁻⁾
			W1	14,56 ⁽⁻⁾	14,13	38,78 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	47,03 ⁽⁻⁾
			WO	5,57 ⁽⁻⁾	4,33	42,55 ⁽⁻⁾
			W1	27,29 ⁽⁻⁾	21,80	21,17 ⁽⁻⁾

TABELA 5 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,00	0,00	119,42 ⁽⁻⁾
			W0	5,26 ⁽⁻⁾	4,80	118,95 ⁽⁻⁾
			W1	13,68 ⁽⁻⁾	12,37	113,57 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	60,18 ⁽⁻⁾
			W0	4,24 ⁽⁻⁾	3,84	56,58 ⁽⁻⁾
			W1	15,13 ⁽⁻⁾	14,10	41,48 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	50,18 ⁽⁻⁾
			W0	3,93 ⁽⁻⁾	2,92	46,87 ⁽⁻⁾
			W1	24,05 ⁽⁻⁾	20,83	20,93 ⁽⁻⁾
	6	4	BA	0,00	0,00	118,75 ⁽⁻⁾
			W0	4,00 ⁽⁻⁾	3,87	120,04 ⁽⁻⁾
			W1	5,12 ⁽⁻⁾	2,84	135,29 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	59,78 ⁽⁻⁾
			W0	2,49 ⁽⁻⁾	2,42	57,60 ⁽⁻⁾
			W1	6,45 ⁽⁻⁾	6,22	53,53 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	50,67 ⁽⁻⁾
			W0	3,86 ⁽⁻⁾	3,41	45,51 ⁽⁻⁾
			W1	17,16 ⁽⁻⁾	15,58	27,98 ⁽⁻⁾

4.1.3. Erro Quadrático Médio Associado ao Resíduo no Modelo Cruzado

A Tabela 6 contém os erros quadráticos médios, associados ao resíduo no modelo cruzado, para todas as combinações.

Observam-se acréscimos nestes erros, independentemente do método, aumentando-se o grau de desbalanceamento em combinações correspondentes, e também diminuindo-se o número de níveis de efeitos fixos ou aleatórios, fixando-se em cada caso, as outras variações.

Quanto às alterações em VARB, nota-se que no desbalanceamento, o método MIVQUEO é bastante sensível e apresenta maior intensidade de erro à medida que se aumentam os valores de VARB, fato este, também observado em SWALLOW & MONAHAN (1984).

TABELA 6 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,05496	0,05496	0,05225	0,04726
			W0	0,06788	0,06659	0,06467	0,05689
			W1	0,15379	0,14635	0,13592	0,11498
		6	BA	0,02864	0,02864	0,02766	0,02709
			W0	0,03850	0,03802	0,03823	0,03804
			W1	0,07538	0,07218	0,06782	0,06349
		10	BA	0,01938	0,01938	0,01933	0,01925
			W0	0,02998	0,02919	0,02980	0,02996
			W1	0,05001	0,04435	0,04752	0,04580
	4	4	BA	0,02186	0,02186	0,02167	0,01965
			W0	0,02494	0,02452	0,02437	0,02117
			W1	0,07511	0,07264	0,07194	0,05874
		6	BA	0,01342	0,01342	0,01328	0,01350
			W0	0,01526	0,01523	0,01516	0,01589
			W1	0,03619	0,03460	0,03524	0,03502
		10	BA	0,00871	0,00871	0,00871	0,00904
			W0	0,01276	0,01243	0,01278	0,01315
			W1	0,02636	0,02562	0,02611	0,02609

TABELA 6 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,01248	0,01248	0,01242	0,01179
			WO	0,01674	0,01677	0,01678	0,01559
			W1	0,04616	0,04627	0,04525	0,04313
		6	BA	0,00830	0,00830	0,00830	0,00890
			WO	0,00993	0,01012	0,00994	0,01088
			W1	0,02186	0,02203	0,02180	0,02335
		10	BA	0,00549	0,00549	0,00549	0,00612
			WO	0,00685	0,00684	0,00685	0,00768
			W1	0,01364	0,01368	0,01363	0,01521
1,00	2	4	BA	0,05496	0,05496	0,05435	0,04941
			WO	0,06789	0,06535	0,06723	0,05984
			W1	0,15379	0,15701	0,14536	0,12387
		6	BA	0,02864	0,02864	0,02864	0,02814
			WO	0,03850	0,03932	0,03856	0,03826
			W1	0,07538	0,08635	0,07354	0,06849
		10	BA	0,01938	0,01938	0,01938	0,01929
			WO	0,02997	0,02904	0,02996	0,03003
			W1	0,05001	0,05761	0,04925	0,04797

TABELA 6 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,02186	0,02186	0,02184	0,01992
			WO	0,02494	0,02416	0,02495	0,02159
			W1	0,07510	0,08012	0,07517	0,08187
		6	BA	0,01342	0,01342	0,01342	0,01366
			WO	0,01526	0,01573	0,01526	0,01593
			W1	0,03619	0,04349	0,03615	0,03557
		10	BA	0,00871	0,00871	0,00871	0,00903
			WO	0,01276	0,01214	0,01275	0,01310
			W1	0,02635	0,03522	0,02631	0,02635
	6	4	BA	0,01248	0,01248	0,01249	0,01189
			WO	0,01674	0,01703	0,01674	0,01542
			W1	0,04616	0,05601	0,04626	0,04386
		6	BA	0,00830	0,00830	0,00830	0,00890
			WO	0,00993	0,01053	0,00993	0,01084
			W1	0,02186	0,02609	0,02185	0,02335
		10	BA	0,00549	0,00549	0,00549	0,00612
			WO	0,00685	0,00699	0,00685	0,00768
			W1	0,01363	0,01948	0,01364	0,01528

TABELA 6 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,05496	0,05496	0,05496	0,05045
			WO	0,06788	0,11118	0,06793	0,06152
			W1	0,15915	0,41943	0,15955	0,13996
		6	BA	0,02864	0,02864	0,02864	0,02814
			WO	0,03850	0,07761	0,03852	0,03822
			W1	0,07454	0,30999	0,07452	0,07027
		10	BA	0,01938	0,01938	0,01938	0,01929
			WO	0,02997	0,04883	0,02997	0,03005
			W1	0,05000	0,29034	0,04979	0,04853
	4	4	BA	0,02186	0,02186	0,02186	0,01990
			WO	0,02494	0,02953	0,02495	0,02159
			W1	0,07510	0,20485	0,07537	0,06146
		6	BA	0,01342	0,01342	0,01342	0,01366
			WO	0,01526	0,03038	0,01526	0,01593
			W1	0,03618	0,22133	0,03616	0,03558
		10	BA	0,00871	0,00871	0,00871	0,00903
			WO	0,01276	0,02235	0,01276	0,01310
			W1	0,02635	0,20566	0,02634	0,02641

TABELA 6 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,01248	0,01248	0,01248	0,01185
			WO	0,01674	0,02238	0,01674	0,01542
			W1	0,04616	0,17092	0,04618	0,04320
		6	BA	0,00830	0,00830	0,00830	0,00890
			WO	0,00993	0,01563	0,00993	0,01084
			W1	0,02186	0,08205	0,02185	0,02340
		10	BA	0,00549	0,00549	0,00549	0,00612
			WO	0,00685	0,01270	0,00685	0,00768
			W1	0,01364	0,10831	0,01363	0,01530
9,00	2	4	BA	0,05496	0,05496	0,05496	0,05045
			WO	0,06789	0,35859	0,06791	0,06147
			W1	0,15379	1,75828	0,15476	0,13548
		6	BA	0,02864	0,02864	0,02864	0,02814
			WO	0,03850	0,25735	0,03851	0,03821
			W1	0,07607	1,83234	0,07613	0,07231
		10	BA	0,01938	0,01938	0,01938	0,01929
			WO	0,02997	0,15465	0,02998	0,03005
			W1	0,05053	1,30310	0,05042	0,04904

TABELA 6 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,02186	0,02186	0,02186	0,01990
			WO	0,02494	0,06101	0,02494	0,02158
			W1	0,07510	0,73285	0,07515	0,06086
		6	BA	0,01342	0,01342	0,01342	0,01366
			WO	0,01526	0,10071	0,01526	0,01593
			W1	0,03619	1,01260	0,03617	0,03560
		10	BA	0,00871	0,00871	0,00871	0,00903
			WO	0,01276	0,08013	0,01276	0,01310
			W1	0,02635	0,95815	0,02635	0,02642
	6	4	BA	0,01248	0,01248	0,01248	0,01185
			WO	0,01696	0,04506	0,01696	0,01614
			W1	0,04616	0,62951	0,04618	0,04332
		6	BA	0,00830	0,00830	0,00830	0,00890
			WO	0,01002	0,03590	0,01002	0,01122
			W1	0,02186	0,32012	0,02185	0,02341
		10	BA	0,00549	0,00549	0,00549	0,00612
			WO	0,00690	0,03946	0,00690	0,00782
			W1	0,01364	0,48813	0,01363	0,01530

A Tabela 7 apresenta o comportamento de cada método, em termos do erro quadrático médio associado ao resíduo no modelo cruzado, tomando-se como padrão o método ANOVA, com a utilização da expressão (10).

Destes resultados, observa-se que quando o número de níveis de efeitos aleatórios é mínimo ($B = 4$): a-) o método ML mostra-se superior aos demais; b-) nos casos balanceados, os métodos ANOVA e MIVQUEO produzem os mesmos valores, e se $VARB \geq 4,00$, o método REML inclui-se também nesta equivalência; c-) para $VARB \geq 1$, nos casos desbalanceados o pior desempenho é do método MIVQUEO.

Para $B \geq 6$ e $A = 2$, nota-se que: a-) nos casos balanceados, existe uma tendência de aproximação entre os métodos com uma pequena supremacia do método ML; b-) no maior grau de desbalanceamento, prevalece na maioria das vezes o melhor desempenho do método ML, e o método MIVQUEO, apresenta erros crescentes em função de acréscimos em $VARB$.

Para $B \geq 6$ e $A > 2$, observa-se que: a-) nos casos balanceados, predominam os mesmos resultados para os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML, e estes superam o método ML; b-) no desbalanceamento, destacam-se os métodos ANOVA e

REML, com melhores resultados. Aqui também, o método MIVQUEO, mostra-se bastante sensível, principalmente no maior grau de desbalanceamento W_1 .

Deve-se observar ainda, que como em SERAPHIN (1984), em casos balanceados, os métodos ANOVA e MIVQUEO sempre apresentam os mesmos resultados.

TABELA 7 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo Cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,00	4,94	14,02
			W0	1,90	4,74	16,19
			W1	4,84	11,62	25,24
		6	BA	0,00	3,43	5,41
			W0	1,25	0,70	1,20
			W1	4,25	10,03	15,78
		10	BA	0,00	0,27	0,66
			W0	2,63	0,57	0,05
			W1	11,31	4,98	8,41
	4	4	BA	0,00	0,86	10,10
			W0	1,70	2,28	15,13
			W1	3,28	4,21	21,79
		6	BA	0,00	1,09	0,58 ⁽⁻⁾
			W0	0,19	0,68	4,14 ⁽⁻⁾
			W1	4,40	2,61	3,22
		10	BA	0,00	0,00	3,75 ⁽⁻⁾
			W0	2,55	0,18 ⁽⁻⁾	3,08 ⁽⁻⁾
			W1	2,80	0,94	1,01

TABELA 7 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo Cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,00	0,45	5,53
			W0	0,22 ⁽⁻⁾	0,24 ⁽⁻⁾	6,85
			W1	0,24 ⁽⁻⁾	1,96	6,56
		6	BA	0,00	0,00	7,24 ⁽⁻⁾
			W0	1,91 ⁽⁻⁾	0,10 ⁽⁻⁾	9,58 ⁽⁻⁾
			W1	0,81 ⁽⁻⁾	0,24	6,83 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	11,51 ⁽⁻⁾
			W0	0,11	0,03 ⁽⁻⁾	12,09 ⁽⁻⁾
			W1	0,33 ⁽⁻⁾	0,03	11,55 ⁽⁻⁾
1,00	2	4	BA	0,00	1,12	10,11
			W0	3,74	0,97	11,85
			W1	2,10 ⁽⁻⁾	5,48 ⁽⁻⁾	19,45
		6	BA	0,00	0,00	1,74
			W0	2,13 ⁽⁻⁾	0,14	0,63
			W1	14,55 ⁽⁻⁾	2,45	9,15
		10	BA	0,00	0,00	0,46
			W0	3,13	0,05	0,18 ⁽⁻⁾
			W1	15,21 ⁽⁻⁾	1,52	4,07

TABELA 7 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo Cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,00	0,06	8,87
			W0	3,14	0,02 ⁽⁻⁾	13,45
			W1	6,68 ⁽⁻⁾	0,09 ⁽⁻⁾	17,62
		6	BA	0,00	0,00	1,78 ⁽⁻⁾
			W0	3,08 ⁽⁻⁾	0,00	4,41 ⁽⁻⁾
			W1	20,19 ⁽⁻⁾	0,09	1,70
		10	BA	0,00	0,00	3,64 ⁽⁻⁾
			W0	4,82	0,04	2,69 ⁽⁻⁾
			W1	33,64 ⁽⁻⁾	0,16	0,01
	6	4	BA	0,00	0,07 ⁽⁻⁾	4,74
			W0	1,72 ⁽⁻⁾	0,01 ⁽⁻⁾	7,87
			W1	21,35 ⁽⁻⁾	0,23 ⁽⁻⁾	4,98
		6	BA	0,00	0,00	7,24 ⁽⁻⁾
			W0	6,06 ⁽⁻⁾	0,00	9,18 ⁽⁻⁾
			W1	19,35 ⁽⁻⁾	0,04	6,84 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	11,51 ⁽⁻⁾
			W0	2,09 ⁽⁻⁾	0,00	12,10 ⁽⁻⁾
			W1	42,91 ⁽⁻⁾	0,03 ⁽⁻⁾	12,07 ⁽⁻⁾

TABELA 7 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo Cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,00	0,00	8,21
			W0	63,78 ⁽⁻⁾	0,06 ⁽⁻⁾	9,38
			W1	163,55 ⁽⁻⁾	0,26 ⁽⁻⁾	12,06
		6	BA	0,00	0,00	1,74
			W0	101,60 ⁽⁻⁾	0,05 ⁽⁻⁾	0,73
			W1	315,89 ⁽⁻⁾	0,02	5,72
		10	BA	0,00	0,00	0,46
			W0	62,91 ⁽⁻⁾	0,00	0,25 ⁽⁻⁾
			W1	480,66 ⁽⁻⁾	0,43	2,94
	4	4	BA	0,00	0,00	8,96
			W0	18,39 ⁽⁻⁾	0,01 ⁽⁻⁾	13,44
			W1	172,75 ⁽⁻⁾	0,35 ⁽⁻⁾	18,17
		6	BA	0,00	0,00	1,78 ⁽⁻⁾
			W0	99,13 ⁽⁻⁾	0,00	4,40 ⁽⁻⁾
			W1	511,67 ⁽⁻⁾	0,07	1,67
		10	BA	0,00	0,00	3,64 ⁽⁻⁾
			W0	75,22 ⁽⁻⁾	0,00	2,69 ⁽⁻⁾
			W1	680,36 ⁽⁻⁾	0,04	0,21 ⁽⁻⁾

TABELA 7 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo Cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,00	0,00	5,07
			W0	33,69 ⁽⁻⁾	0,01	7,88
			W1	270,28 ⁽⁻⁾	0,05 ⁽⁻⁾	6,41
		6	BA	0,00	0,00	7,24 ⁽⁻⁾
			W0	57,42 ⁽⁻⁾	0,00	9,17 ⁽⁻⁾
			W1	275,42 ⁽⁻⁾	0,03	7,07 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	11,51 ⁽⁻⁾
			W0	85,41 ⁽⁻⁾	0,01	12,09 ⁽⁻⁾
			W1	694,36 ⁽⁻⁾	0,01	12,21 ⁽⁻⁾
9,00	2	4	BA	0,00	0,00	8,21
			W0	428,22 ⁽⁻⁾	0,03 ⁽⁻⁾	9,45
			W1	1043,29 ⁽⁻⁾	0,63 ⁽⁻⁾	11,91
		6	BA	0,00	0,00	1,74
			W0	568,44 ⁽⁻⁾	0,03 ⁽⁻⁾	0,76
			W1	2308,60 ⁽⁻⁾	0,08 ⁽⁻⁾	4,95
		10	BA	0,00	0,00	0,46
			W0	415,92 ⁽⁻⁾	0,00	0,25 ⁽⁻⁾
			W1	2478,89 ⁽⁻⁾	0,22	2,95

TABELA 7 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo Cruzado).

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,00	0,00	8,96
			W0	144,57 ⁽⁻⁾	0,01	13,49
			W1	875,79 ⁽⁻⁾	0,07 ⁽⁻⁾	18,96
		6	BA	0,00	0,00	1,78 ⁽⁻⁾
			W0	560,07	0,00	4,41 ⁽⁻⁾
			W1	2698,26 ⁽⁻⁾	0,05	1,62
		10	BA	0,00	0,00	3,63 ⁽⁻⁾
			W0	528,08 ⁽⁻⁾	0,00	2,69 ⁽⁻⁾
			W1	3535,62 ⁽⁻⁾	0,00	0,25 ⁽⁻⁾
	6	4	BA	0,00	0,00	5,05
			W0	165,67 ⁽⁻⁾	0,01	4,85
			W1	1263,82 ⁽⁻⁾	0,04 ⁽⁻⁾	6,15
		6	BA	0,00	0,00	7,24 ⁽⁻⁾
			W0	258,15 ⁽⁻⁾	0,00	11,94 ⁽⁻⁾
			W1	1364,64 ⁽⁻⁾	0,02	7,11 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	11,52 ⁽⁻⁾
			W0	472,23 ⁽⁻⁾	0,00	13,40 ⁽⁻⁾
			W1	3479,76 ⁽⁻⁾	0,01	12,20 ⁽⁻⁾

4.1.4. Valor Absoluto do Viés Associado ao Resíduo no Modelo Cruzado

A Tabela 8 apresenta o valor absoluto para o viés associado ao resíduo no modelo cruzado, para todas as combinações em estudo.

Pode-se observar que o método ML, em variações apenas de desbalanceamento, mostra-se mais tendencioso, como ocorreu em SWALLOW & MONAHAN (1984). Nota-se o mesmo comportamento para o método MIVQUEO, em situações onde $VARB > 0,25$.

Nas alterações isoladas e crescentes em VARB, o método MIVQUEO é bastante sensível em casos não balanceados, apresentando-se com maior viés nos valores superiores desta variação.

TABELA 8 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,05754	0,05754	0,05012	0,02191
			W0	0,05101	0,05378	0,04230	0,00169
			W1	0,09085	0,09851	0,06757	0,00907
		6	BA	0,00444	0,00444	0,00853	0,02563
			W0	0,02081	0,02027	0,02649	0,05019
			W1	0,00854	0,00701	0,00722	0,04187
		10	BA	0,01045	0,01045	0,01165	0,02111
			W0	0,02708	0,02662	0,02941	0,04221
			W1	0,00709	0,00204	0,00819	0,02511
	4	4	BA	0,02559	0,02559	0,02433	0,01003
			W0	0,03713	0,03898	0,03516	0,01206
			W1	0,06167	0,07025	0,05262	0,03431
		6	BA	0,00821	0,00821	0,00893	0,03077
			W0	0,01231	0,00969	0,01335	0,04250
			W1	0,00592	0,00729	0,00856	0,05499
		10	BA	0,01471	0,01471	0,01502	0,02794
			W0	0,01400	0,01194	0,01444	0,03187
			W1	0,01289	0,00119	0,01171	0,03969

TABELA 8 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,01485	0,01485	0,01432	0,02231
			W0	0,02252	0,02406	0,02224	0,02755
			W1	0,01688	0,01901	0,01211	0,07407
		6	BA	0,00934	0,00934	0,00934	0,03292
			W0	0,00836	0,00700	0,00834	0,04009
			W1	0,01047	0,00459	0,01056	0,06115
		10	BA	0,02078	0,02078	0,02078	0,03476
			W0	0,01924	0,01724	0,01923	0,03805
			W1	0,02544	0,01534	0,02475	0,05408
1,00	2	4	BA	0,05754	0,05754	0,05667	0,03188
			W0	0,05101	0,05922	0,05008	0,01509
			W1	0,09085	0,12043	0,08053	0,02643
		6	BA	0,00445	0,00445	0,00445	0,01952
			W0	0,02081	0,01542	0,02057	0,04114
			W1	0,00854	0,02364	0,00593	0,02583
		10	BA	0,01044	0,01044	0,01044	0,01945
			W0	0,02708	0,01991	0,02705	0,03917
			W1	0,00709	0,03305	0,00604	0,02305

TABELA 8 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,02559	0,02559	0,02520	0,00841
			WO	0,03713	0,04426	0,03715	0,00916
			W1	0,06167	0,08561	0,06147	0,02314
		6	BA	0,00822	0,00822	0,00822	0,02978
			WO	0,01230	0,00339	0,01224	0,04124
			W1	0,00592	0,03274	0,00540	0,05158
		10	BA	0,01471	0,01471	0,01471	0,02756
			WO	0,01399	0,00686	0,01400	0,03139
			W1	0,01289	0,03668	0,01240	0,04117
	6	4	BA	0,01485	0,01485	0,01479	0,02156
			WO	0,02252	0,02820	0,02255	0,02701
			W1	0,01688	0,02410	0,01694	0,06814
		6	BA	0,00934	0,00934	0,00934	0,03292
			WO	0,00836	0,00342	0,00835	0,04010
			W1	0,01047	0,00540	0,01037	0,06173
		10	BA	0,02078	0,02078	0,02078	0,03476
			WO	0,01923	0,01240	0,01924	0,03809
			W1	0,02544	0,00847	0,02525	0,05541

TABELA 8 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,05754	0,05754	0,05754	0,03350
			W0	0,05102	0,08066	0,05103	0,01723
			W1	0,08968	0,25677	0,08972	0,03854
		6	BA	0,00444	0,00444	0,00444	0,01952
			W0	0,02080	0,00451	0,02071	0,04150
			W1	0,01110	0,20494	0,01179	0,01990
		10	BA	0,01045	0,01045	0,01045	0,01945
			W0	0,02708	0,00800	0,02707	0,03922
			W1	0,00709	0,17447	0,00675	0,02474
	4	4	BA	0,02559	0,02559	0,02559	0,00786
			W0	0,03713	0,06535	0,03715	0,00924
			W1	0,06168	0,13679	0,06175	0,02549
		6	BA	0,00822	0,00822	0,00822	0,02978
			W0	0,01230	0,02054	0,01228	0,04132
			W1	0,00592	0,12304	0,00579	0,05286
		10	BA	0,01472	0,01472	0,01472	0,02756
			W0	0,01399	0,01149	0,01400	0,03140
			W1	0,01289	0,16794	0,01278	0,04197

TABELA 8 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,01486	0,01486	0,01486	0,02139
			W0	0,02253	0,04423	0,02254	0,02708
			W1	0,01689	0,04110	0,01699	0,06970
		6	BA	0,00934	0,00934	0,00934	0,03292
			W0	0,00837	0,01066	0,00836	0,04013
			W1	0,01047	0,04012	0,01042	0,06232
		10	BA	0,02077	0,02077	0,02077	0,03476
			W0	0,01923	0,00578	0,01924	0,03810
			W1	0,02545	0,09701	0,02540	0,05578
9,00	2	4	BA	0,05755	0,05755	0,05755	0,03352
			W0	0,05101	0,11621	0,05103	0,01716
			W1	0,09085	0,33908	0,09154	0,03951
		6	BA	0,00444	0,00444	0,00444	0,01952
			W0	0,02080	0,03808	0,02075	0,04156
			W1	0,00133	0,27716	0,00191	0,02988
		10	BA	0,01044	0,01044	0,01044	0,01945
			W0	0,02708	0,05521	0,02707	0,03923
			W1	0,00405	0,44047	0,00386	0,02212

TABELA 8 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,02559	0,02559	0,02559	0,00785
			WO	0,03713	0,10046	0,03715	0,00927
			W1	0,06167	0,21518	0,06187	0,02599
		6	BA	0,00821	0,00821	0,00821	0,02978
			WO	0,01231	0,05955	0,01230	0,04133
			W1	0,00592	0,26583	0,00586	0,05307
		10	BA	0,01472	0,01472	0,01472	0,02756
			WO	0,01399	0,04074	0,01400	0,03139
			W1	0,01289	0,37960	0,01284	0,04210
	6	4	BA	0,01486	0,01486	0,01486	0,02139
			WO	0,01699	0,06481	0,01699	0,03236
			W1	0,01688	0,06714	0,01693	0,07036
		6	BA	0,00934	0,00934	0,00934	0,03292
			WO	0,01302	0,02924	0,01301	0,04464
			W1	0,01047	0,09448	0,01045	0,06244
		10	BA	0,02077	0,02077	0,02077	0,03476
			WO	0,02185	0,03264	0,02185	0,04066
			W1	0,02545	0,24013	0,02543	0,05584

A Tabela 9, mostra o comportamento de cada método, em termos do valor absoluto do viés associado ao resíduo no modelo cruzado, tomando-se como padrão o método ANOVA, através da expressão (11).

Examinando-se esta tabela, nota-se que quando o número de níveis de efeitos aleatórios é mínimo ($B = 4$): a-) para $A < 6$, a melhor performance é do método ML e no desbalanceamento, o método MIVQUEO tem o pior desempenho. Ainda com $A < 6$, em situações balanceadas, os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML equiparam-se nos maiores valores de VARB; b-) para $A = 6$, os métodos ANOVA e REML revezam-se nos melhores resultados, enquanto que para dados balanceados, estes métodos, juntamente com o MIVQUEO, tendem a ser coincidentes.

Para $B > 4$, observa-se que: a-) se $VARB \leq 1,00$, o método MIVQUEO apresenta-se em geral menos tendencioso, apesar de que no maior grau de desbalanceamento, o método REML, em algumas vezes, mostrar-se também com menos viés; b-) para $VARB > 1,00$, destacam-se os métodos ANOVA e REML, e os métodos MIVQUEO e ML tornam-se bastante viesados; c-) nos casos balanceados,

novamente os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML, caminham para equivalência à medida em que VARB aumenta.

TABELA 9 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,00	12,90	61,93
			WO	5,43 ⁽⁻⁾	17,08	96,68
			W1	8,43 ⁽⁻⁾	25,63	90,01
		6	BA	0,00	92,12 ⁽⁻⁾	476,95 ⁽⁻⁾
			WO	2,58	27,32 ⁽⁻⁾	141,22 ⁽⁻⁾
			W1	17,92	15,50	390,23 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	11,54 ⁽⁻⁾	102,03 ⁽⁻⁾
			WO	1,68	8,59 ⁽⁻⁾	55,86 ⁽⁻⁾
			W1	71,36	15,51 ⁽⁻⁾	254,12 ⁽⁻⁾
	4	4	BA	0,00	4,89	60,81
			WO	4,97 ⁽⁻⁾	5,31	67,53
			W1	13,91 ⁽⁻⁾	14,68	44,36
		6	BA	0,00	8,74 ⁽⁻⁾	274,56 ⁽⁻⁾
			WO	21,29	8,48 ⁽⁻⁾	275,32 ⁽⁻⁾
			W1	23,18 ⁽⁻⁾	44,66 ⁽⁻⁾	828,92 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	2,09 ⁽⁻⁾	89,89 ⁽⁻⁾
			WO	14,68	3,20 ⁽⁻⁾	127,74 ⁽⁻⁾
			W1	90,78	9,12	207,93 ⁽⁻⁾

TABELA 9 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,00	3,58	50,24 ⁽⁻⁾
			W0	6,84 ⁽⁻⁾	1,27	22,31 ⁽⁻⁾
			W1	12,63 ⁽⁻⁾	28,24	338,76 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	252,41 ⁽⁻⁾
			W0	16,31	0,26	379,29 ⁽⁻⁾
			W1	56,18	0,90 ⁽⁻⁾	484,09 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	67,29 ⁽⁻⁾
			W0	10,41	0,07	97,78 ⁽⁻⁾
			W1	39,71	2,72	112,56 ⁽⁻⁾
1,00	2	4	BA	0,00	1,50	44,60
			W0	16,00 ⁽⁻⁾	1,83	70,42
			W1	32,56 ⁽⁻⁾	11,36	70,91
		6	BA	0,00	0,00	338,74 ⁽⁻⁾
			W0	25,88	1,16	97,71 ⁽⁻⁾
			W1	176,86 ⁽⁻⁾	30,61	202,41 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	86,29 ⁽⁻⁾
			W0	26,46	0,10	44,65 ⁽⁻⁾
			W1	366,41 ⁽⁻⁾	14,82	225,29 ⁽⁻⁾

TABELA 9 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,00	1,50	67,14
			WO	19,20 ⁽⁻⁾	0,06 ⁽⁻⁾	75,33
			W1	38,82 ⁽⁻⁾	0,32	62,47
		6	BA	0,00	0,00	262,41 ⁽⁻⁾
			WO	72,44	0,52	235,20 ⁽⁻⁾
			W1	433,23 ⁽⁻⁾	8,79	771,61 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	87,29 ⁽⁻⁾
			WO	50,95	0,04 ⁽⁻⁾	124,31 ⁽⁻⁾
			W1	184,49 ⁽⁻⁾	3,79	219,38 ⁽⁻⁾
	6	4	BA	0,00	0,40	45,16 ⁽⁻⁾
			WO	25,19 ⁽⁻⁾	0,12 ⁽⁻⁾	19,92 ⁽⁻⁾
			W1	42,78 ⁽⁻⁾	0,37 ⁽⁻⁾	303,65 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	252,59 ⁽⁻⁾
			WO	59,16	0,17	379,48 ⁽⁻⁾
			W1	48,39	0,99	489,57 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	67,31 ⁽⁻⁾
			WO	35,51	0,02 ⁽⁻⁾	98,06 ⁽⁻⁾
			W1	66,71	0,75	117,79 ⁽⁻⁾

TABELA 9 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,00	0,00	41,77
			W0	58,11 ⁽⁻⁾	0,03 ⁽⁻⁾	66,23
			W1	186,33 ⁽⁻⁾	0,05 ⁽⁻⁾	57,03
		6	BA	0,00	0,00	339,64 ⁽⁻⁾
			W0	78,32	0,46	99,46 ⁽⁻⁾
			W1	1747,01 ⁽⁻⁾	6,23 ⁽⁻⁾	79,33 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	86,18 ⁽⁻⁾
			W0	70,47	0,04	44,83 ⁽⁻⁾
			W1	2361,48 ⁽⁻⁾	4,80	249,01 ⁽⁻⁾
	4	4	BA	0,00	0,00	69,30
			W0	76,01 ⁽⁻⁾	0,06 ⁽⁻⁾	75,10
			W1	121,78 ⁽⁻⁾	0,12 ⁽⁻⁾	58,67
		6	BA	0,00	0,00	262,44 ⁽⁻⁾
			W0	66,96 ⁽⁻⁾	0,16	235,88 ⁽⁻⁾
			W1	1979,72 ⁽⁻⁾	2,16	793,58 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	87,27 ⁽⁻⁾
			W0	17,86	0,09 ⁽⁻⁾	124,42 ⁽⁻⁾
			W1	1202,67 ⁽⁻⁾	0,84	225,54 ⁽⁻⁾

TABELA 9 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,00	0,00	43,99 ⁽⁻⁾
			W0	96,32 ⁽⁻⁾	0,02 ⁽⁻⁾	20,18 ⁽⁻⁾
			W1	143,37 ⁽⁻⁾	0,59 ⁽⁻⁾	312,77 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	252,61 ⁽⁻⁾
			W0	27,44 ⁽⁻⁾	0,02	379,70 ⁽⁻⁾
			W1	283,23 ⁽⁻⁾	0,46	495,26 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	67,33 ⁽⁻⁾
			W0	69,93	0,00	98,04 ⁽⁻⁾
			W1	281,25 ⁽⁻⁾	0,19	119,19 ⁽⁻⁾
9,00	2	4	BA	0,00	0,00	41,76
			W0	127,82 ⁽⁻⁾	0,04 ⁽⁻⁾	66,35
			W1	273,24 ⁽⁻⁾	0,77 ⁽⁻⁾	56,51
		6	BA	0,00	0,00	339,33 ⁽⁻⁾
			W0	83,05 ⁽⁻⁾	0,25	99,75 ⁽⁻⁾
			W1	20687,55 ⁽⁻⁾	42,97 ⁽⁻⁾	2141,30 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	86,23 ⁽⁻⁾
			W0	103,91 ⁽⁻⁾	0,01	44,88 ⁽⁻⁾
			W1	10784,07 ⁻	4,59	446,55 ⁽⁻⁾

TABELA 9 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo cruzado)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,00	0,00	69,31
			W0	170,57 ⁽⁻⁾	0,05 ⁽⁻⁾	75,03
			W1	248,91 ⁽⁻⁾	0,31 ⁽⁻⁾	57,86
		6	BA	0,00	0,00	262,50 ⁽⁻⁾
			W0	383,94 ⁽⁻⁾	0,08	235,88 ⁽⁻⁾
			W1	4388,89 ⁽⁻⁾	1,05	796,22 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	87,28 ⁽⁻⁾
			W0	191,18 ⁽⁻⁾	0,06 ⁽⁻⁾	124,39 ⁽⁻⁾
			W1	2844,90 ⁽⁻⁾	0,36	226,59 ⁽⁻⁾
	6	4	BA	0,00	0,00	43,98 ⁽⁻⁾
			W0	281,56 ⁽⁻⁾	0,00	90,52 ⁽⁻⁾
			W1	297,71 ⁽⁻⁾	0,27 ⁽⁻⁾	316,78 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	252,58 ⁽⁻⁾
			W0	124,64 ⁽⁻⁾	0,05	242,88 ⁽⁻⁾
			W1	802,54 ⁽⁻⁾	0,17	496,50 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	67,34 ⁽⁻⁾
			W0	49,37 ⁽⁻⁾	0,00	86,07 ⁽⁻⁾
			W1	843,59 ⁽⁻⁾	0,08	119,44 ⁽⁻⁾

4.2. Modelo Hierárquico Misto

4.2.1. Erro Quadrático Médio Associado ao Fator Aleatório no Modelo Hierárquico

A Tabela 10 traz os erros quadráticos médios associados ao fator aleatório no modelo hierárquico, segundo todas as combinações e métodos em estudo.

Pode-se notar, para todos os métodos, que os erros aumentam em função de valores crescentes de VARB, quando são mantidas fixas todas as outras variações. Observa-se também, que em combinações correspondentes, predominantemente e independente do método, os erros crescem em função do desbalanceamento, fatos também verificados nos modelos estudados por SERAPHIN (1984).

Quanto às variações no número de níveis de efeitos fixos, não se alterando as demais, todos os métodos mostram-se com menos erros, à medida que este número cresce.

Nas variações no número de níveis de efeitos aleatórios, fixando-se as restantes, os métodos apresentam menores erros quadráticos quando $B = 10$.

TABELA 10 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,05035	0,05035	0,04649	0,03347
			WO	0,08514	0,08097	0,07254	0,04454
			W1	0,21472	0,21410	0,14526	0,06515
		6	BA	0,04165	0,04165	0,03784	0,02716
			WO	0,05994	0,06640	0,05238	0,03643
			W1	0,12749	0,15589	0,09709	0,05878
		10	BA	0,01802	0,01802	0,01802	0,01611
			WO	0,01950	0,02320	0,01828	0,01698
			W1	0,04604	0,05891	0,03964	0,03330
	4	4	BA	0,03002	0,03002	0,02968	0,02751
			WO	0,05079	0,05156	0,04580	0,03958
			W1	0,09951	0,12052	0,06690	0,04208
		6	BA	0,02652	0,02652	0,02609	0,02181
			WO	0,03614	0,03747	0,03535	0,02799
			W1	0,07496	0,09932	0,06174	0,04228
		10	BA	0,01436	0,01436	0,01436	0,01258
			WO	0,01945	0,02038	0,01920	0,01723
			W1	0,03795	0,04671	0,03500	0,02921

TABELA 10 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,01598	0,01598	0,01588	0,02192
			W0	0,02514	0,02450	0,02385	0,02938
			W1	0,05548	0,06083	0,04486	0,04123
		6	BA	0,01410	0,01410	0,01410	0,01446
			W0	0,01811	0,01876	0,01763	0,01857
			W1	0,04834	0,05880	0,04302	0,03762
		10	BA	0,00725	0,00725	0,00725	0,00766
			W0	0,00964	0,00987	0,00952	0,01044
			W1	0,01857	0,02050	0,01796	0,01798
1,00	2	4	BA	0,36489	0,36489	0,36241	0,28985
			W0	0,40954	0,39273	0,42780	0,33722
			W1	0,78576	0,89881	0,67338	0,48193
		6	BA	0,34336	0,34336	0,34038	0,25804
			W0	0,41350	0,51694	0,37299	0,27892
			W1	0,55597	0,74108	0,50335	0,36670
		10	BA	0,14721	0,14721	0,14721	0,13351
			W0	0,16695	0,21920	0,14700	0,13688
			W1	0,18703	0,25319	0,16914	0,15898

TABELA 10 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,19089	0,19089	0,19089	0,21704
			W0	0,23041	0,23665	0,23435	0,26434
			W1	0,37653	0,50768	0,33321	0,39029
		6	BA	0,20640	0,20640	0,20640	0,17976
			W0	0,23786	0,26274	0,23004	0,19984
			W1	0,37849	0,51052	0,33583	0,27389
		10	BA	0,09889	0,09889	0,09889	0,09084
			W0	0,11603	0,13075	0,11215	0,10463
			W1	0,19094	0,29011	0,16013	0,13758
	6	4	BA	0,10718	0,10718	0,10718	0,16680
			W0	0,13060	0,13495	0,13181	0,19569
			W1	0,20705	0,24848	0,20015	0,31888
		6	BA	0,10950	0,10950	0,10950	0,11808
			W0	0,12010	0,13527	0,11638	0,12553
			W1	0,24534	0,34185	0,21412	0,19604
		10	BA	0,05266	0,05266	0,05266	0,06032
			W0	0,06078	0,06724	0,05972	0,06931
			W1	0,09615	0,13593	0,08570	0,09212

TABELA 10 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	4,41086	4,41086	4,41086	3,68145
			W0	4,37571	4,38430	4,55890	3,79696
			W1	5,64342	6,21343	5,96137	5,05166
		6	BA	4,31778	4,31778	4,31778	3,35753
			W0	4,32544	4,87261	4,15116	3,36778
			W1	5,06184	5,99150	5,29208	4,19419
		10	BA	1,89246	1,89246	1,89246	1,73825
			W0	1,83113	2,13720	1,70367	1,65140
			W1	1,96027	2,54243	1,95221	1,91324
	4	4	BA	2,10751	2,10751	2,10751	2,67151
			W0	2,20448	2,32031	2,19873	2,80223
			W1	3,27757	4,44455	2,91866	3,88026
		6	BA	2,43450	2,43450	2,43450	2,21619
			W0	2,66959	3,04589	2,51613	2,27686
			W1	3,48563	4,08917	3,31668	2,96785
		10	BA	1,10265	1,10265	1,10265	1,08299
			W0	1,23834	1,46592	1,15582	1,13987
			W1	1,10572	1,36597	1,18122	1,28117

TABELA 10 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	1,25717	1,25717	1,25717	2,09544
			WO	1,35162	1,46904	1,34973	2,19455
			W1	1,78479	2,24224	1,72321	3,12861
		6	BA	1,32773	1,32773	1,32773	1,51899
			WO	1,41202	1,64691	1,32771	1,51256
			W1	2,17310	2,71466	2,01329	2,08569
		10	BA	0,63306	0,63306	0,63306	0,77431
			WO	0,69565	0,80690	0,66481	0,81347
			W1	0,90174	1,33552	0,78366	0,95501
9,00	2	4	BA	20,90661	20,90661	20,90661	17,74155
			WO	18,91882	18,66392	19,98771	17,90395
			W1	21,95878	23,05288	25,62359	23,60935
		6	BA	20,52545	20,52545	20,52545	16,11701
			WO	18,39011	22,16902	17,30247	15,47697
			W1	29,51401	49,96723	23,82729	19,48336
		10	BA	9,14106	9,14106	9,14106	8,43316
			WO	9,98121	13,15407	8,56906	8,26116
			W1	14,71233	25,73900	10,15271	9,37228

TABELA 10 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	9,75301	9,75301	9,75301	12,86481
			WO	9,84535	10,19713	9,86369	13,37407
			W1	11,62595	12,82396	12,47639	19,94072
		6	BA	11,29371	11,29371	11,29371	10,52247
			WO	12,44126	14,09418	11,69027	10,83576
			W1	15,19967	16,25501	14,78381	14,49725
		10	BA	5,07417	5,07417	5,07417	5,13324
			WO	4,59840	4,86662	4,62509	5,09989
			W1	4,64798	5,44254	4,98274	5,74588
	6	4	BA	5,93463	5,93463	5,93463	10,12800
			WO	5,94588	6,19294	6,05446	10,60724
			W1	8,03735	9,35965	8,16624	15,09596
		6	BA	6,25324	6,25324	6,25324	7,34127
			WO	6,73502	7,59710	6,39259	7,53703
			W1	9,58939	11,25178	9,19569	10,10061
		10	BA	3,00259	3,00259	3,00259	3,75960
			WO	3,28341	3,73503	3,14342	3,93354
			W1	3,32574	4,78419	3,09168	4,29600

A Tabela 11 traz o comportamento de cada método, em termos do erro quadrático médio associado ao fator aleatório no modelo hierárquico, adotando-se como padrão, o método ANOVA através da expressão (10).

Nota-se que, quando o número de níveis de efeitos fixos é mínimo ($A = 2$): a-) o método ML, apresenta-se com o menor erro quadrático, na grande maioria das situações; b-) nos casos balanceados com $VARB < 4,00$, os métodos ANOVA e MIVQUEO produzem os mesmos resultados e com $B = 10$, o método REML inclui-se nesta equivalência. Se $VARB \geq 4,00$, ainda nos casos balanceados, os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML, são sempre equivalentes; c-) no maior grau de desbalanceamento, o método MIVQUEO tem frequentemente o pior desempenho.

Quando o número de níveis de efeitos fixos é quatro ($A = 4$), nota-se que: a-) para $VARB = 0,25$, o método ML, ainda apresenta o menor erro quadrático, mas para $VARB > 0,25$, os métodos ANOVA e REML dividem com o ML os melhores resultados; b-) nos casos balanceados com $VARB = 0,25$, os métodos ANOVA e MIVQUEO são equivalentes e se $B = 10$, o método REML, como anteriormente, também inclui-se nesta

igualdade. Ainda nos casos balanceados, mas com $VARB > 0,25$, os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML produzem sempre os mesmos resultados; c-) no desbalanceamento, o método MIVQUEO, e o método ML particularmente para $B = 4$ e $VARB > 0,25$, são os mais inferiores.

Para $A = 6$, observa-se que: a-) predominantemente, os melhores resultados ficam com os métodos REML e ANOVA, principalmente o primeiro, quando $VARB > 0,25$; b-) nos casos balanceados, praticamente em todas as situações, os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML são equivalentes; c-) no desbalanceamento, o método MIVQUEO, e o método ML para $B = 4$, são os que apresentam em geral os piores desempenhos.

Ainda pode-se observar, como em SERAPHIN (1984), que os métodos ANOVA e MIVQUEO são sempre equivalentes nos casos balanceados. Quanto ao melhor desempenho do método ML, nas relações entre variâncias menores do que meio, observado em SWALLOW & MONAHAN (1984), no modelo hierárquico verifica-se em parte para $VARB = 0,25$, pois a condição mais abrangente de superioridade deste

método, ocorre quando o número de níveis de efeitos fixos é mínimo.

Nota-se também, como em SWALLOW & MONAHAN (1984), que o método MIVQUEO apresenta mais intensidade de erro para acréscimos nas relações entre variâncias, principalmente no maior grau de desbalanceamento.

TABELA 11 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,00	7,66	33,53
			WO	4,90	14,80	47,69
			W1	0,29	32,35	69,66
		6	BA	0,00	9,13	34,79
			WO	10,79 ⁽⁻⁾	12,61	39,21
			W1	22,28 ⁽⁻⁾	23,84	53,89
		10	BA	0,00	0,00	10,63
			WO	18,97 ⁽⁻⁾	6,24	12,91
			W1	27,96 ⁽⁻⁾	13,89	27,66
	4	4	BA	0,00	1,14	8,37
			WO	1,51 ⁽⁻⁾	9,82	22,07
			W1	21,11 ⁽⁻⁾	32,77	57,71
		6	BA	0,00	1,60	17,75
			WO	3,68 ⁽⁻⁾	2,18	22,55
			W1	32,49 ⁽⁻⁾	17,64	43,60
		10	BA	0,00	0,00	12,42
			WO	4,79 ⁽⁻⁾	1,27	11,40
			W1	23,07 ⁽⁻⁾	7,78	23,04

TABELA 11 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,00	0,62	37,20 ⁽⁻⁾
			W0	2,54	5,14	16,87 ⁽⁻⁾
			W1	9,65 ⁽⁻⁾	19,13	25,68
		6	BA	0,00	0,00	2,54 ⁽⁻⁾
			W0	3,57 ⁽⁻⁾	2,63	2,52 ⁽⁻⁾
			W1	21,64 ⁽⁻⁾	11,00	22,17
		10	BA	0,00	0,00	5,59 ⁽⁻⁾
			W0	2,33 ⁽⁻⁾	1,23	8,24 ⁽⁻⁾
			W1	10,42 ⁽⁻⁾	3,30	3,14
1,00	2	4	BA	0,00	0,68	20,57
			W0	4,11	4,46 ⁽⁻⁾	17,66
			W1	14,39 ⁽⁻⁾	14,30	38,67
		6	BA	0,00	0,87	24,85
			W0	25,02 ⁽⁻⁾	9,80	32,55
			W1	33,30 ⁽⁻⁾	9,46	34,04
		10	BA	0,00	0,00	9,31
			W0	31,30 ⁽⁻⁾	11,95	18,01
			W1	35,37 ⁽⁻⁾	9,57	15,00

TABELA 11 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,00	0,00	13,70 ⁽⁻⁾
			W0	2,71 ⁽⁻⁾	1,71 ⁽⁻⁾	14,73 ⁽⁻⁾
			W1	34,83 ⁽⁻⁾	11,50	3,65 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	12,91
			W0	10,46 ⁽⁻⁾	3,29	15,98
			W1	34,88 ⁽⁻⁾	11,27	27,64
		10	BA	0,00	0,00	8,14
			W0	12,68 ⁽⁻⁾	3,35	9,82
			W1	51,94 ⁽⁻⁾	16,13	27,94
	6	4	BA	0,00	0,00	55,62 ⁽⁻⁾
			W0	3,32 ⁽⁻⁾	0,92 ⁽⁻⁾	49,83 ⁽⁻⁾
			W1	20,01 ⁽⁻⁾	3,33	54,01 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	7,83 ⁽⁻⁾
			W0	12,63 ⁽⁻⁾	3,09	4,52 ⁽⁻⁾
			W1	39,33 ⁽⁻⁾	12,73	20,09
		10	BA	0,00	0,00	14,56 ⁽⁻⁾
			W0	10,63 ⁽⁻⁾	1,74	14,04 ⁽⁻⁾
			W1	41,37 ⁽⁻⁾	10,86	4,18

TABELA 11 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,00	0,00	16,54
			WO	0,20 ⁽⁻⁾	4,19 ⁽⁻⁾	13,23
			W1	10,10 ⁽⁻⁾	5,63 ⁽⁻⁾	10,49
		6	BA	0,00	0,00	22,24
			WO	12,65 ⁽⁻⁾	4,03	22,14
			W1	18,37 ⁽⁻⁾	4,55 ⁽⁻⁾	17,14
		10	BA	0,00	0,00	8,15
			WO	16,71 ⁽⁻⁾	6,96	9,82
			W1	29,70 ⁽⁻⁾	0,41	2,40
	4	4	BA	0,00	0,00	26,76 ⁽⁻⁾
			WO	5,25 ⁽⁻⁾	0,26	27,12 ⁽⁻⁾
			W1	35,61 ⁽⁻⁾	10,95	18,39 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	8,97
			WO	14,10 ⁽⁻⁾	5,75	14,71
			W1	17,31 ⁽⁻⁾	4,85	14,85
		10	BA	0,00	0,00	1,78
			WO	18,38 ⁽⁻⁾	6,66	7,95
			W1	23,54 ⁽⁻⁾	6,83 ⁽⁻⁾	15,87 ⁽⁻⁾

TABELA 11 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,00	0,00	66,68 ⁽⁻⁾
			WO	8,69 ⁽⁻⁾	0,14	62,36 ⁽⁻⁾
			W1	25,63 ⁽⁻⁾	3,45	75,29 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	14,41 ⁽⁻⁾
			WO	16,63 ⁽⁻⁾	5,97	7,12 ⁽⁻⁾
			W1	24,92 ⁽⁻⁾	7,35	4,02
		10	BA	0,00	0,00	22,31 ⁽⁻⁾
			WO	15,99 ⁽⁻⁾	4,43	16,94 ⁽⁻⁾
			W1	48,11 ⁽⁻⁾	13,09	5,91 ⁽⁻⁾
9,00	2	4	BA	0,00	0,00	15,14
			WO	1,35	5,65 ⁽⁻⁾	5,36
			W1	4,98 ⁽⁻⁾	16,69 ⁽⁻⁾	7,52 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	21,48
			WO	20,55 ⁽⁻⁾	5,91	15,84
			W1	69,30 ⁽⁻⁾	19,27	33,99
		10	BA	0,00	0,00	7,74
			WO	31,79 ⁽⁻⁾	14,15	17,23
			W1	74,95 ⁽⁻⁾	30,99	36,30

TABELA 11 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,00	0,00	31,91 ⁽⁻⁾
			WO	3,57 ⁽⁻⁾	0,19 ⁽⁻⁾	35,84 ⁽⁻⁾
			W1	10,30 ⁽⁻⁾	7,31 ⁽⁻⁾	71,52 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	6,83
			WO	13,29 ⁽⁻⁾	6,04	12,90
			W1	6,94 ⁽⁻⁾	2,74	4,62
		10	BA	0,00	0,00	1,16 ⁽⁻⁾
			WO	5,83 ⁽⁻⁾	0,58 ⁽⁻⁾	10,91 ⁽⁻⁾
			W1	17,09 ⁽⁻⁾	7,20 ⁽⁻⁾	23,62 ⁽⁻⁾
	6	4	BA	0,00	0,00	70,66 ⁽⁻⁾
			WO	4,16 ⁽⁻⁾	1,83 ⁽⁻⁾	78,40 ⁽⁻⁾
			W1	16,45 ⁽⁻⁾	1,60 ⁽⁻⁾	87,82 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	17,40 ⁽⁻⁾
			WO	12,80 ⁽⁻⁾	5,08	11,91 ⁽⁻⁾
			W1	17,34 ⁽⁻⁾	4,11	5,33 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	25,21 ⁽⁻⁾
			WO	13,75 ⁽⁻⁾	4,26	19,80 ⁽⁻⁾
			W1	43,85 ⁽⁻⁾	7,04	29,17 ⁽⁻⁾

4.2.2. Valor Absoluto do Viés Associado ao Fator Aleatório no Modelo Hierárquico

A Tabela 12 apresenta o valor absoluto para o viés associado ao fator aleatório no modelo hierárquico, para todas as combinações.

Observa-se que os métodos mostram-se em geral, mais tendenciosos, à medida em que se aumentam os valores de VARB, em combinações correspondentes.

Nas mudanças no número de níveis de efeitos aleatórios, o método ML apresenta-se com aumentos crescentes de viés, à medida em que se diminui o valor de B.

No desbalanceamento, o método ML com raras exceções sempre mostra tendenciosidade crescente.

TABELA 12 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,00234	0,00234	0,00354	0,09792
			W0	0,01121	0,01368	0,01522	0,09617
			W1	0,01006	0,00705	0,06303	0,08644
		6	BA	0,01827	0,01827	0,02428	0,04702
			W0	0,02214	0,03362	0,03162	0,04755
			W1	0,03821	0,06770	0,06374	0,04132
		10	BA	0,00425	0,00425	0,00425	0,03770
			W0	0,00178	0,00841	0,00184	0,04726
			W1	0,01811	0,03974	0,02187	0,04150
	4	4	BA	0,01237	0,01237	0,01171	0,10958
			W0	0,02040	0,02501	0,01158	0,12422
			W1	0,02390	0,01044	0,01550	0,13712
		6	BA	0,00558	0,00558	0,00637	0,06282
			W0	0,00582	0,00939	0,00714	0,06850
			W1	0,03369	0,05921	0,04089	0,06637
		10	BA	0,01167	0,01167	0,01167	0,03097
			W0	0,00732	0,01306	0,00760	0,03994
			W1	0,02619	0,04647	0,02943	0,04243

TABELA 12 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,01368	0,01368	0,01349	0,11435
			W0	0,01789	0,01763	0,01485	0,12942
			W1	0,01242	0,00164	0,00487	0,16070
		6	BA	0,00207	0,00207	0,00207	0,06750
			W0	0,00310	0,00565	0,00374	0,07669
			W1	0,02318	0,03742	0,02609	0,09612
		10	BA	0,00050	0,00050	0,00050	0,04179
			W0	0,00506	0,00121	0,00464	0,05123
			W1	0,00570	0,01548	0,00906	0,06081
1,00	2	4	BA	0,00653	0,00653	0,00532	0,29747
			W0	0,01950	0,03050	0,00628	0,31601
			W1	0,00913	0,00108	0,00928	0,38325
		6	BA	0,04322	0,04322	0,04465	0,15666
			W0	0,06721	0,09769	0,05907	0,15367
			W1	0,05102	0,09323	0,05754	0,19731
		10	BA	0,00368	0,00368	0,00368	0,11985
			W0	0,00010	0,02353	0,01167	0,13235
			W1	0,00440	0,02905	0,01541	0,16084

TABELA 12 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,05233	0,05233	0,05233	0,33246
			WO	0,07359	0,09116	0,06523	0,36325
			W1	0,06003	0,04105	0,07388	0,47644
		6	BA	0,00562	0,00562	0,00562	0,18967
			WO	0,00939	0,01374	0,00922	0,19723
			W1	0,06059	0,10819	0,04023	0,22273
		10	BA	0,01378	0,01378	0,01378	0,10406
			WO	0,01212	0,02429	0,00700	0,11613
			W1	0,06508	0,11286	0,04701	0,11771
	6	4	BA	0,04581	0,04581	0,04581	0,32703
			WO	0,05892	0,07114	0,04996	0,34920
			W1	0,03520	0,02841	0,04131	0,46540
		6	BA	0,01268	0,01268	0,01268	0,20480
			WO	0,00835	0,00915	0,00616	0,21024
			W1	0,05440	0,08328	0,04174	0,23667
		10	BA	0,01955	0,01955	0,01955	0,13394
			WO	0,02447	0,01948	0,02633	0,14616
			W1	0,00924	0,02243	0,00228	0,15929

TABELA 12 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,07065	0,07065	0,07065	1,09788
			WO	0,10714	0,14974	0,06524	1,11301
			W1	0,32626	0,47852	0,24520	1,43389
		6	BA	0,10531	0,10531	0,10531	0,60686
			WO	0,00956	0,02296	0,00895	0,69720
			W1	0,12010	0,22541	0,02955	0,81830
		10	BA	0,04369	0,04369	0,04369	0,45584
			WO	0,10378	0,07077	0,12306	0,53300
			W1	0,19219	0,18639	0,17267	0,63632
	4	4	BA	0,25328	0,25328	0,25328	1,23317
			WO	0,31466	0,37250	0,26887	1,26545
			W1	0,29601	0,29417	0,32988	1,58492
		6	BA	0,03654	0,03654	0,03654	0,72480
			WO	0,02552	0,01603	0,02449	0,72557
			W1	0,04360	0,03863	0,06957	0,88496
		10	BA	0,02211	0,02211	0,02211	0,43637
			WO	0,01184	0,02488	0,03244	0,45180
			W1	0,09910	0,07147	0,11174	0,61329

TABELA 12 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,19115	0,19115	0,19115	1,18602
			W0	0,24574	0,30833	0,19099	1,20557
			W1	0,21428	0,25687	0,20360	1,52496
		6	BA	0,09897	0,09897	0,09897	0,77670
			W0	0,09609	0,11036	0,07773	0,77021
			W1	0,02819	0,06301	0,02024	0,88900
		10	BA	0,11768	0,11768	0,11768	0,52225
			W0	0,12323	0,11347	0,12647	0,53650
			W1	0,06774	0,06499	0,08278	0,59622
9,00	2	4	BA	0,20914	0,20914	0,20914	2,45175
			W0	0,49952	0,62930	0,37913	2,59872
			W1	1,28417	1,84851	0,85325	3,30617
		6	BA	0,18368	0,18368	0,18368	1,37488
			W0	0,44421	0,44701	0,42383	1,89084
			W1	0,46111	0,81081	0,20717	1,87506
		10	BA	0,11587	0,11587	0,11587	1,02079
			W0	0,22591	0,13166	0,28215	1,17616
			W1	0,24271	0,36947	0,14089	1,16474

TABELA 12 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,61556	0,61556	0,61556	2,75487
			WO	0,83531	0,98736	0,70986	2,84654
			W1	1,54661	1,87504	1,38693	3,85887
		6	BA	0,13500	0,13500	0,13500	1,64019
			WO	0,16029	0,17763	0,13369	1,65000
			W1	0,62729	0,88330	0,55298	2,22874
		10	BA	0,11150	0,11150	0,11150	1,01681
			WO	0,31012	0,30507	0,30216	1,19467
			W1	0,43406	0,62611	0,33612	1,40029
	6	4	BA	0,44457	0,44457	0,44457	2,62609
			WO	0,71819	0,93388	0,53244	2,71264
			W1	0,81993	1,16459	0,60052	3,37989
		6	BA	0,26093	0,26093	0,26093	1,74500
			WO	0,37119	0,46797	0,28317	1,77506
			W1	0,35540	0,59855	0,23155	2,05851
		10	BA	0,29581	0,29581	0,29581	1,18256
			WO	0,33960	0,35075	0,32262	1,21319
			W1	0,42737	0,59288	0,32558	1,41195

A Tabela 13, traz o comportamento de cada método, em termos do valor absoluto do viés associado ao fator aleatório no modelo hierárquico, adotando-se como padrão, o método ANOVA, através da expressão (11).

Observa-se que nos casos balanceados: a-) para $VARB = 0,25$, os métodos ANOVA e MIVQUEO, são coincidentes e superiores aos demais, e para $B = 10$, o método REML, inclui-se nesta equivalência, e produzem melhores resultados do que o método ML; b-) para $VARB > 0,25$, praticamente em quase todas as situações, os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML são equivalentes e com menos viés do que o método ML.

No desbalanceamento, nota-se que: a-) para $VARB = 0,25$, o melhor desempenho em geral é do método ANOVA, seguido dos métodos MIVQUEO e REML; b-) para $VARB > 0,25$, os melhores resultados ficam com o método REML e algumas vezes com o MIVQUEO, e em todas as situações o método ML é o mais tendencioso.

Ainda, pode-se observar que como em SWALLOW & MONAHAN (1984), o método ML predominantemente é o mais tendencioso.

TABELA 13 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,00	51,41 ⁽⁻⁾	4088,20 ⁽⁻⁾
			WO	22,11 ⁽⁻⁾	35,78 ⁽⁻⁾	758,20 ⁽⁻⁾
			W1	29,89	526,79 ⁽⁻⁾	759,63 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	32,88 ⁽⁻⁾	157,37 ⁽⁻⁾
			WO	51,88 ⁽⁻⁾	42,86 ⁽⁻⁾	114,83 ⁽⁻⁾
			W1	77,18 ⁽⁻⁾	66,80 ⁽⁻⁾	8,15 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	787,48 ⁽⁻⁾
			WO	373,54 ⁽⁻⁾	3,83 ⁽⁻⁾	2560,92 ⁽⁻⁾
			W1	119,47 ⁽⁻⁾	20,77 ⁽⁻⁾	129,19 ⁽⁻⁾
	4	4	BA	0,00	5,29	786,03 ⁽⁻⁾
			WO	22,61 ⁽⁻⁾	43,24	508,86 ⁽⁻⁾
			W1	56,31	35,13	473,77 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	14,13 ⁽⁻⁾	1026,14 ⁽⁻⁾
			WO	61,49 ⁽⁻⁾	22,73 ⁽⁻⁾	1077,75 ⁽⁻⁾
			W1	75,77 ⁽⁻⁾	21,38 ⁽⁻⁾	97,00 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	165,49 ⁽⁻⁾
			WO	78,49 ⁽⁻⁾	3,80 ⁽⁻⁾	445,75 ⁽⁻⁾
			W1	77,45 ⁽⁻⁾	12,38 ⁽⁻⁾	62,02 ⁽⁻⁾

TABELA 13 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,00	1,42	735,91 ⁽⁻⁾
			WO	1,48	17,01	623,33 ⁽⁻⁾
			W1	86,80	60,81	1193,86 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	3160,97 ⁽⁻⁾
			WO	82,49 ⁽⁻⁾	20,74 ⁽⁻⁾	2377,00 ⁽⁻⁾
			W1	61,47 ⁽⁻⁾	12,59 ⁽⁻⁾	314,72 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	8325,81 ⁽⁻⁾
			WO	76,01	8,38	912,53 ⁽⁻⁾
			W1	171,70 ⁽⁻⁾	59,09 ⁽⁻⁾	967,63 ⁽⁻⁾
1,00	2	4	BA	0,00	18,42	4458,20 ⁽⁻⁾
			WO	56,43 ⁽⁻⁾	67,81	1520,72 ⁽⁻⁾
			W1	88,15	1,64 ⁽⁻⁾	4098,64 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	3,32 ⁽⁻⁾	262,50 ⁽⁻⁾
			WO	45,36 ⁽⁻⁾	12,10	128,66 ⁽⁻⁾
			W1	82,72 ⁽⁻⁾	12,78 ⁽⁻⁾	286,71 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	3153,26 ⁽⁻⁾
			WO	24408,33 ⁽⁻⁾	12054,17 ⁽⁻⁾	137764,58 ⁽⁻⁾
			W1	559,54 ⁽⁻⁾	249,81 ⁽⁻⁾	3552,16 ⁽⁻⁾

TABELA 13 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,00	0,00	535,30 ⁽⁻⁾
			WO	23,88 ⁽⁻⁾	11,36	393,61 ⁽⁻⁾
			W1	31,62	23,08 ⁽⁻⁾	693,66 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	3274,91 ⁽⁻⁾
			WO	46,25 ⁽⁻⁾	1,87	1999,98 ⁽⁻⁾
			W1	78,55 ⁽⁻⁾	33,60	267,58 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	654,96 ⁽⁻⁾
			WO	100,51 ⁽⁻⁾	42,19	858,45 ⁽⁻⁾
			W1	73,42 ⁽⁻⁾	27,76	80,88 ⁽⁻⁾
	6	4	BA	0,00	0,00	613,87 ⁽⁻⁾
			WO	20,75 ⁽⁻⁾	15,21	492,69 ⁽⁻⁾
			W1	19,30	17,35 ⁽⁻⁾	1222,00 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	1514,89 ⁽⁻⁾
			WO	9,63 ⁽⁻⁾	26,19	2419,05 ⁽⁻⁾
			W1	53,08 ⁽⁻⁾	23,28	335,04 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	585,13 ⁽⁻⁾
			WO	20,42	7,57 ⁽⁻⁾	497,22 ⁽⁻⁾
			W1	142,73 ⁽⁻⁾	75,32	1623,87 ⁽⁻⁾

TABELA 13 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,00	0,00	1453,89 ⁽⁻⁾
			W0	39,77 ⁽⁻⁾	39,10	938,88 ⁽⁻⁾
			W1	46,67 ⁽⁻⁾	24,85	339,50 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	476,26 ⁽⁻⁾
			W0	140,11 ⁽⁻⁾	6,36	7190,98 ⁽⁻⁾
			W1	87,68 ⁽⁻⁾	75,40	581,34 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	943,26 ⁽⁻⁾
			W0	31,81	18,58 ⁽⁻⁾	413,60 ⁽⁻⁾
			W1	3,02	10,16	231,09 ⁽⁻⁾
	4	4	BA	0,00	0,00	386,87 ⁽⁻⁾
			W0	18,38 ⁽⁻⁾	14,55	302,17 ⁽⁻⁾
			W1	0,62	11,44 ⁽⁻⁾	435,43 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	1883,48 ⁽⁻⁾
			W0	37,20	4,04	2742,71 ⁽⁻⁾
			W1	11,39	59,56 ⁽⁻⁾	1929,61 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	1873,99 ⁽⁻⁾
			W0	110,15 ⁽⁻⁾	174,00 ⁽⁻⁾	3716,54 ⁽⁻⁾
			W1	27,88	12,76 ⁽⁻⁾	518,85 ⁽⁻⁾

TABELA 13 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,00	0,00	520,47 ⁽⁻⁾
			WO	25,47 ⁽⁻⁾	22,28	390,59 ⁽⁻⁾
			W1	19,88 ⁽⁻⁾	4,98	611,68 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	684,78 ⁽⁻⁾
			WO	14,86 ⁽⁻⁾	19,11	701,57 ⁽⁻⁾
			W1	123,56 ⁽⁻⁾	28,19	3054,16 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	343,79 ⁽⁻⁾
			WO	7,92	2,63 ⁽⁻⁾	335,37 ⁽⁻⁾
			W1	4,06	22,20 ⁽⁻⁾	780,12 ⁽⁻⁾
9,00	2	4	BA	0,00	0,00	1072,30 ⁽⁻⁾
			WO	25,98 ⁽⁻⁾	24,10	420,25 ⁽⁻⁾
			W1	43,95 ⁽⁻⁾	33,56	157,46 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	648,53 ⁽⁻⁾
			WO	0,63 ⁽⁻⁾	4,59	325,66 ⁽⁻⁾
			W1	75,84 ⁽⁻⁾	55,07	306,64 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	780,97 ⁽⁻⁾
			WO	41,72	24,89 ⁽⁻⁾	420,63 ⁽⁻⁾
			W1	52,23 ⁽⁻⁾	41,95	379,89 ⁽⁻⁾

TABELA 13 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Fator aleatório - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,00	0,00	347,54 ⁽⁻⁾
			WO	18,20 ⁽⁻⁾	15,02	240,78 ⁽⁻⁾
			W1	21,24 ⁽⁻⁾	10,32	149,50 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	1114,92 ⁽⁻⁾
			WO	10,82 ⁽⁻⁾	16,60	929,37 ⁽⁻⁾
			W1	40,81 ⁽⁻⁾	11,85	255,29 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	811,94 ⁽⁻⁾
			WO	1,63	2,57	285,23 ⁽⁻⁾
			W1	44,24 ⁽⁻⁾	22,57	222,60 ⁽⁻⁾
	6	4	BA	0,00	0,00	490,70 ⁽⁻⁾
			WO	30,03 ⁽⁻⁾	25,86	277,71 ⁽⁻⁾
			W1	42,03 ⁽⁻⁾	26,76	312,21 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	568,77 ⁽⁻⁾
			WO	26,07 ⁽⁻⁾	23,71	378,20 ⁽⁻⁾
			W1	68,42 ⁽⁻⁾	34,85	479,22 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	299,77 ⁽⁻⁾
			WO	3,28 ⁽⁻⁾	5,00	257,24 ⁽⁻⁾
			W1	38,73 ⁽⁻⁾	23,82	230,38 ⁽⁻⁾

4.2.3. Erro Quadrático Médio Associado ao Resíduo no Modelo Hierárquico

Os erros quadráticos médios, associados ao resíduo no modelo hierárquico, para todas as combinações em estudo, estão na Tabela 14.

Nota-se que, para acréscimos unicamente em VARB, o método MIVQUEO, em situações não balanceadas, mostra-se bastante sensível, apresentando maior erro quadrático nos maiores valores desta variação, como também, foi observado em SWALLOW & MONAHAN (1984).

Nas alterações no número de níveis de efeitos fixos, mantendo-se constantes as outras variações, os métodos revelam-se com menos erros à medida em que se aumentam os valores de A. E o mesmo ocorre para acréscimos no número de níveis aleatórios.

No desbalanceamento isoladamente, todos os métodos apresentam maior erro quadrático médio.

TABELA 14 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,06475	0,06475	0,06044	0,05748
			W0	0,09046	0,08820	0,08012	0,07383
			W1	0,18638	0,17997	0,13397	0,11514
		6	BA	0,03432	0,03432	0,03184	0,03119
			W0	0,05368	0,04917	0,04902	0,04741
			W1	0,09788	0,09088	0,07588	0,07110
		10	BA	0,02369	0,02369	0,02369	0,02370
			W0	0,03890	0,03632	0,03796	0,03761
			W1	0,06601	0,06108	0,05915	0,05766
	4	4	BA	0,02622	0,02622	0,02601	0,02484
			W0	0,03748	0,03980	0,03593	0,03485
			W1	0,09780	0,09854	0,07673	0,05834
		6	BA	0,01454	0,01454	0,01435	0,01404
			W0	0,02072	0,02056	0,02061	0,01930
			W1	0,04424	0,04291	0,03866	0,03510
		10	BA	0,01098	0,01098	0,01098	0,01098
			W0	0,01853	0,01785	0,01824	0,01819
			W1	0,03623	0,03160	0,03274	0,03204

TABELA 14 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,01683	0,01683	0,01683	0,01657
			W0	0,02646	0,02598	0,02560	0,02516
			W1	0,06428	0,06267	0,05764	0,04577
		6	BA	0,00919	0,00919	0,00919	0,00919
			W0	0,01486	0,01452	0,01458	0,01462
			W1	0,02740	0,02649	0,02499	0,02401
		10	BA	0,00633	0,00633	0,00633	0,00633
			W0	0,01032	0,00987	0,01012	0,01008
			W1	0,01669	0,01525	0,01566	0,01547
1,00	2	4	BA	0,06475	0,06475	0,06346	0,06174
			W0	0,09046	0,08705	0,08769	0,08533
			W1	0,18638	0,20026	0,16214	0,15945
		6	BA	0,03432	0,03432	0,03344	0,03298
			W0	0,05368	0,05271	0,05147	0,05061
			W1	0,09598	0,08997	0,08075	0,07723
		10	BA	0,02369	0,02369	0,02369	0,02369
			W0	0,03890	0,03992	0,03878	0,03875
			W1	0,06599	0,06902	0,06384	0,06367

TABELA 14 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,02622	0,02622	0,02622	0,02622
			WO	0,03748	0,04368	0,03781	0,03829
			W1	0,09780	0,11400	0,09707	0,09344
		6	BA	0,01454	0,01454	0,01454	0,01454
			WO	0,02072	0,02189	0,02062	0,02060
			W1	0,04353	0,04383	0,04115	0,03958
		10	BA	0,01098	0,01089	0,01098	0,01098
			WO	0,01853	0,01855	0,01845	0,01844
			W1	0,03623	0,04702	0,03456	0,03433
	6	4	BA	0,01683	0,01683	0,01683	0,01683
			WO	0,02645	0,02794	0,02632	0,02628
			W1	0,06428	0,07200	0,06399	0,06539
		6	BA	0,00919	0,00919	0,00919	0,00919
			WO	0,01486	0,01563	0,01475	0,01470
			W1	0,02740	0,03537	0,02633	0,02615
		10	BA	0,00633	0,00633	0,00633	0,00633
			WO	0,01032	0,01103	0,01029	0,01028
			W1	0,01669	0,02443	0,01639	0,01637

TABELA 14 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,06475	0,06475	0,06475	0,06475
			WO	0,09045	0,15300	0,09030	0,09022
			W1	0,19584	0,43423	0,19006	0,18924
		6	BA	0,03432	0,03432	0,03432	0,03432
			WO	0,05157	0,09777	0,05141	0,05134
			W1	0,08453	0,30169	0,08018	0,07899
		10	BA	0,02369	0,02369	0,02369	0,02369
			WO	0,03969	0,07028	0,03971	0,03971
			W1	0,06916	0,18337	0,06822	0,06807
	4	4	BA	0,02622	0,02622	0,02622	0,02622
			WO	0,03748	0,08528	0,03757	0,03766
			W1	0,09946	0,30091	0,09858	0,09893
		6	BA	0,01454	0,01454	0,01454	0,01454
			WO	0,02072	0,06450	0,02069	0,02068
			W1	0,04067	0,14008	0,03969	0,03937
		10	BA	0,01098	0,01098	0,01098	0,01098
			WO	0,01853	0,05369	0,01851	0,01851
			W1	0,03688	0,12931	0,03614	0,03598

TABELA 14 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,01683	0,01683	0,01683	0,01683
			WO	0,02646	0,06596	0,02644	0,02644
			W1	0,06468	0,17810	0,06461	0,06494
		6	BA	0,00919	0,00919	0,00919	0,00919
			WO	0,01486	0,04700	0,01483	0,01482
			W1	0,02713	0,09970	0,02673	0,02660
		10	BA	0,00633	0,00633	0,00633	0,00633
			WO	0,01032	0,03466	0,01032	0,01032
			W1	0,01703	0,11693	0,01693	0,01691
9,00	2	4	BA	0,06475	0,06475	0,06475	0,06475
			WO	0,09195	0,48518	0,09194	0,09194
			W1	0,21369	1,31656	0,21073	0,20946
		6	BA	0,03432	0,03432	0,03432	0,03432
			WO	0,04844	0,83136	0,04842	0,04841
			W1	0,09068	4,68799	0,08854	0,08785
		10	BA	0,02369	0,02369	0,02369	0,02369
			WO	0,03806	0,54290	0,03808	0,03809
			W1	0,07218	2,11530	0,07155	0,07141

TABELA 14 - Erros quadráticos médios, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,02621	0,02621	0,02621	0,02621
			WO	0,03774	0,21485	0,03779	0,03782
			W1	0,10767	0,77023	0,10712	0,10680
		6	BA	0,01454	0,01454	0,01454	0,01454
			WO	0,02020	0,22908	0,02020	0,02020
			W1	0,03721	0,41465	0,03681	0,03666
		10	BA	0,01098	0,01098	0,01098	0,01098
			WO	0,01773	0,12799	0,01773	0,01773
			W1	0,03637	0,36420	0,03594	0,03583
	6	4	BA	0,01683	0,01683	0,01683	0,01683
			WO	0,02718	0,17432	0,02718	0,02717
			W1	0,06935	0,51599	0,06936	0,06946
		6	BA	0,00919	0,00919	0,00919	0,00919
			WO	0,01514	0,13747	0,01513	0,01512
			W1	0,02247	0,35500	0,02236	0,02232
		10	BA	0,00633	0,00633	0,00633	0,00633
			WO	0,01053	0,10780	0,01053	0,01053
			W1	0,01691	0,30989	0,01682	0,01679

A Tabela 15, traz o comportamento de cada método, em termos do erro quadrático médio associado ao resíduo no modelo hierárquico, adotando-se como padrão, o método ANOVA através da expressão (10).

Nota-se para $VARB = 0,25$ que : a-) nos casos não balanceados, os métodos ML, REML e MIVQUEO principalmente os primeiros, apresentam os menores erros quadráticos; b-) nos casos balanceados, à medida em que o número de níveis de efeitos fixos e aleatórios crescem, observa-se uma tendência de equivalência entre os quatro métodos.

Para $VARB > 0,25$ nota-se que: a-) nos casos balanceados, praticamente em todas as situações, ocorre equivalência entre os quatro métodos; b-) no desbalanceamento, os métodos ML, REML e ANOVA apresentam os melhores desempenhos, repetindo-se aqui os resultados obtidos em SWALLOW & MONAHAN (1984).

TABELA 15 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,00	6,66	11,23
			WO	2,50	11,42	18,38
			W1	3,44	28,12	38,22
		6	BA	0,00	7,25	9,13
			WO	8,39	8,67	11,67
			W1	7,15	22,47	27,35
		10	BA	0,00	0,00	0,02 ⁽⁻⁾
			WO	6,64	2,42	3,32
			W1	7,47	10,40	12,65
	4	4	BA	0,00	0,80	5,24
			WO	6,18 ⁽⁻⁾	4,13	7,00
			W1	0,75 ⁽⁻⁾	21,55	40,35
		6	BA	0,00	1,33	3,44
			WO	0,76	0,54	6,86
			W1	3,01	12,62	20,66
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	3,64	1,54	1,81
			W1	12,76	9,62	11,57

TABELA 15 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,00	0,00	1,54
			WO	1,79	3,23	4,91
			W1	2,50	10,33	28,80
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	2,27	1,87	1,60
			W1	3,31	8,79	12,37
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	4,34	1,89	2,31
			W1	8,67	6,20	7,31
1,00	2	4	BA	0,00	1,98	4,65
			WO	3,77	3,05	5,67
			W1	7,45 ⁽⁻⁾	13,01	14,45
		6	BA	0,00	2,58	3,92
			WO	1,80	4,12	5,71
			W1	6,27	15,87	19,53
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	2,60 ⁽⁻⁾	0,31	0,39
			W1	4,59 ⁽⁻⁾	3,26	3,52

TABELA 15 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	16,55 ⁽⁻⁾	0,89 ⁽⁻⁾	2,16 ⁽⁻⁾
			W1	16,57 ⁽⁻⁾	0,75	4,46
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	5,67 ⁽⁻⁾	0,45	0,56
			W1	0,69 ⁽⁻⁾	5,45	9,07
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	0,09 ⁽⁻⁾	0,40	0,48
			W1	29,79 ⁽⁻⁾	4,61	5,25
	6	4	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	5,62 ⁽⁻⁾	0,50	0,66
			W1	12,01 ⁽⁻⁾	0,45	1,73 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	5,22 ⁽⁻⁾	0,76	1,04
			W1	29,09 ⁽⁻⁾	3,89	4,56
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	6,88 ⁽⁻⁾	0,28	0,32
			W1	46,33 ⁽⁻⁾	1,81	1,92

TABELA 15 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	69,15 ⁽⁻⁾	0,16	0,25
			W1	121,73 ⁽⁻⁾	2,95	3,37
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	89,60 ⁽⁻⁾	0,30	0,44
			W1	256,88 ⁽⁻⁾	5,15	6,56
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	77,08 ⁽⁻⁾	0,06 ⁽⁻⁾	0,07 ⁽⁻⁾
			W1	165,11 ⁽⁻⁾	1,36	1,59
	4	4	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	127,55 ⁽⁻⁾	0,25 ⁽⁻⁾	0,48 ⁽⁻⁾
			W1	202,55 ⁽⁻⁾	0,89	0,53
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	211,33 ⁽⁻⁾	0,14	0,21
			W1	244,45 ⁽⁻⁾	2,40	3,20
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	189,77 ⁽⁻⁾	0,07	0,07
			W1	250,63 ⁽⁻⁾	2,00	2,45

TABELA 15 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	149,31 ⁽⁻⁾	0,05	0,05
			W1	175,36 ⁽⁻⁾	0,11	0,40 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	216,28 ⁽⁻⁾	0,19	0,26
			W1	267,52 ⁽⁻⁾	1,47	1,96
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	235,99 ⁽⁻⁾	0,00	0,00
			W1	586,48 ⁽⁻⁾	0,63	0,75
9,00	2	4	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	427,68 ⁽⁻⁾	0,01	0,01
			W1	516,10 ⁽⁻⁾	1,39	1,98
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	1616,43 ⁽⁻⁾	0,03	0,06
			W1	5069,65 ⁽⁻⁾	2,37	3,12
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	1326,49 ⁽⁻⁾	0,06 ⁽⁻⁾	0,08 ⁽⁻⁾
			W1	2830,43 ⁽⁻⁾	0,88	1,07

TABELA 15 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o erro quadrático médio relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	469,27 ⁽⁻⁾	0,11 ⁽⁻⁾	0,21 ⁽⁻⁾
			W1	615,34 ⁽⁻⁾	0,52	0,81
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	1033,92 ⁽⁻⁾	0,00	0,00
			W1	1014,44 ⁽⁻⁾	1,07	1,48
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	621,83 ⁽⁻⁾	0,00	0,00
			W1	901,24 ⁽⁻⁾	1,20	1,51
	6	4	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	541,25 ⁽⁻⁾	0,03	0,04
			W1	644,09 ⁽⁻⁾	0,02 ⁽⁻⁾	0,17 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	808,01 ⁽⁻⁾	0,08	0,11
			W1	1480,23 ⁽⁻⁾	0,48	0,65
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	924,09 ⁽⁻⁾	0,00	0,00
			W1	1732,66 ⁽⁻⁾	0,53	0,69

4.2.4. Valor Absoluto do Viés Associado ao Resíduo no Modelo Hierárquico

A Tabela 16 apresenta o valor absoluto do viés associado ao resíduo no modelo hierárquico, para todas as combinações e métodos em estudo.

Observa-se que quando são alterados apenas os valores de VARB e de forma crescente, considerando-se o maior grau de desbalanceamento, o método MIVQUEO é o que apresenta acréscimos mais definidos no viés.

Nas alterações no número de níveis de efeitos aleatórios, mantendo-se constantes as outras variações, nota-se que todos os métodos mostram-se mais tendenciosos quando este número é mínimo.

TABELA 16 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,07759	0,07759	0,07299	0,06635
			W0	0,07250	0,07445	0,05394	0,03713
			W1	0,12088	0,10860	0,06490	0,02851
		6	BA	0,00710	0,00710	0,00195	0,00030
			W0	0,00827	0,01815	0,01796	0,02331
			W1	0,01817	0,00626	0,00846	0,01976
		10	BA	0,00830	0,00830	0,00830	0,00830
			W0	0,02197	0,03131	0,02409	0,02529
			W1	0,00626	0,02568	0,01432	0,01442
	4	4	BA	0,03718	0,03718	0,03667	0,03178
			W0	0,05442	0,05804	0,04819	0,04060
			W1	0,08983	0,08005	0,05685	0,01659
		6	BA	0,00308	0,00308	0,00375	0,00497
			W0	0,00210	0,00517	0,00355	0,00831
			W1	0,00601	0,01509	0,00657	0,01599
		10	BA	0,01132	0,01132	0,01132	0,01132
			W0	0,00766	0,01293	0,00897	0,00948
			W1	0,00497	0,02301	0,01165	0,01166

TABELA 16 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,02402	0,02402	0,02387	0,02296
			WO	0,02869	0,02848	0,02678	0,02317
			W1	0,04078	0,03323	0,02708	0,00443
		6	BA	0,00763	0,00763	0,00763	0,00763
			WO	0,00818	0,01038	0,00891	0,00839
			W1	0,00045	0,01200	0,00615	0,00399
		10	BA	0,01890	0,01890	0,01890	0,01890
			WO	0,01788	0,02140	0,01889	0,01900
			W1	0,01810	0,02679	0,02256	0,02181
1,00	2	4	BA	0,07759	0,07759	0,07665	0,07527
			WO	0,07250	0,08114	0,07062	0,06832
			W1	0,12087	0,11355	0,09780	0,09088
		6	BA	0,00709	0,00709	0,00586	0,00512
			WO	0,00827	0,03451	0,01176	0,01324
			W1	0,02745	0,00753	0,01253	0,00961
		10	BA	0,00830	0,00830	0,00830	0,00830
			WO	0,02197	0,04365	0,02248	0,02255
			W1	0,00112	0,03112	0,00465	0,00468

TABELA 16 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,03718	0,03718	0,03718	0,03718
			W0	0,05442	0,06821	0,05540	0,05676
			W1	0,08982	0,07604	0,08608	0,08192
		6	BA	0,00308	0,00308	0,00308	0,00308
			W0	0,00209	0,00583	0,00234	0,00234
			W1	0,01188	0,02749	0,00840	0,00775
		10	BA	0,01132	0,01132	0,01132	0,01132
			W0	0,00766	0,01882	0,00803	0,00809
			W1	0,00497	0,04747	0,00884	0,00931
	6	4	BA	0,02402	0,02402	0,02402	0,02402
			W0	0,02869	0,03826	0,02878	0,02916
			W1	0,04078	0,03603	0,03946	0,04252
		6	BA	0,00762	0,00762	0,00762	0,00762
			W0	0,00818	0,00748	0,00813	0,00804
			W1	0,00045	0,02386	0,00302	0,00259
		10	BA	0,01889	0,01889	0,01889	0,01889
			W0	0,01788	0,02246	0,01804	0,01808
			W1	0,01810	0,02979	0,01987	0,01990

TABELA 16 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,07759	0,07759	0,07759	0,07759
			WO	0,07250	0,10597	0,07238	0,07235
			W1	0,12022	0,22941	0,11914	0,11812
		6	BA	0,00709	0,00709	0,00709	0,00709
			WO	0,01393	0,02547	0,01418	0,01429
			W1	0,00444	0,09171	0,00104	0,00018
		10	BA	0,00830	0,00830	0,00830	0,00830
			WO	0,02196	0,05224	0,02198	0,02198
			W1	0,00480	0,00042	0,00384	0,00373
	4	4	BA	0,03718	0,03718	0,03718	0,03718
			WO	0,05442	0,09983	0,05469	0,05493
			W1	0,08903	0,08768	0,08733	0,08693
		6	BA	0,00308	0,00308	0,00308	0,00308
			WO	0,00210	0,01025	0,00210	0,00208
			W1	0,00395	0,00807	0,00516	0,00549
		10	BA	0,01133	0,01133	0,01133	0,01133
			WO	0,00766	0,04131	0,00772	0,00773
			W1	0,00537	0,02996	0,00669	0,00697

TABELA 16 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,02402	0,02402	0,02402	0,02402
			WO	0,02869	0,07768	0,02883	0,02897
			W1	0,04593	0,07575	0,04545	0,04570
		6	BA	0,00763	0,00763	0,00763	0,00763
			WO	0,00819	0,00409	0,00811	0,00806
			W1	0,00403	0,02421	0,00468	0,00474
		10	BA	0,01889	0,01889	0,01889	0,01889
			WO	0,01789	0,02684	0,01788	0,01788
			W1	0,01855	0,02098	0,01908	0,01917
9,00	2	4	BA	0,07759	0,07759	0,07759	0,07759
			WO	0,07129	0,17326	0,07127	0,07128
			W1	0,12627	0,53099	0,12561	0,12635
		6	BA	0,00709	0,00709	0,00709	0,00709
			WO	0,03706	0,03466	0,03710	0,03710
			W1	0,01805	0,27177	0,01880	0,01894
		10	BA	0,00830	0,00830	0,00830	0,00830
			WO	0,02755	0,11399	0,02753	0,02753
			W1	0,00225	0,11599	0,00208	0,00208

TABELA 16 - Valor absoluto do viés, segundo as combinações de VARB, A, B, DESB e os métodos. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	ANOVA	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,03718	0,03718	0,03718	0,03718
			WO	0,05872	0,17808	0,05885	0,05897
			W1	0,09914	0,33750	0,09841	0,09782
		6	BA	0,00308	0,00308	0,00308	0,00308
			WO	0,00652	0,00838	0,00649	0,00647
			W1	0,02370	0,18801	0,02413	0,02429
		10	BA	0,01132	0,01132	0,01132	0,01132
			WO	0,01383	0,01846	0,01383	0,01383
			W1	0,01187	0,15898	0,01243	0,01257
	6	4	BA	0,02402	0,02402	0,02402	0,02402
			WO	0,03349	0,20227	0,03358	0,03367
			W1	0,04768	0,28905	0,04773	0,04793
		6	BA	0,00763	0,00763	0,00763	0,00763
			WO	0,00893	0,07419	0,00886	0,00884
			W1	0,01994	0,17718	0,02013	0,02013
		10	BA	0,01889	0,01889	0,01889	0,01889
			WO	0,01829	0,00808	0,01828	0,01827
			W1	0,00617	0,14060	0,00628	0,00631

O comportamento de cada método, em termos do valor absoluto do viés associado ao resíduo no modelo hierárquico, tomando-se como padrão o método ANOVA, através da expressão (11), é apresentada na Tabela 17.

Para $VARB = 0,25$, nota-se que: a-) com $B = 4$, a melhor performance é do método ML, seguido do método REML, e nestes casos com dados balanceados, os métodos ANOVA e MIVQUEO são equivalentes; b-) com $B > 4$, ocorrem os melhores resultados para o método ANOVA, e em situações balanceadas, todos os métodos apresentam-se da mesma forma, quando o número de níveis de efeitos aleatórios é máximo.

Para $VARB > 0,25$, observa-se que: a-) nos casos balanceados, na maioria das combinações, ocorre a equivalência entre os quatro métodos; b-) no desbalanceamento, destacam-se os métodos ANOVA, REML e ML, principalmente o método ANOVA no maior grau de desbalanceamento e quando o número de níveis de efeitos aleatórios é máximo, nestas condições, frequentemente, o método MIVQUEO é o mais tendencioso.

TABELA 17 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	2	4	BA	0,00	5,93	14,48
			W0	2,69 ⁽⁻⁾	25,60	48,78
			W1	10,16	46,31	76,42
		6	BA	0,00	72,58	95,80
			W0	119,50 ⁽⁻⁾	117,17 ⁽⁻⁾	181,88 ⁽⁻⁾
			W1	65,55	53,43	8,74 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	42,51 ⁽⁻⁾	9,67 ⁽⁻⁾	15,11 ⁽⁻⁾
			W1	310,26 ⁽⁻⁾	128,69 ⁽⁻⁾	130,42 ⁽⁻⁾
	4	4	BA	0,00	1,37	14,54
			W0	6,65 ⁽⁻⁾	11,45 ⁽⁻⁾	25,40
			W1	10,88	36,72	81,53
		6	BA	0,00	21,98	61,44 ⁽⁻⁾
			W0	146,76 ⁽⁻⁾	69,56 ⁽⁻⁾	296,66 ⁽⁻⁾
			W1	150,98 ⁽⁻⁾	9,31 ⁽⁻⁾	165,91 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	68,70 ⁽⁻⁾	17,02 ⁽⁻⁾	23,70 ⁽⁻⁾
			W1	363,27 ⁽⁻⁾	134,64 ⁽⁻⁾	134,80 ⁽⁻⁾

TABELA 17 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
0,25	6	4	BA	0,00	0,63	4,44
			W0	0,73	6,64	19,25
			W1	18,51	33,60	89,14
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	26,86 ⁽⁻⁾	8,92 ⁽⁻⁾	2,49 ⁽⁻⁾
			W1	2555,75 ⁽⁻⁾	1259,73 ⁽⁻⁾	781,86 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	19,69 ⁽⁻⁾	5,64 ⁽⁻⁾	6,29 ⁽⁻⁾
			W1	48,03 ⁽⁻⁾	24,65 ⁽⁻⁾	20,52 ⁽⁻⁾
1,00	2	4	BA	0,00	1,21	2,99
			W0	11,91 ⁽⁻⁾	2,59	5,77
			W1	6,06	19,09	24,81
		6	BA	0,00	17,34	27,78
			W0	317,14 ⁽⁻⁾	42,19 ⁽⁻⁾	60,11 ⁽⁻⁾
			W1	72,57	54,37	65,00
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	98,64 ⁽⁻⁾	2,29 ⁽⁻⁾	2,64 ⁽⁻⁾
			W1	2688,18 ⁽⁻⁾	316,64 ⁽⁻⁾	319,03 ⁽⁻⁾

TABELA 17 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
1,00	4	4	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	25,34 ⁽⁻⁾	1,80 ⁽⁻⁾	4,31 ⁽⁻⁾
			W1	15,34	4,17	8,80
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	178,41 ⁽⁻⁾	11,75 ⁽⁻⁾	11,75 ⁽⁻⁾
			W1	131,50 ⁽⁻⁾	29,30	34,73
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	145,56 ⁽⁻⁾	4,72 ⁽⁻⁾	5,58 ⁽⁻⁾
			W1	855,86 ⁽⁻⁾	78,01 ⁽⁻⁾	87,47 ⁽⁻⁾
	6	4	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	33,33 ⁽⁻⁾	0,29 ⁽⁻⁾	1,64 ⁽⁻⁾
			W1	11,65	3,24	4,26 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	8,60	0,61	1,69
			W1	5155,95 ⁽⁻⁾	564,76 ⁽⁻⁾	470,48 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			WO	25,58 ⁽⁻⁾	0,91 ⁽⁻⁾	1,08 ⁽⁻⁾
			W1	64,61 ⁽⁻⁾	9,77 ⁽⁻⁾	9,96 ⁽⁻⁾

TABELA 17 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	2	4	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	46,16 ⁽⁻⁾	0,18	0,21
			W1	90,83 ⁽⁻⁾	0,89	1,75
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	82,86 ⁽⁻⁾	1,83 ⁽⁻⁾	2,60 ⁽⁻⁾
			W1	1965,52 ⁽⁻⁾	76,68	95,95
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	137,91 ⁽⁻⁾	0,08 ⁽⁻⁾	0,09 ⁽⁻⁾
			W1	91,26	20,10	22,32
	4	4	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	83,44 ⁽⁻⁾	0,49 ⁽⁻⁾	0,94 ⁽⁻⁾
			W1	1,51	1,90	2,35
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	388,56 ⁽⁻⁾	0,10	0,76
			W1	104,12 ⁽⁻⁾	30,53 ⁽⁻⁾	38,89 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	439,63 ⁽⁻⁾	0,86 ⁽⁻⁾	1,02 ⁽⁻⁾
			W1	457,49 ⁽⁻⁾	24,43 ⁽⁻⁾	29,69 ⁽⁻⁾

TABELA 17 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
4,00	6	4	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	170,72 ⁽⁻⁾	0,47 ⁽⁻⁾	0,95 ⁽⁻⁾
			W1	64,94 ⁽⁻⁾	1,04	0,50
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	50,06	0,98	1,54
			W1	501,05 ⁽⁻⁾	16,27 ⁽⁻⁾	17,80 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	50,04 ⁽⁻⁾	0,02	0,02
			W1	13,07 ⁽⁻⁾	2,83 ⁽⁻⁾	3,31 ⁽⁻⁾
9,00	2	4	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	143,04 ⁽⁻⁾	0,02	0,01
			W1	320,52 ⁽⁻⁾	0,52	0,06 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	6,49	0,10 ⁽⁻⁾	0,11 ⁽⁻⁾
			W1	1405,87 ⁽⁻⁾	4,17 ⁽⁻⁾	4,96 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	313,83 ⁽⁻⁾	0,07	0,07
			W1	5060,93 ⁽⁻⁾	7,38	7,38

TABELA 17 - Comportamento de cada método, segundo as combinações de VARB, A, B e DESB, tomando-se como padrão, o valor absoluto do viés relativo ao método ANOVA. (Resíduo - Modelo hierárquico)

VARB	A	B	DESB	MI VQUEO	REML	ML
9,00	4	4	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	203,24 ⁽⁻⁾	0,22 ⁽⁻⁾	0,41 ⁽⁻⁾
			W1	240,41 ⁽⁻⁾	0,74	1,34
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	28,43 ⁽⁻⁾	0,59	0,91
			W1	693,39 ⁽⁻⁾	1,84 ⁽⁻⁾	2,48 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	33,46 ⁽⁻⁾	0,00	0,00
			W1	1238,74 ⁽⁻⁾	4,72 ⁽⁻⁾	5,87 ⁽⁻⁾
	6	4	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	504,06 ⁽⁻⁾	0,29 ⁽⁻⁾	0,54 ⁽⁻⁾
			W1	506,23 ⁽⁻⁾	0,11 ⁽⁻⁾	0,52 ⁽⁻⁾
		6	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	731,23 ⁽⁻⁾	0,70	1,00
			W1	788,70 ⁽⁻⁾	0,96 ⁽⁻⁾	0,99 ⁽⁻⁾
		10	BA	0,00	0,00	0,00
			W0	55,82	0,06	0,10
			W1	2178,55 ⁽⁻⁾	1,84 ⁽⁻⁾	2,28 ⁽⁻⁾

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem estabelecer para os casos estudados, as seguintes conclusões:

1. Para cada componente dentro de cada modelo

1.1. Fator aleatório-modelo cruzado misto

1.1.1. Para acréscimos em VARB, todos os métodos apresentam aumentos no erro quadrático e no viés. No desbalanceamento apresentam também acréscimos no erro quadrático, e em se tratando de viés, o ANOVA e o MIVQUEO mostram-se mais tendenciosos. Para acréscimos no número de níveis de efeitos aleatórios, todos exibem tendências de menor erro quadrático, enquanto que, apenas o ML, mostra-se menos tendencioso.

1.1.2. No critério de viés, o melhor comportamento é do REML, e com mais ênfase em situações de maior desbalanceamento.

1.1.3. Em se tratando de erro quadrático médio nota-se que, no menor número de níveis aleatórios, o melhor desempenho é do ML. Para $B = 6$ e VARB mínimo prevalece ainda, no maior grau de desbalanceamento a melhor performance do ML, e para VARB crescente, nas mesmas condições anteriores, os melhores resultados são do ANOVA. Com $B = 10$, o melhor destaque é para o método REML no maior grau de desbalanceamento.

1.1.4. Nos casos balanceados, os métodos ANOVA e MIVQUEO, produzem os mesmos resultados, e o REML inclui-se nesta equivalência à medida em que VARB, A, B tenham acréscimos, simultâneos ou não.

1.2. Resíduo-modelo cruzado misto

1.2.1. Para acréscimos em VARB em casos não balanceados, o método MIVQUEO apresenta aumentos no erro quadrático e no viés. No desbalanceamento, os métodos mostram-se com maior erro quadrático, e em se tratando de viés, o ML e o MIVQUEO para $\text{VARB} > 0,25$, são bastante tendenciosos. Aumentando-se o número de níveis de efeitos fixos ou aleatórios, os métodos apresentam tendências de diminuição no erro quadrático.

1.2.2. Em se tratando de casos desbalanceados, os métodos ANOVA e REML apresentam-se com os menores erros

quadráticos, quando $B \geq 6$ e $A > 2$, e nas outras situações o ML é superior.

1.2.3. Em termos de viés, nota-se que quando o número de níveis aleatórios é mínimo e $A < 6$, o método ML é o menos viesado, e em qualquer outro caso o ANOVA e o REML são em geral os menos tendenciosos.

1.2.4. No maior desbalanceamento e para $VARB > 0,25$, em termos de erro quadrático, o método MIVQUEO é o mais sensível e juntamente com o ML são também os mais tendenciosos.

1.2.5. Nos casos balanceados, os métodos ANOVA e MIVQUEO são coincidentes, e à medida em que $VARB$, A e B tenham acréscimos, simultâneos ou não, o REML inclui-se nesta equivalência.

1.3. Fator aleatório-modelo hierárquico misto

1.3.1. Para acréscimos em $VARB$ e decréscimos no número de níveis de efeitos fixos, os métodos apresentam-se com maior erro quadrático. No desbalanceamento apresentam também maior erro quadrático, e em termos de viés o ML é bastante tendencioso. Nas alterações crescentes no número de níveis de efeitos aleatórios, os métodos revelam-se com menor erro quadrático quando este número é máximo, e em se

tratando de viés, o ML torna-se menos tendencioso.

1.3.2. No desbalanceamento com VARB mínimo, os métodos ANOVA, MIVQUEO e REML apresentam-se próximos e são menos tendenciosos do que o ML, e para $\text{VARB} > 0,25$, o REML predominantemente e o MIVQUEO em algumas situações são os menos viesados.

1.3.3. No critério de erro quadrático, o método ML em geral tem a melhor performance quando o número de níveis de efeitos fixos é mínimo, e também quando $A = 4$ e $\text{VARB} = 0,25$. Para $A \geq 4$ e $\text{VARB} > 0,25$, a supremacia fica com os métodos ANOVA e REML, principalmente o REML.

1.3.4. O pior comportamento em termos de viés é do método ML, enquanto que, em se tratando do erro quadrático, o MIVQUEO no desbalanceamento é o que apresenta o pior desempenho.

1.3.5. Nos casos balanceados, sempre ocorre a equivalência entre os métodos ANOVA e MIVQUEO, e o método REML, inclui-se nesta igualdade à medida em que se aumentam os valores de VARB, A e B, simultaneamente ou não.

1.4. Resíduo-modelo hierárquico misto

1.4.1. Para acréscimos em VARB em situações não balanceadas o método MIVQUEO apresenta aumentos no erro

quadrático e no viés. No desbalanceamento, os métodos apresentam também maior erro quadrático. Nas variações crescentes no número de níveis de efeitos aleatórios, os métodos mostram melhor desempenho. Nas alterações para mais no número de níveis de efeitos fixos, nota-se reduções nos erros quadráticos em todos os métodos.

1.4.2. Em casos de maior desbalanceamento com VARB mínimo, os métodos MIVQUEO, REML e ML estão próximos e superam o ANOVA em termos de erro quadrático, ao passo que para $\text{VARB} > 0,25$, os melhores resultados são dos métodos ML, REML e ANOVA.

1.4.3. Através do critério de viés, com VARB e B mínimos, os métodos ML e REML são os menos tendenciosos, principalmente o ML. E nestas mesmas situações, apenas com $B > 4$ o ANOVA é o menos viesado. À medida em que VARB cresce considerando-se o desbalanceamento, os métodos ANOVA, REML e ML são os menos tendenciosos, e mais acentuadamente o ANOVA, nos casos mais desbalanceados e com B máximo.

1.4.4. Para $\text{VARB} > 0,25$, no mais alto grau de desbalanceamento, nota-se que o método MIVQUEO é o que apresenta o pior desempenho.

1.4.5. Para dados balanceados, existe uma tendência de equivalência entre os métodos, à medida em que VARB, A, B, tenham acréscimos simultâneos ou não.

2. De ordem geral

2.1. Com dados balanceados os métodos ANOVA e MIVQUEO são equivalentes, e para acréscimos em pelo menos uma das variações (VARB, A, B), o método REML inclui-se nesta igualdade.

2.2. Com dados desbalanceados o desempenho de cada método depende do modelo, do componente e do próprio critério utilizado na comparação, dificultando assim, uma regra bem definida para a escolha de uma particular metodologia. Mas de uma forma bastante geral pôde-se observar que o método ML e principalmente o REML, apresentaram frequentemente os melhores resultados, enquanto que, o método MIVQUEO raramente conseguiu superar os demais. O método ANOVA por sua vez, foi superior em alguns casos, mas em geral, esteve próximo dos métodos REML e ML e mostrando mais qualidades do que o método MIVQUEO.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOX, G.E.P. & MULLER, M.E. A note on the generation of random normal deviates. *Annals Mathematical Statistics*, Ann Arbor, 29:610-611, 1958.
- CORBEIL, R.R. & SEARLE, S.R. Restricted maximum likelihood (REML) estimation of variance components in the mixed model. *Technometrics*, Richmond, 18:31-38, 1976a.
- CORBEIL, R.R. & SEARLE, S.R. A comparison of variance component estimators. *Biometrics*, Richmond, 32 :779-791, 1976b.
- GRAYBILL, F.A. *Matrices With Applications in Statistics*. 2nd ed, California, Wadsworth Publishing Co, 1983, 461p.
- HARTLEY, H.O. & RAO, J.N.K. Maximum likelihood estimation for the mixed analysis of variance model. *Biometrika*. Cambridge, 54:93-108, 1967

- HARTLEY, H.O.; RAO, J.N.K.; LAMOTTE, L.R. A simple "synthesis" - based method of variance component estimation. *Biometrics*, Richmond, 34:233-242, 1978.
- HARVILLE, D.A. Maximum likelihood approaches to variance component estimation and to related problems. *Journal of the American Statistical Association*, Boston, 72:320-340, 1977.
- HENDERSON, C.R. Estimation of variance and covariance components. *Biometrics*, Richmond, 9:226-252, 1953.
- HENDERSON, C.R. *Applications of Linear Models in Animal Breeding*. Canadá, University of Guelph, 1984, 462p.
- MOOD, A.M.; GRAYBILL, F.A.; BOES, D.C. *Introduction to the Theory of Statistics*. 3rd ed, Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha, 1974. 564p.
- PATTERSON, H.D. & THOMPSON, R. Recovery of interblock information when block sizes are unequal. *Biometrika*, Cambridge, 58:545-554, 1971.
- RAO, C.R. Estimation of heteroscedastic variances in linear models. *Journal of the American Statistical Association*, Boston, 65:161-172, 1970.

- RAO, C.R. Estimation of variance and covariance components. MINQUE theory. *Journal of Multivariate Analysis*, Nova Iorque, 1:257-275, 1971a.
- RAO, C.R. Minimum variance quadratic unbiased estimation of variance componentes. *Journal of Multivariate Analysis*. Nova Iorque, 1:445-456, 1971b.
- RAO, C.R. Estimation of variance and covariance components in linear models. *Journal of the American Statistical Association*, Boston, 67:112-115, 1972.
- RAO, C.R. *Linear Statistical Inference and Its Applications*, 2nd ed, Nova Iorque, John Wiley & Sons, 1973, 625p.
- SAS. Institute . Inc. SAS/STAT. Guide for Personal Computers, Version 6 Edition Cary NC, SAS Institute Inc., 1987, 1028p.
- SEARLE, S.R. Another look at Henderson's methods of estimating variance components. *Biometrics*, Richmond, 24:749-787, 1968.
- SEARLE, S.R. Topics in variance component estimation. *Biometrics*, Richmond, 27:1-76, 1971a.

- SEARLE, S.R. *Linear Models*. Nova Iorque, John Wiley & Sons, 1971b, 532p.
- SEARLE, S.R. *Notes on Variance Component Estimation. A Detailed Account of Maximum Likelihood and Kindred Methodology*. Biometrics Unit, Cornell University, Ithaca, Nova Iorque, 1979.
- SEARLE, S.R. *Linear Models for Unbalanced Data*. Nova Iorque, John Wiley & Sons, 1987, 536p.
- SERAPHIN, J.C. Comparação numérica de três estimadores de componentes de variância em alguns modelos genéticos-estatísticos de cruzamentos. Piracicaba, 1984, 74p. (Mestrado-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- SWALLOW, W.H. & MONAHAN, J.F. Monte Carlo comparison of ANOVA, MIVQUE, REML, and ML estimators of variance components. *Technometrics*, Richmond, 26:47-58, 1984.
- THOMPSON, W.A. The problem of negative estimates of variance components. *Ann Math Stat*, Ann Arbor, 33:273-289, 1962.

VALÉRIO FILHO, W.V. Métodos de Henderson para componentes da variância de dados não balanceados. Piracicaba, 1983, 137p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).