

Interferência da variabilidade da população de plantas de milho sobre a precisão experimental

Population variability and its effect on experimental precision

Alberto Cargnelutti Filho¹ Lindolfo Storck² Sidinei José Lopes²
Alessandro Dal'Col Lúcio²

RESUMO

Com objetivo de verificar a interferência da variabilidade entre repetições do número de dias da semeadura até 50% do florescimento masculino, da estatura de plantas na colheita e da população final de plantas no erro experimental da produtividade de grãos, foram usados os dados de 15 ensaios de competição de cultivares de milho, realizados no Estado do Rio Grande do Sul. Em cada ensaio, foi realizada a análise de variância e estimadas as correlações lineares residuais entre as variáveis. Foi então realizada a análise de trilha, usando a produtividade de grãos como variável principal. Nos 15 ensaios, foi realizada análise de variância da produtividade de grãos ajustada em função da população, por meio dos métodos de covariância da população média, covariância da população ideal e correção estratificada. Para reduzir o erro experimental da produtividade de grãos de milho, a escolha de cultivares e o manejo deve representar maior homogeneidade do número de plantas entre as repetições, independente do ciclo e da estatura de plantas.

Palavras-chave: *Zea mays*, precisão experimental, análise de trilha, covariância.

ABSTRACT

With the objective of verifying the variability effect between replications of number of days between sowing and 50% tussling, plant height harvesting and final plant population on the experimental error. Data from 15 field experiments of corn grain yield were analyzed. The experiments were conducted in Rio Grande do Sul state. Data were submitted to the variance and path coefficient analyses with grain yield as the main variable. Variance analyzes of grain seed yield was adjusted to plant population by averaged population covariance, population covariance and stratified correction. Cultivar selection and plant management that results in uniform plant population among replications reduce the experimental error of grain yield independent of plant height and maturity.

Key words: *Zea mays*, experimental precision, path analysis, covariance.

INTRODUÇÃO

A variação entre as unidades experimentais que recebem o mesmo tratamento constitui uma estimativa do erro experimental (RAMALHO et al., 2000; STORCK et al., 2000a), com interferência direta nos testes de hipóteses e nos procedimentos de comparações múltiplas de médias, ou seja, à medida que aumenta o erro experimental diminui o valor da estatística F, dificultando a rejeição da hipótese H_0 , assim como, maior diferença entre médias de tratamentos será necessária para ser significativa (STORCK et al., 2000a).

A precisão experimental dos ensaios de competição de cultivares de milho é baixa (LOPES, 1993; LOPES & STORCK, 1995; LÚCIO, 1997), ocasionando discriminação ineficiente entre as cultivares, o que pode induzir a conclusões incorretas em relação às cultivares a serem indicadas aos produtores.

Em ensaios de competição de cultivares, devem-se manter as condições experimentais uniformes. Para isso, necessita-se de cuidados na implantação, na condução dos ensaios e na coleta dos dados, visando garantir que a superioridade de uma cultivar em relação à outra reflita sua superioridade genética (CRUZ & CARNEIRO, 2003).

O uso dos princípios básicos da experimentação (repetição, casualização e controle

¹Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), Rua Gonçalves Dias, 570, Bairro Menino Deus, 90130-060, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: alberto-cargnelutti@fepagro.rs.gov.br

²Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). 97105-900. Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: lindolfo@smail.ufsm.br, sjlopes@ccr.ufsm.br, adlucio@smail.ufsm.br

local), além da condução e da análise adequada de experimentos são fundamentais para manter o erro experimental em níveis aceitáveis (STEEL et al., 1997; STORCK et al., 2000a; CRUZ & CARNEIRO, 2003). Outras formas de minimizar o efeito do erro experimental são o uso de maior número de repetições (GOMES, 1994; STORCK et al., 2000a), de unidades experimentais homogêneas, de tratos culturais uniformes (LOPES & STORCK, 1995; LÚCIO, 1997). Além dessas, CRUZ & CARNEIRO (2003) incluem a mensuração de variáveis auxiliares, ou covariáveis, relacionadas às variáveis principais, como uma das técnicas experimentais utilizadas para reduzir a variação ambiental. Assim, a correção prévia dos dados quanto à desuniformidade na população de plantas consiste em uma forma de se fazerem comparações mais apropriadas sobre a superioridade genotípica (CRUZ & CARNEIRO, 2003).

Uma das formas de obter população uniforme é pela semeadura em excesso, efetuando-se o desbaste para a população desejada quando as plantas estão em estágio inicial de crescimento. Entretanto, mesmo após esta prática, a parcela pode apresentar falhas causadas por precipitação pluvial inadequada à emergência, ação de pragas e doenças. A desuniformidade da população de plantas tem reflexos nas análises estatísticas quando o caráter não é medido apenas nas plantas competitivas (VENCOVSKY & CRUZ, 1991). Assim, uma maneira de se considerar o efeito de população em análises estatísticas é incluí-lo no modelo como covariável.

A análise de covariância com a produtividade de grãos, usando-se como covariável o número de plantas na colheita (VERONESI et al., 1995; STORCK et al., 2000b; SCHMILDT et al., 2001; CARGNELUTTI FILHO & STORCK, 2004) e o número de plantas e de espigas na colheita (STORCK et al., 2002), tem sido utilizada buscando diminuir o erro experimental em ensaios de competição de cultivares de milho.

Os métodos de correção da produtividade de parcelas com populações variadas têm sido aplicados com maior frequência, por causa, principalmente, da disponibilidade de técnicas computacionais capazes de solucionar o volume de cálculos exigido. Trabalhos com dados simulados e de experimentos realizados no campo, envolvendo métodos de correção de estande para estimar produtividade, têm sido realizados (VENCOVSKY & CRUZ, 1991; VERONESI et al., 1995; SCHMILDT et al., 2001; CARGNELUTTI FILHO & STORCK, 2004). De maneira geral, conforme estatísticas utilizadas na verificação da eficiência dos métodos, os resultados mostram-se promissores quanto à discriminação de

cultivares, apontando uma tendência de melhorar a precisão experimental, principalmente nos métodos que utilizam o número de plantas como covariável.

Técnicas culturais têm sido estudadas na cultura do milho visando melhorar a precisão experimental, tais como: adubação (LOPES, 1993), controle de plantas daninhas, distribuição de sementes e adubos, proteção das plantas contra insetos (LOPES & STORCK, 1995), tratamento de sementes, desbaste, controle de insetos e plantas daninhas (LÚCIO, 1997). Também, o uso de bordadura nas extremidades das fileiras (CARGNELUTTI FILHO et al., 2003b) e a análise espacial pelo método de Papadakis (CARGNELUTTI FILHO et al., 2003a) foram estudados visando reduzir o erro experimental em ensaios de competição de cultivares de milho.

Supõe-se que a variabilidade, entre as repetições, quanto ao ciclo, à estatura e à população final de plantas, influencia na variação da produtividade de grãos de milho. O conhecimento destas interferências pode fornecer subsídios em relação às características de maior relevância no momento da escolha da cultivar a ser utilizada em experimentos (de adubação, de espaçamentos, de épocas de aplicação, de doses de produtos, etc.) com a cultura do milho, objetivando diminuir o erro experimental devido à heterogeneidade do material experimental.

O objetivo deste trabalho foi verificar a interferência da variabilidade entre as repetições do ciclo, da estatura e da população de plantas na precisão experimental da produtividade de grãos de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados os dados da produtividade de grãos de milho corrigidos a 13% de umidade (PROD), do número de dias da semeadura até 50% do florescimento masculino (DF), da estatura de plantas na colheita (EP) e da população final de plantas (POP) de quinze ensaios de competição de cultivares de milho, realizados no Estado do Rio Grande do Sul, nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04 (Tabela 1).

Em todos os ensaios, as unidades experimentais que continham as cultivares foram casualizadas conforme o delineamento blocos ao acaso com três repetições, sendo as mesmas constituídas de duas fileiras com 5,0m de comprimento, espaçadas a 0,8m. Realizaram-se as semeaduras visando obter populações finais de 55.000 e 65.000 plantas ha⁻¹ em relação aos ensaios dos ciclos precoce e superprecoce, respectivamente, com exceção dos ensaios 1 e 8 que foram semeados visando 65.000 plantas ha⁻¹.

Em cada um dos ensaios, realizou-se a análise de variância e teste F a 5% de probabilidade em

Tabela 1 - Número do ensaio, número de cultivares de milho avaliadas nos anos agrícolas de 2002/2003 e 2003/2004, em diferentes grupos.

Ensaio	Grupo de ensaio		Número de cultivares	Ano agrícola
	Categoria ⁽¹⁾	Ciclo		
1	Estadual	Precoce	36	2002/2003
2	Estadual	Precoce	40	2003/2004
3	Estadual	Precoce	40	2003/2004
4	Estadual	Superprecoce	11	2002/2003
5	Estadual	Superprecoce	11	2002/2003
6	Estadual	Superprecoce	11	2002/2003
7	Estadual	Superprecoce	9	2003/2004
8	Indicado	Precoce	27	2002/2003
9	Indicado	Precoce	27	2002/2003
10	Indicado	Precoce	26	2003/2004
11	Indicado	Precoce	26	2003/2004
12	Indicado	Superprecoce	18	2002/2003
13	Indicado	Superprecoce	18	2002/2003
14	Indicado	Superprecoce	16	2003/2004
15	Indicado	Superprecoce	16	2003/2004

⁽¹⁾ Na categoria dos ensaios estaduais, as cultivares avaliadas foram aquelas ainda não indicadas aos produtores, e as indicadas foram estudadas na categoria dos ensaios indicados.

relação às variáveis PROD, DF, EP e POP. Estimou-se a matriz de coeficientes de correlação residual de Pearson entre as variáveis PROD, DF, EP e POP, fez-se o diagnóstico da multicolinearidade nesta matriz, visando manter o controle sobre quais variáveis poderiam ser eliminadas do estudo para evitar estimativas de efeitos diretos e indiretos viesados na análise de trilha. Na análise de trilha, avaliou-se o efeito direto e indireto das correlações residuais de DF, EP e POP sobre PROD. Um coeficiente de trilha é simplesmente um coeficiente de regressão parcial estandardizado e, como tal, avalia a influência direta de uma variável sobre a outra e permite a subdivisão do coeficiente de correlação em componentes de efeitos diretos e indiretos (DEWEY & LU, 1959).

Realizou-se a correção da produtividade de grãos em função da população de plantas nos quinze ensaios, por meio dos métodos: covariância com a população média (CM), covariância com a população ideal (CI) e correção estratificada, proposto por SCHMILDT et al. (2001) (CE), conforme CRUZ & CARNEIRO (2003). Nos ensaios em que a análise de variância em relação à população final apresentou significância para o efeito de cultivar, calculou-se o valor da estatística diferença mínima significativa entre as cultivares, pelo teste de Tukey (DMS) a 5% de probabilidade, que foi utilizado para obtenção dos grupos de cultivares no método de correção estratificada – onde $DMS = q_{\alpha(n; GL_E)} \sqrt{QM_E/J}$, sendo $q_{\alpha(n; GL_E)}$ o valor da tabela para o teste de Tukey, n

cultivares e GL_E graus de liberdade do erro; QM_E a estimativa do erro experimental; e J o número de repetições.

Realizou-se a análise de variância da produtividade de grãos de milho com o ajuste dos dados pela população, e determinaram-se as estatísticas quadrado médio do erro (QM_E), coeficiente de variação experimental (Cv), diferença mínima significativa entre as cultivares pelo teste de Tukey (DMS) e DMS em percentagem da média geral ($DMS\% = 100 * DMS/\hat{m}$). As análises foram realizadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A diferença mínima significativa em percentagem da média (DMS%), da produtividade de grãos (PROD), oscilou de 14,53% (ensaio 5) a 62,91% (ensaio 6), mostrando variabilidade da precisão experimental entre os ensaios (Tabela 2). Dos 15 ensaios, de acordo com os limites de classe dessa estatística, estabelecidos por LÚCIO (1997), apenas quatro têm precisão alta (>9,0 e <25,5), sete, precisão média (25,5 a 48,5), e quatro, precisão baixa (>48,5 e ≤ 65,0). Esta precisão experimental está próxima à relatada por LOPES (1993), LOPES & STORCK (1995) e LÚCIO (1997). Apesar de 73,3% dos ensaios apresentarem precisão experimental, de média a baixa, apenas em três ensaios (3, 6, e 12) não houve diferença significativa entre cultivares, apontando que a discriminação das

Tabela 2 - Quadrados médios de cultivares (QMc) e do resíduo (QMe) e do resíduo experimental (CVe), coeficiente de variação experimental (CVe), diferença mínima significativa a 5% pelo teste de Tukey em percentagem da média (DMS%), coeficiente de variação genético (CVg), em relação aos caracteres produtividade de grãos em kg ha⁻¹, número de dias da semeadura até 50% do florescimento masculino, estatura de plantas e população final de plantas ha⁻¹ em quinze ensaios de cultivares de milho⁽¹⁾.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)															
QMc	7.962.863*	2.516.606*	4.765.752 ^{ms}	8.895.993*	6.247.796*	4.757.662 ^{ms}	4.293.853*	3.904.346*	5.246.251*	1.518.293*	2.243.994*	4.553.939 ^{ms}	3.755.633*	9.256.146*	2.232.303*
QMe	1.292.532	514.233	3.105.629	523.680	142.646	2.270.376	868.563	1.131.529	917.053	445.797	323.305	2.842.699	198.949	781.796	882.449
Média	10.968	7.067	9.492	10.393	7.670	7.067	9.633	10.965	6.020	6.513	9.992	10.563	8.857	10.149	6.135
CVe(%)	10,37	10,15	18,57	6,96	4,92	21,32	9,68	9,70	15,91	10,25	5,69	15,96	5,04	8,71	15,31
DMS	3.722	2.369	5.821	2.135	1.114	4.445	2.707	3.391	3.053	2.121	1.806	5.187	1.372	2.690	2.858
DMS%	33,93	33,51	61,32	20,54	14,53	62,91	28,10	30,92	50,71	32,57	18,08	49,10	15,49	26,51	46,59
CVg(%)	13,59	11,56	7,84	16,07	18,60	12,89	11,09	8,77	19,95	9,18	8,01	7,15	12,29	16,56	10,93
número de dias da semeadura até 50% do florescimento masculino															
QMc	36,58*	21,73*	19,97*	16,25*	30,79*	7,87*	17,75*	25,78*	25,29*	20,59*	17,16*	15,74*	28,27*	22,60*	21,21*
QMe	1,41	1,58	6,86	2,14	1,85	0,25	0,63	1,28	1,75	1,51	1,61	1,04	0,80	1,66	1,50
Média	82	72	87	81	77	58	81	81	75	73	84	78	74	82	62
CVe(%)	1,46	1,75	3,02	1,81	1,76	0,85	0,97	1,40	1,76	1,69	1,50	1,31	1,21	1,57	1,96
DMS	3,89	4,15	8,65	4,31	4,01	1,46	2,30	3,61	4,22	3,90	4,03	3,13	2,75	3,92	3,73
DMS%	4,77	5,80	9,97	5,34	5,20	2,51	2,83	4,45	5,62	5,38	4,77	4,02	3,71	4,79	5,98
CVg(%)	4,20	3,61	2,41	2,69	4,02	2,74	2,94	3,52	3,73	3,48	2,70	2,84	4,09	3,23	4,11
estatura de plantas (cm)															
QMc	647*	628*	411*	362*	509*	480*	921*	361*	713*	369*	640*	224*	251*	413*	422*
QMe	124	157	117	112	74	174	108	152	93	177	102	114	68	125	164
Média	209	208	235	192	201	262	232	197	224	203	241	185	204	221	225
CVe(%)	5,33	6,03	4,62	5,52	4,29	5,05	4,47	6,25	4,30	6,54	4,19	5,77	4,05	5,06	5,69
DMS	36	41	36	31	25	39	30	39	31	42	32	33	25	34	39
DMS%	17,46	19,90	15,25	16,28	12,64	14,89	13,00	19,92	13,69	20,77	13,32	17,75	12,46	15,40	17,31
CVg(%)	6,33	6,04	4,22	4,75	5,99	3,86	7,09	4,23	6,42	7,47	5,57	3,27	3,82	4,59	4,12
população final de plantas ha ⁻¹															
QMc	55.558.688 ^{ms}	38.967.682*	49.091.880*	21.137.683 ^{ms}	8.693.182 ^{ms}	100.350.379*	34.693.287*	47.156.787 ^{ms}	36.197.175 ^{ms}	27.573.718 ^{ms}	21.112.179 ^{ms}	29.382.561 ^{ms}	28.955.610*	83.990.885*	116.265.191 ^{ms}
QMe	38.299.689	23.459.869	19.721.888	16.017.965	3.778.409	21.259.470	12.384.259	28.652.461	21.780.775	24.112.179	12.566.506	24.900.861	6.932.530	34.212.240	95.946.181
Média	65.899	46.688	49.167	65.454	62.462	61.061	60.463	66.843	51.235	45.288	52.019	66.376	61.991	52.474	55.339
CVe(%)	9,39	10,37	9,03	6,11	3,11	7,55	5,82	8,01	9,11	10,84	6,81	7,52	4,25	11,15	17,70
DMS	20.259	15.998	14.668	11.808	5.735	13.603	10.220	17.063	14.877	15.598	11.261	15.351	8.100	17.797	29.803
DMS%	30,74	34,27	29,83	18,04	9,18	22,28	16,90	25,53	29,04	34,44	21,65	23,13	13,07	33,92	53,86
CVg(%)	3,64	4,87	6,36	2,00	2,05	8,41	4,51	3,72	4,28	2,37	3,24	1,84	4,37	7,76	4,70

^{ms} Não-significativo. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

⁽¹⁾ Descrição dos ensaios na Tabela 1.

mesmas não foi atingida nesses ambientes (Tabela 2). Pela estatística coeficiente de variação experimental, sete ensaios apresentaram precisão alta ($\leq 10\%$) e oito com precisão média ($>10\%$ e $\leq 22\%$) (SCAPIM et al., 1995).

Em relação ao número de dias da sementeira até 50% do florescimento masculino (DF) e à estatura de plantas (EP), houve diferença significativa entre cultivares em todos os ensaios. Quanto à DF, há a possibilidade de existir diferença significativa entre cultivares e de eles serem aceitos como pertencentes ao mesmo ciclo devido ao fato de a diferença mínima significativa (DMS) ser baixa (1,46 a 4,22 dias), com exceção do ensaio 3 (DMS = 8,65 dias). Resultados semelhantes foram observados por STORCK et al. (2005), que citam que as cultivares de milho encontram-se mal agrupadas quanto ao ciclo e, por consequência, quanto à estatura de plantas, aumentando a heterogeneidade do material experimental nos ensaios, não atendendo à recomendação de agrupar tratamentos de comportamentos semelhantes com objetivo de reduzir a competição interparcelar (STORCK et al., 2000a). Assim, a discriminação das cultivares quanto à PROD pode ser prejudicada, se houver efeito direto dessas variáveis.

A estatística do teste F ($\alpha = 0,05$) em relação à população final de plantas (POP) foi significativa nos ensaios 2, 3, 6, 7, 13 e 14 (40% dos ensaios), indicando diferenças no comportamento das cultivares submetidas a esses ambientes (Tabela 2). Nestes ensaios, a correção dos dados da produtividade de grãos, usando POP como covariável, deveria ser aplicada usando-se o método da correção estratificada (SCHMILDT et al., 2001), por considerar essas diferenças. Nos demais nove ensaios, as diferenças entre cultivares, foram não-significativas, e, nestes casos, a correção da população de plantas é um procedimento adequado se houver significância da covariável (STEEL et al.; 1997; RAMALHO et al., 2000; CRUZ & CARNEIRO, 2003). No entanto, segundo VENCOVSKY & CRUZ (1991) e VERONESI et al. (1995), tem-se realizado a correção em todos os ambientes, utilizando-se a covariância para a população ideal, por permitir a estabilização dos valores ajustados ao redor desta população, que deve ser comum a todos os ensaios.

A relação média dos quinze ensaios entre coeficiente de variação experimental e coeficiente de variação genético (CV_e/CV_g), das variáveis PROD, DF, EP e POP foram: 1, 0,5, 1,1 e 2,3, respectivamente. Esses resultados evidenciam que, em ensaios de cultivares de milho, a variação experimental e a variação genética são semelhantes quanto à variável PROD. Esses resultados confirmam a baixa precisão desses ensaios e a necessidade de técnicas experimentais adequadas para minimizar a variação ambiental. Em relação a DF, a variação ambiental é metade da variação genética, podendo isto ser explicado pelo menor efeito de variáveis não controladas no ensaio sobre esta característica. A EP, por apresentar uma variação residual maior que a variação genética, poderá exercer influência sobre a variação residual da PROD. Da mesma forma, a POP apresenta uma variação ambiental 2,3 vezes maior que a variação genética. Assim, espera-se maior efeito da variação residual da POP, efeito intermediário da EP e menor da DF sobre a variação residual da PROD.

O diagnóstico da multicolinearidade (CRUZ, 2001) entre as variáveis PROD, DF, EP e POP, mostrou presença de colinearidade fraca (CRUZ & CARNEIRO, 2003), com o número de condição oscilando de 2,0 a 11,5, nas quinze matrizes de coeficientes de correlação residual, o que permitiu a realização da análise de trilha sem colinearidade.

Houve correlação linear significativa e de efeito direto semelhante, em magnitude e sinal, entre os erros experimentais das variáveis DF x PROD em três ensaios (3, 8 e 14), EP x PROD em dois ensaios (4 e 9) e POP x PROD em dez ensaios (1, 2, 3, 6, 8, 10, 11, 12, 14 e 15), explicando a verdadeira associação entre as variáveis causais DF, EP e POP e o efeito principal, produtividade de grãos de milho (Tabela 3). Assim, confirma-se a maior interferência da variabilidade da POP sobre a precisão experimental da PROD e menor interferência da DF e EP. A menor influência da DF já era esperada por ser uma característica dependente da soma térmica e, por isso, sofre menor interferência de outras fontes de erro experimental. Além disso, nos três ensaios com associação linear negativa e de efeito

Tabela 3 - Estimativas dos coeficientes de correlação residual de Pearson ⁽¹⁾ e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis número de dias da semeadura até 50% do florescimento masculino (DF), estatura de plantas (EP) e população final de plantas (POP) sobre a produtividade de grãos (PROD) em quinze ensaios de cultivares de milho ⁽²⁾.

Efeito	DF	EP	POP	DF	EP	POP	DF	EP	POP
	1			2			3		
Direto sobre PROD	0,1094	0,1850	0,4405	-0,0396	0,0708	0,3387	-0,3365	-0,1659	0,2797
Indireto via DF		0,0349	-0,0283		0,0057	0,0065		-0,0522	0,0667
Indireto via EP	0,0590		-0,0171	-0,0103		0,0029	-0,0257		-0,0076
Indireto via POP	-0,1139	-0,0407		-0,0555	0,0140		-0,0554	0,0129	
Total (Corr. Pearson)	0,0545 ^{ns}	0,1792 ^{ns}	0,3951*	-0,1054 ^{ns}	0,0905 ^{ns}	0,3481*	-0,4177*	-0,2052 ^{ns}	0,3388*
Coefficiente de determinação		0,2131			0,1285			0,2694	
Efeito da variável residual		0,8871			0,9336			0,8548	
	4			5			6		
Direto sobre PROD	-0,0927	0,5946	0,2461	-0,0761	0,4154	0,0510	-0,3313	-0,0293	0,7503
Indireto via DF		0,0153	0,0046		0,0128	-0,0003		0,0246	-0,0330
Indireto via EP	-0,0981		-0,0791	-0,0700		0,0305	0,0022		-0,0091
Indireto via POP	-0,0122	-0,0327		0,0002	0,0038		0,0747	0,2330	
Total (Corr. Pearson)	-0,2030 ^{ns}	0,5772*	0,1716 ^{ns}	-0,1460 ^{ns}	0,4320 ^{ns}	0,0813 ^{ns}	-0,2545 ^{ns}	0,2283 ^{ns}	0,7082*
Coefficiente de determinação		0,4043			0,1947			0,6090	
Efeito da variável residual		0,7718			0,8974			0,6253	
	7			8			9		
Direto sobre PROD	-0,0261	0,3714	-0,0919	-0,2677	0,1711	0,4806	-0,0924	0,4377	0,0973
Indireto via DF		0,0026	-0,0093		-0,0904	0,0545		0,0158	0,0099
Indireto via EP	-0,0377		0,1451	0,0578		0,0038	-0,0750		0,0367
Indireto via POP	-0,0330	-0,0359		-0,0978	0,0108		-0,0104	0,0082	
Total (Corr. Pearson)	-0,0967 ^{ns}	0,3382 ^{ns}	0,0438 ^{ns}	-0,3078*	0,0915 ^{ns}	0,5389*	-0,1778 ^{ns}	0,4617*	0,1439 ^{ns}
Coefficiente de determinação		0,1241			0,3570			0,2325	
Efeito da variável residual		0,9359			0,8018			0,8761	
	10			11			12		
Direto sobre PROD	0,0147	0,3229	0,6418	0,0259	0,1003	0,3187	-0,0691	0,0628	0,4236
Indireto via DF		-0,0005	-0,0016		0,0020	-0,0002		0,0146	-0,0101
Indireto via EP	-0,0114		-0,0715	0,0079		-0,0037	-0,0133		0,0156
Indireto via POP	-0,0710	-0,1420		-0,0020	-0,0117		0,0622	0,1055	
Total (Corr. Pearson)	-0,0678 ^{ns}	0,1804 ^{ns}	0,5687*	0,0318 ^{ns}	0,0906 ^{ns}	0,3149*	-0,0202 ^{ns}	0,1829 ^{ns}	0,4291*
Coefficiente de determinação		0,4222			0,1103			0,1947	
Efeito da variável residual		0,7601			0,9433			0,8974	
	13			14			15		
Direto sobre PROD	-0,2033	0,2668	0,3161	-0,2636	0,1202	0,6854	-0,1927	0,1989	0,3429
Indireto via DF		0,0190	0,0614		0,0159	0,0705		0,0174	-0,0044
Indireto via EP	-0,0249		-0,0372	-0,0072		0,0258	-0,0180		0,0510
Indireto via POP	-0,0954	-0,0441		-0,1832	0,1472		0,0079	0,0880	
Total (Corr. Pearson)	-0,3236 ^{ns}	0,2416 ^{ns}	0,3402 ^{ns}	-0,4541*	0,2833 ^{ns}	0,7817*	-0,2028 ^{ns}	0,3043 ^{ns}	0,3895*
Coefficiente de determinação		0,2378			0,6896			0,2331	
Efeito da variável residual		0,8731			0,5572			0,8757	

⁽¹⁾ ns Não-significativo. * Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t com 3n - 2 graus de liberdade, sendo n o número de cultivares avaliadas em cada ensaio conforme descrição na Tabela 1. ⁽²⁾ descrição dos ensaios na Tabela 1.

direto semelhante em magnitude e sinal do erro da DF sobre o erro da PROD, revela que o erro da DF não diminui a precisão experimental da PROD.

Em dois ensaios, a variação residual de EP contribui para aumentar a variação residual da PROD. Essa correlação linear, pode, provavelmente, ser explicada por parcelas adjacentes, com plantas de maior estatura, exercerem maior competição por água, luz e nutrientes em relação às cultivares de menor estatura. Assim, em alguns casos, ensaios com cultivares heterogêneas quanto à EP podem inflacionar o erro experimental da PROD.

Em 67% dos ensaios, maior erro experimental da variável POP ocasionou diminuição da precisão experimental da PROD, mostrando a importância da obtenção de estandes homogêneos na comparabilidade das cultivares (CRUZ & CARNEIRO, 2003; CARGNELUTTI FILHO & STORCK, 2004). Essa correlação, provavelmente, é explicada pelo reduzido efeito compensatório nos componentes do rendimento de plantas de milho (CRUZ & CARNEIRO, 2003). Esses resultados corroboram com STORCK et al. (2000a), que citam a importância em manter a homogeneidade do material experimental a fim de manter o erro experimental em níveis aceitáveis.

Assim, do ponto de vista de técnicas experimentais, a variabilidade entre as repetições da POP deve ser minimizada por técnicas culturais como a semeadura em excesso e posterior desbaste, além disso, por técnicas de análise de covariância, incluindo o uso da POP como covariável na correção da PROD. Então, ao instalar experimentos com a cultura de milho, as cultivares escolhidas devem ser homogêneas quanto ao número de espigas (CARGNELUTTI FILHO et al., 2004) e também quanto à população final.

Em três ensaios (5, 7 e 13), nenhuma variável causal (erro experimental da DF, EP e POP) apresentou correlação linear significativa com o erro experimental da PROD (Tabela 3). De modo geral, esses ensaios coincidiram com menores valores das estatísticas CVe, DMS e DMS%, em relação às variáveis POP e PROD (Tabela 2), corroborando com CARGNELUTTI FILHO & STORCK (2004). Esses autores afirmam que apesar de maiores ganhos obtidos na correção da PROD, utilizando a POP como covariável, em ensaios com estandes inadequados, a precisão experimental é melhor naqueles com estandes adequados (populações homogêneas).

De maneira geral, houve tendência de melhorar a precisão experimental da PROD com a aplicação dos métodos de correção que utilizam o número de plantas como covariável (Tabela 4), concordando com VENCOVSKY & CRUZ (1991),

VERONESI et al. (1995), SCHMILDT et al. (2001) e CARGNELUTTI FILHO & STORCK (2004), o que evidencia a adequabilidade da análise de covariância em aumentar a discriminação de cultivares (STORCK et al., 2000b; STORCK et al., 2002; CRUZ & CARNEIRO; 2003).

As maiores reduções nas estatísticas CVe, DMS e DMS%, através da correção da produtividade de grãos em função da população final de plantas por meio dos métodos da correção pela covariância com a população média (CM), correção pela covariância com a população ideal (CI) e correção estratificada (CE), em relação à PROD sem correção foram obtidas nos ensaios 6 e 14 (Tabela 4). Esses maiores ganhos na discriminação de cultivares, podem ser explicados pelos altos efeitos diretos (ensaio 6 = 0,7503, ensaio 14 = 0,6854) do erro experimental da POP no erro experimental da PROD (Tabela 3). Por outro lado, os ensaios 4, 5, 7, 9 e 13, apresentaram menores ganhos na precisão experimental através dos métodos de correção. Esse resultado é explicado pela ausência de correlação entre os erros experimentais dessas variáveis naqueles ensaios (Tabela 3). Portanto, o ganho foi variável entre os ensaios, e os maiores ganhos foram obtidos em ensaios com elevada correlação linear entre as variáveis, principalmente da POP. Porém, os ensaios, preferencialmente, devem ser conduzidos de forma a atingir populações homogêneas, pois, apesar de maiores ganhos obtidos na correção da PROD em ensaios com estandes inadequados, a precisão experimental é melhor naqueles com estandes adequados (CARGNELUTTI FILHO & STORCK, 2004).

Diante desses resultados, pode-se inferir que a variabilidade da POP é a principal variável a ser considerada na seleção de uma cultivar para ser utilizada em ensaios, pois se relaciona diretamente com o erro experimental da PROD. Como formas de minimizar este erro, o pesquisador deve conduzir seu ensaio de tal modo a conseguir estande adequado e utilizar a técnica de análise de covariância com a POP para aumentar a precisão experimental.

CONCLUSÃO

Para a redução do erro experimental da produtividade de grãos de milho, a escolha de cultivares e o manejo deve representar maior homogeneidade do número de plantas entre as repetições, independente do ciclo e da estatura de plantas.

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Agrônomo José Paulo Guadagnin e demais pesquisadores que auxiliaram na realização dos ensaios, pela cessão dos dados.

Tabela 4 - Quadrados médios de cultivares (QMc) e do resíduo (QMe) e do resíduo (QMe), coeficiente de variação experimental (CVe), diferença mínima significativa a 5% pelo teste de Tukey (DMS), diferença mínima significativa a 5% pelo teste de Tukey em percentagem da média (DMS%) em relação à produtividade de grãos em kg ha⁻¹ sem e com correção da produtividade de grãos em função da população final de plantas por meio dos métodos da correção pela covariância com a população média, correção pela covariância com a população ideal e correção estratificada em quinze ensaios de cultivares de milho⁽¹⁾.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sem correção															
QMc	7.962.863*	2.516.606*	4.765.752 ^{ns}	8.895.993*	6.247.796 ⁴	4.757.662 ^{ns}	4.293.853*	3.904.346*	5.246.251*	1.518.293*	2.243.994*	4.553.939 ^{ns}	3.755.633*	9.256.146*	2.232.303
QMe	1.292.532	514.233	3.105.629	523.680	142.646	2.270.376	868.563	1.131.529	917.053	445.797	323.305	2.842.699	198.949	781.796	882.449
Média	10.968	7.067	9.492	10.393	7.670	7.067	9.633	10.965	6.020	6.513	9.992	10.563	8.857	10.149	6.135
CVe(%)	10,37	10,15	18,57	6,96	4,92	21,32	9,68	9,70	15,91	10,25	5,69	15,96	5,04	8,71	15,31
DMS	3.722	2.369	5.821	2.135	1.114	4.445	2.707	3.391	3.053	2.121	1.806	5.187	1.372	2.690	2.858
DMS%	33,93	33,51	61,32	20,54	14,53	62,91	28,10	30,92	50,71	32,57	18,08	49,10	15,49	26,51	46,59
correção pela covariância com a população média															
QMc	6.985.491*	2.075.256*	2.891.814 ^{ns}	8.520.934*	6.178.764 ⁴	4.371.193*	4.504.740*	2.436.920*	5.149.234*	1.193.574*	2.114.998*	4.075.988 ^{ns}	3.033.986*	6.156.843*	1.522.977*
QMe	1.090.756	451.941	2.749.248	508.318	141.665	1.131.749	866.852	802.915	898.127	301.730	291.204	2.319.129	175.905	304.174	748.418
Média	10.968	7.067	9.492	10.393	7.670	7.067	9.633	10.965	6.020	6.513	9.992	10.563	8.857	10.149	6.135
CVe(%)	9,52	9,51	17,47	6,86	4,91	15,05	9,67	8,17	15,74	8,43	5,40	14,42	4,74	5,43	14,10
DMS	3.419	2.220	5.477	2.103	1.110	3.139	2.704	2.856	3.021	1.745	1.714	4.685	1.290	1.678	2.632
DMS%	31,17	31,42	57,69	20,24	14,48	44,42	28,07	26,05	50,18	26,79	17,16	44,35	14,57	16,53	42,91
correção pela covariância com a população ideal															
QMc	6.985.597*	2.075.361*	2.891.595 ^{ns}	8.521.166*	6.178.764 ⁴	4.371.629*	4.504.481*	2.437.250*	5.149.085*	1.193.602*	2.114.936*	4.075.916 ^{ns}	3.033.771*	6.156.444*	1.522.612*
QMe	1.090.788	451.964	2.749.214	508.266	141.665	1.131.775	867.003	802.910	898.080	301.703	291.274	2.319.533	175.875	304.118	748.616
Média	10.177	7.496	10.276	10.379	7.710	7.978	9.685	9.697	6.131	7.264	10.142	10.364	9.030	11.629	6.495
CVe(%)	10,26	8,97	16,14	6,87	4,88	13,33	9,61	9,24	15,46	7,56	5,32	14,70	4,64	4,74	13,32
DMS	3.419	2.220	5.476	2.103	1.110	3.139	2.704	2.856	3.021	1.745	1.714	4.685	1.290	1.678	2.633
DMS%	33,59	29,62	53,29	20,26	14,40	39,34	27,92	29,46	49,27	24,02	16,90	45,21	14,29	14,43	40,53
Correção estratificada															
QMc	6.985.597*	2.337.997*	4.033.945 ^{ns}	8.521.166*	6.178.764 ⁴	4.156.928 ^{ns}	4.055.771*	2.437.250*	5.149.085*	1.193.602*	2.114.936*	4.075.916 ^{ns}	3.568.500*	6.048.766*	1.522.612*
QMe	1.090.788	449.886	2.755.678	508.266	141.665	2.001.786	821.717	802.910	898.080	301.703	291.274	2.319.533	184.461	295.901	748.616
Média	10.177	7.517	10.202	10.379	7.710	7.463	9.847	9.697	6.131	7.264	10.142	10.364	8.967	11.812	6.495
CVe(%)	10,26	8,92	16,27	6,87	4,88	18,96	9,21	9,24	15,46	7,56	5,32	14,70	4,79	4,61	13,32
DMS	3.419	2.215	5.483	2.103	1.110	4.174	2.633	2.856	3.021	1.745	1.714	4.685	1.321	1.655	2.633
DMS%	33,59	29,47	53,74	20,26	14,40	55,93	26,73	29,46	49,27	24,02	16,90	45,21	14,73	14,01	40,53

^{ns} Não-significativo. * Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

⁽¹⁾ descrição dos ensaios na Tabela 1.

REFERÊNCIAS

- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. População de plantas na comparação do rendimento de grãos entre cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.17-25, 2004.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Ajustes de quadrado médio do erro em ensaios de competição de cultivares de milho pelo método de Papadakis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.467-473, 2003a.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. A precisão experimental relacionada ao uso de bordaduras nas extremidades das fileiras em ensaios de milho. **Ciência Rural**, v.33, p.607-614, 2003b.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Identificação de variáveis causadoras de erro experimental na variável rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**, v.34, p.707-713, 2004.
- CRUZ, C.D. **Programa GENES** – versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: UFV, 2001. 648p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2003. V.2.
- DEWEY, D.R.; LU, K.H. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. **Agronomy Journal**, v.51, p.515-518, 1959.
- GOMES, F.P. A importância do número de repetições nos experimentos. **Revista de Agricultura**, v.69, p.243-245, 1994.
- LOPES, S.J. **Avaliação do efeito de diferentes formas de adubação sobre a precisão de ensaios de milho**. 1993. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria.
- LOPES, S.J.; STORCK, L. A precisão experimental para diferentes manejos na cultura do milho. **Ciência Rural**, v.25, p.49-53, 1995.
- LÚCIO, A.D. **Parâmetros da precisão experimental das principais culturas anuais do Estado do Rio Grande do Sul**. 1997. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria.
- RAMALHO, M.A.P. et al. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2000. 326p.
- SCAPIM, C.A. et al. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.683-686, 1995.
- SCHMILDT, E.R. et al. Avaliação de métodos de correção de estande para estimar a produtividade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1011-1018, 2001.
- STEEL, R.G.D. et al. **Principles and procedures of statistics**. 3.ed. New York: McGraw Hill Book, 1997. 666p.
- STORCK, L. et al. Adequação de ciclo e estatura de planta é essencial para a comparação de genótipos de milho. **Ciência Rural**, v.35, n.1, p.16-23, 2005.
- STORCK, L. et al. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: UFSM, 2000a. 198p.
- STORCK, L. et al. Análise de covariância para melhoria da capacidade de discriminação em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1311-1316, 2000b.
- STORCK, L. et al. Diferenças de produtividade de grãos entre cultivares indicados de milho, ajustado para um mesmo número de plantas ou de espigas. **Ciência Rural**, v.32, p.745-750, 2002.
- VENCOVSKY, R.; CRUZ, C.D. Comparação de métodos de correção do rendimento de parcelas com estandes variados – I: Dados simulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.647-657, 1991.
- VERONESI, J.A. et al. Comparação de métodos de ajuste do rendimento de parcelas com estandes variados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.169-174, 1995.