

Estimativa do número de repetições para a avaliação de caracteres de produtividade e de morfologia em genótipos de soja

Alberto Cargnelutti Filho^{1*}, Elaine Cristine Piffer Gonçalves²

¹Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

*Autor correspondente, e-mail: cargnelutti@pq.cnpq.br

²Pesquisadora Científica, Agência Paulista de tecnologia dos Agronegócios, Alta Mogiana, Colina, SP, Brasil

Resumo

A estimativa do número de repetições obtida de dados de vários experimentos realizados num determinado local é importante por minimizar recursos humanos e financeiros e aproveitar as informações existentes. O objetivo deste trabalho foi determinar o número de medições (repetições) necessários para avaliar caracteres de produtividade e de morfologia em genótipos de soja (*Glycine max* L. Merrill) e avaliar a variabilidade do número de repetições entre os caracteres. O estudo constituiu-se na avaliação de 28 genótipos de soja por meio de cinco experimentos conduzidos em Jaboticabal, São Paulo, Brasil, no período de 2002 a 2005. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Avaliaram-se os caracteres de produtividade (produtividade de grãos, número de vagens por planta e massa de cem grãos) e de morfologia (altura de planta na maturação e de inserção de primeira vagem, número de nós por planta e de ramos por planta). Foi realizada a análise de variância, estimado o coeficiente de repetibilidade e calculado o número de repetições necessário na predição do valor real dos genótipos. Há variabilidade da estimativa do número de repetições entre os caracteres de produtividade e de morfologia. Experimentos com três repetições identificam genótipos de soja superiores com 17,52% (altura de inserção de primeira vagem) a 61,07% (número de nós por planta) de exatidão no prognóstico de seu valor real. Para melhorar a precisão da avaliação de caracteres em plantas de soja, necessita-se utilizar maior número de repetições.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Merrill, correlação intraclasse, repetibilidade, precisão experimental

Estimated number of replications for evaluation of productive and morphologic characters in soybean genotypes

Abstract

Estimating the number of repetitions of data obtained from several experiments performed in given location is important to minimize human and financial resources and leverage the existing information. The objective of this research was to determine how many evaluations (replications) were necessary to predict productive and morphologic characters of soybean genotypes (*Glycine max* L. Merrill) and to verify its variability in the number of replications among characters. Twenty-eight soybean genotypes were evaluated in five experiments conducted in Jaboticabal, São Paulo State, Brazil, from 2002 to 2005. Randomized blocks design with three repetitions was installed to evaluate the following productive characters (seed yield, number of pods per plant and mass of one hundred grains) and morphologic (plant height at maturity, height of first pod insertion, number of nodes per plant and number of branches per plant). It was performed analysis of variance, estimated the repeatability coefficient and calculated the number of repetitions necessary to predict the real value of the genotypes. It was found variability in the number of replications among the productive and morphologic characters. Experiments with three replicates identify soybean genotypes with higher 17.52% (height of first pod insertion) to 61.07% (number of nodes per plant) of real accuracy. To improve the accuracy of the evaluation of characters in soybean plants, you need to use a greater number of repetitions.

Key words: *Glycine max* L. Merrill, intraclass correlation, repeatability, experimental precision

Recebido: XXXXXXXX Aceito: XXXXXXXX

Introdução

Em programas de melhoramento genético de soja (*Glycine max* L. Merrill), são avaliados diversos caracteres em vários genótipos visando à seleção de genótipos superiores. É importante que as diferenças entre as médias de genótipos, detectadas em experimentos, sejam atribuídas ao efeito de genótipo e não à variação do acaso. Assim, o planejamento experimental adequado quanto ao dimensionamento do tamanho e da forma de parcela, do tamanho de amostra e do número de repetições, com base no caráter de interesse, pode discriminar os genótipos eficientemente.

Em soja, pesquisas para estudar o tamanho de parcela e/ou tamanho de amostra e/ou número de repetições têm sido realizadas (Storck et al., 1980; Storck et al., 1982; Estefanel et al., 1984; Martin et al., 2005; Martin et al., 2007; Cargnelutti Filho et al., 2009a; Storck et al., 2009). O tamanho relativo de amostra, com intervalo de confiança de 95% e diferença de 10% para mais e para menos da média estimada, em relação à população de plantas (180 plantas) foi de 5% para a estatura de planta, 22% para o ponto de inserção do primeiro legume, 6% para nós no caule, 129% para ramificações por planta, 35% para legumes por planta, 44% para grãos por planta e 7% para grãos por legume (Storck et al., 1980).

De acordo com Estefanel et al. (1984), em onze caracteres agrônômicos de soja estudados, não se pode utilizar o mesmo tamanho de amostra para estimar a média com a mesma precisão. Mais recentemente, Cargnelutti Filho et al. (2009a), também concluíram que há variabilidade da estimativa do tamanho de amostra entre genótipos quanto ao número de nós por planta e entre experimentos quanto à altura de planta na maturação, ao número de nós por planta, de ramos por planta e de vagens por planta. Concluíram, também, que para melhorar a precisão da avaliação de caracteres em plantas de soja, deve-se usar, pelo menos, 12 plantas por unidade experimental.

Estudando 23 caracteres agrônômicos de soja, Storck et al. (1982), relataram que não se deve utilizar o mesmo tamanho de parcela para estimar esses caracteres, com a mesma precisão. Ainda, com base na produtividade de grãos das cultivares 'BRS 137' e 'Fepagro-RS 10', Martin et al. (2005), determinaram que o número de repetições que confere uma precisão adequada é igual a sete e o tamanho ótimo de parcela é de 3,96 m².

Metodologias para determinar o número de repetições num experimento encontram-se disponíveis em Cochran & Cox (1957), Hatheway (1961), Gomes (1990) e Steel et al. (1997). No entanto, algumas dependem de experimentos específicos e outras são pouco precisas. Recentemente, estimativas de coeficiente de

repetibilidade, obtidas por meio do método da análise de variância (Cruz, 2006), têm sido utilizadas no dimensionamento do número de repetições, para avaliar a produtividade de grãos, em feijão (Cargnelutti Filho et al., 2009b) e em soja (Storck et al., 2009). A abordagem adotada nesses trabalhos permitiu concluir que, ensaios com quatro repetições possibilitam a identificação de cultivares superiores de feijão em relação à produtividade de grãos, com 85% de exatidão no prognóstico de seu valor real (Cargnelutti Filho et al., 2009b); e ensaios com quatro repetições e analisados com o método de Papadakis possibilitam a identificação de genótipos superiores de soja em relação à produtividade de grãos, com 80% de precisão (Storck et al., 2009). Essa técnica de análise aproveita os dados experimentais existentes para redefinição ou manutenção de planejamentos experimentais. Todavia, nenhuma referência ao emprego da análise de repetibilidade para a estimativa do número de repetições, de outros caracteres, na cultura da soja foi encontrada na literatura consultada.

Os objetivos deste trabalho foram determinar o número de medições (repetições) necessários para avaliar caracteres de produtividade e de morfologia de genótipos de soja (*Glycine max* L. Merrill) e verificar a variabilidade do número de repetições entre os caracteres.

Material e Métodos

Vinte e oito genótipos de soja (*Glycine max* L. Merrill) do Programa de Melhoramento Vegetal do Departamento de Produção Vegetal, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Jaboticabal, São Paulo, foram avaliados em cinco experimentos conduzidos em área experimental da FCAV/UNESP (latitude 21°15'22" S, longitude 48°18'18" W e 595 m de altitude). Os experimentos 1, 2, 3 4 e 5 foram implantados, respectivamente, nas seguintes datas de semeadura: maio de 2002, maio de 2003, novembro de 2003, novembro de 2004 e dezembro de 2004. Em todos os experimentos, o delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram compostas por duas fileiras de 4 m de comprimento, espaçadas de 0,50 m. As avaliações foram realizadas nos três metros centrais das linhas, desconsiderando-se 0,5 m em cada extremidade da fileira (área útil = 3 m²).

Em todos os experimentos, o solo foi preparado com arações e gradagens, e a adubação de 250 kg ha⁻¹ da fórmula 4-20-20 (NPK) foi realizada no sulco da semeadura, de acordo com análise química do solo. As sementes foram tratadas com carboxim + thiram (Vitavax® + Thiram 200 SC®) e inoculadas com inoculante turfoso, de acordo com as recomendações da Embrapa

(2005). A semeadura foi realizada manualmente e após a emergência a densidade de plantas foi ajustada, por meio de desbaste, para 25 e 20 plantas por metro linear, respectivamente, para experimentos conduzidos na safrinha (semeadura em maio) e na safra (semeadura em novembro ou dezembro). O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capinas manuais, deixando-se a cultura livre da competição com essas plantas durante todo ciclo. Foram realizados os controles de lagartas e de percevejos, quando essas pragas atingiram o nível de dano econômico, seguindo-se as recomendações da Embrapa (2005). Para o controle dessas pragas foram utilizados endossulfam e monocrotophos, nas dosagens recomendadas.

Foram avaliados os caracteres de produtividade (produtividade de grãos, número de vagens por planta e massa de cem grãos) e de morfologia (altura de planta na maturação e de inserção de primeira vagem, número de nós por planta e de ramos por planta). A produtividade de grãos e a massa de cem grãos foram obtidas a partir de todas as plantas da área útil da parcela (3 m²). A altura de planta na maturação e de inserção de primeira vagem foi obtida por medições realizadas em seis plantas, selecionadas aleatoriamente, na área útil da parcela. A altura de planta na maturação foi determinada por meio da distância, em centímetros, entre a superfície do solo e a extremidade da haste principal da planta. A altura de inserção de primeira vagem foi obtida pela distância, em centímetros, entre a superfície do solo e o ponto de inserção de primeira vagem. Nessas seis plantas, foi contabilizado, o número de vagens por planta, o número de nós por planta - avaliado pela contagem do número de nós do ramo principal - e o número de ramos por planta.

Em relação aos caracteres de produtividade e de morfologia, foram realizadas as análises de variância, segundo o modelo matemático do delineamento blocos ao acaso (Storck et al., 2006), e os testes F para o efeito de bloco e de genótipo, a 5% de probabilidade, em cada um dos experimentos. Anotaram-se as estimativas do quadrado médio de genótipo (QM_G), do quadrado médio do erro (QM_E) e do valor do teste F para genótipo ($F_G = QM_G / QM_E$). Calcularam-se a seguir, a média geral do experimento (m) e o coeficiente de variação ($CV = 100 \cdot \sqrt{QM_E} / m$). Em seguida, estimou-se a acurácia seletiva (AS) (Resende & Duarte, 2007), por meio da expressão $AS = (1 - 1/F_G)^{0.5}$. Posteriormente, com base em AS, avaliou-se a precisão experimental de acordo com os limites de classes estabelecidos em Cargnelutti Filho & Storck (2009).

Consideraram-se as avaliações em cada bloco como medições realizadas no mesmo indivíduo (genótipo) e estimaram-se o coeficiente de repetibilidade (r), em cada caractere e experimento, por meio da análise de variância.

Nesse estudo, o coeficiente de repetibilidade é igual ao coeficiente de correlação intraclassa para genótipos e é estimado por meio da expressão ,

$$r = \frac{(QM_G - QM_E) / J}{(QM_G - QM_E) / J + QM_E}$$

em que J é o número de medições ou repetições (Cruz & Regazzi, 1997; Cruz, 2006).

O número mínimo de medições ou repetições (J) necessário para predizer o valor real dos indivíduos (genótipos), com base nos coeficientes de determinação genotípico (R^2) pré-estabelecidos (0,50, 0,55, 0,60, 0,65, 0,70, 0,75, 0,80, 0,85, 0,90 e 0,95), foi calculado por meio da

expressão $J = \frac{R^2(1-r)}{(1-R^2)r}$ (Cruz & Regazzi, 1997).

O coeficiente de determinação genotípico (R^2), que representa a certeza da predição do valor real dos genótipos selecionados, com base em J medições realizadas, foi obtido

pela expressão $R^2 = \frac{Jr}{1+r(J-1)}$

, em que J é o número de medições realizadas (J = 3 blocos neste estudo) e r é o coeficiente de repetibilidade (Cruz, 2006). Ainda, com base na média do coeficiente de repetibilidade (r) entre os cinco experimentos, em cada um dos caracteres, calcularam-se o coeficiente de determinação genotípico (R^2) em função de diferentes números de repetições (J variando de 0 até 50). Apesar de experimentos com zero repetição não ter sentido prático e com 50 repetições serem praticamente inviáveis de serem realizados, optou-se por esses limites para demonstrar graficamente o comportamento da relação entre R^2 e J, com base em um valor fixo de r (r = média dos cinco experimentos). As análises foram realizadas com o auxílio do programa GENES (Cruz, 2006) e do aplicativo Office Excel.

Resultados e Discussão

Entre os 35 casos avaliados (sete caracteres x cinco experimentos), o teste F da análise de variância revelou efeito de bloco significativo ($P \leq 0,05$) em sete casos (20,00%), evidenciando blocos heterogêneos e que o uso do delineamento blocos ao acaso foi adequado. Por outro lado, em 28 casos (80,00%) os blocos não foram heterogêneos (Tabelas 1 e 2). Apesar de, na maioria dos ensaios, ser mais adequado o uso do delineamento inteiramente casualizado, o uso de blocos deve continuar sendo utilizado como uma forma de garantir o controle dessa fonte de heterogeneidade, no caso de sua existência. Resultados semelhantes foram encontrados por Storck et al. (2009), que avaliaram a produtividade de grãos de soja, em 216 ensaios no Estado do Rio Grande do Sul, cuja análise de variância revelou que em 63 ensaios (29,17%) os blocos foram heterogêneos ($P \leq 0,05$).

Tabela 1. Graus de liberdade (GL) e quadrado médio para as fontes de variação (FV), média, coeficiente de variação experimental (CV), valor do teste F para genótipo (F_G), acurácia seletiva (AS) e precisão experimental ⁽¹⁾, para caracteres de produtividade de 28 genótipos de soja, avaliados em cinco experimentos ⁽²⁾.

FV	GL	Quadrado Médio ⁽³⁾				
		1	2	3	4	5
----- Produtividade de grãos (t ha ⁻¹) -----						
Bloco	2	0,0098ns	0,0017ns	0,8447 *	0,0075ns	0,0047ns
Genótipo	27	0,1934 *	0,0541ns	0,0652 *	0,0764ns	0,0381ns
Erro	54	0,0083	0,0432	0,0333	0,0719	0,0371
Média	-	1,8486	1,6747	1,3215	2,9609	2,9510
CV(%)	-	4,9396	12,4149	13,8028	9,0539	6,5286
F_G	-	23,1898	1,2509	1,9608	1,0633	1,0275
AS	-	0,9782	0,4479	0,7000	0,2440	0,1636
Precisão	-	Muito alta	Baixa	Alta	Baixa	Baixa
----- Número de vagens por planta -----						
Bloco	2	64,3135ns	32,2285ns	1082,0698*	63,3492ns	0,4309ns
Genótipo	27	45,8993ns	53,2939 *	175,6474ns	72,9551 *	90,8988 *
Erro	54	35,8444	22,2412	124,4124	23,5790	18,7337
Média	-	48,9643	22,1091	43,1151	99,7500	102,9127
CV(%)	-	12,2273	21,3308	25,8704	4,8680	4,2057
F_G	-	1,2805	2,3962	1,4118	3,0941	4,8522
AS	-	0,4680	0,7633	0,5401	0,8227	0,8910
Precisão	-	Baixa	Alta	Moderada	Alta	Alta
----- Massa de cem grãos (g) -----						
Bloco	2	5,8069 *	4,4843 *	0,1837ns	5,0808ns	0,4173ns
Genótipo	27	5,6011 *	2,1142ns	1,0997ns	1,8993ns	3,9620 *
Erro	54	1,7608	1,2521	0,8468	1,7512	0,7683
Média	-	11,3067	10,1821	12,5583	12,9548	12,0339
CV(%)	-	11,7360	10,9894	7,3274	10,2150	7,2837
F_G	-	3,1810	1,6886	1,2986	1,0846	5,1570
AS	-	0,8280	0,6386	0,4795	0,2793	0,8978
Precisão	-	Alta	Moderada	Baixa	Baixa	Alta

(1) Limites de classes estabelecidos em Cargnelutti Filho & Storck (2009): Muito alta (AS ≥ 0,90), Alta (0,70 ≤ AS < 0,90), Moderada (0,50 ≤ AS < 0,70) e Baixa (AS < 0,50). (2) Experimentos: (1) semeadura em maio de 2002; 2) semeadura em maio de 2003; 3) semeadura em novembro 2003; 4) semeadura em novembro 2004; e 5) semeadura em dezembro 2004. (3)*: Efeito significativo pelo teste F em nível de 5% de probabilidade. ns: Não significativo.

Tabela 2. Graus de liberdade (GL) e quadrado médio para as fontes de variação (FV), média, coeficiente de variação experimental (CV), valor do teste F para genótipo (F_G), acurácia seletiva (AS) e precisão experimental ⁽¹⁾, para caracteres de morfologia de 28 genótipos de soja, avaliados em cinco experimentos ⁽²⁾.

FV	GL	Quadrado Médio ⁽³⁾				
		1	2	3	4	5
----- Altura de planta (cm) -----						
Bloco	2	22,6551ns	221,2741ns	136,3849ns	37,9805ns	8,2543ns
Genótipo	27	53,2462 *	134,0181 *	153,7956ns	138,3543*	42,9561ns
Erro	54	28,5454	70,7971	148,1678	37,6969	33,7029
Média	-	79,8889	67,5873	75,5595	81,1389	79,6706
CV(%)	-	6,6878	12,4492	16,1097	7,5670	7,2868
F_G	-	1,8653	1,8930	1,0380	3,6702	1,2746
AS	-	0,6811	0,6868	0,1913	0,8530	0,4642
Precisão	-	Moderada	Moderada	Baixa	Alta	Baixa
----- Altura de inserção da primeira vagem (cm) -----						
Bloco	2	0,1081ns	5,9418 *	1,9772ns	0,9983ns	0,1829ns
Genótipo	27	0,9406ns	1,8528ns	3,9468ns	1,2172ns	1,4345ns
Erro	54	0,9216	1,6959	2,7076	1,0004	1,0937
Média	-	12,0119	12,1448	12,6905	11,9921	12,1944
CV(%)	-	7,9920	10,7228	12,9663	8,3405	8,5761
F_G	-	1,0206	1,0925	1,4577	1,2167	1,3116
AS	-	0,1421	0,2910	0,5603	0,4220	0,4874
Precisão	-	Baixa	Baixa	Moderada	Baixa	Baixa
----- Número de nós por planta -----						
Bloco	2	1,4891ns	0,8198ns	14,4673*	2,0923ns	0,7450ns
Genótipo	27	2,5109 *	1,5094ns	6,0370ns	20,1965*	2,4632*
Erro	54	0,6458	1,4196	3,9618	1,6279	1,1826
Média	-	12,9405	10,3254	15,3929	11,7798	15,8393
CV(%)	-	6,2101	11,5391	12,9308	10,8313	6,8658
F_G	-	3,8880	1,0633	1,5238	12,4063	2,0828
AS	-	0,8619	0,2440	0,5863	0,9589	0,7210
Precisão	-	Alta	Baixa	Moderada	Muito alta	Alta
----- Número de ramos por planta -----						
Bloco	2	0,8674ns	1,6561ns	8,8981*	0,0321ns	0,4494ns
Genótipo	27	1,2664 *	2,0092 *	2,0217ns	0,4565ns	0,5387ns
Erro	54	0,7103	0,9181	1,7493	0,3335	0,4858
Média	-	4,0675	3,1687	5,0139	3,4028	3,6905
CV(%)	-	20,7208	30,2390	26,3791	16,9717	18,8854
F_G	-	1,7828	2,1885	1,1557	1,3688	1,1090
AS	-	0,6626	0,7369	0,3670	0,5191	0,3135
Precisão	-	Moderada	Alta	Baixa	Moderada	Baixa

(1) Limites de classes estabelecidos em Cargnelutti Filho & Storck (2009): Muito alta (AS ≥ 0,90), Alta (0,70 ≤ AS < 0,90), Moderada (0,50 ≤ AS < 0,70) e Baixa (AS < 0,50). (2) Experimentos: 1) semeadura em maio de 2002; 2) semeadura em maio de 2003; 3) semeadura em novembro 2003; 4) semeadura em novembro 2004; e 5) semeadura em dezembro 2004. (3) *: Efeito significativo pelo teste F em nível de 5% de probabilidade. ns: Não significativo.

O efeito de genótipos foi significativo ($P \leq 0,05$) em 15 dos 35 casos avaliados, o que evidencia presença de variabilidade genética e possibilidade de identificação de genótipos superiores (Tabelas 1 e 2). Nos demais 20 casos, considerando as estatísticas de precisão experimental estabelecidas em Cargnelutti Filho & Storck (2007), Resende & Duarte (2007) e Cargnelutti Filho & Storck (2009), pode-se suspeitar que a não discriminação dos genótipos, por meio do teste F, pode não ser devido a não existência de variabilidade genética e sim, provavelmente, à menor precisão experimental. Tal suspeita é comprovada pelo fato de que, nos 15 casos (42,86%) com efeito significativo de genótipos, a média do valor do teste F para genótipo (F_G), da acurácia seletiva (AS) e dos coeficientes de repetibilidade (r) e de determinação genotípico (R^2), foi de 4,9072; 0,8029; 0,4252 e 0,6546, respectivamente. Enquanto que, nos ensaios em que não foram detectadas diferenças significativas, as médias de F_G , AS, r e R^2 foram, respectivamente, 1,2369; 0,3925; 0,0704 e 0,1753 (Tabelas 1, 2, 3 e 4). Portanto, esses resultados

revelam que a maior eficácia de trabalhos científicos destinados a identificação de diferenças entre os genótipos está associada a um maior número de repetições. Esses resultados seguem no mesmo rumo da recomendação de Martin et al. (2005), em relação às cultivares de soja 'BRS 137' e 'Fepagro-RS 10', de que o número de repetições que confere uma precisão adequada é igual a sete. Também concordam com Storck et al. (2009) que salientaram que os ensaios com 11 repetições possibilitam a identificação de genótipos superiores de soja, em relação à produtividade de grãos, com 80% de precisão e poderiam ser reduzidos para quatro repetições com o uso do método de Papadakis, mantendo a mesma precisão. Ainda, Cargnelutti Filho et al. (2009a) salientam que para melhorar a precisão da avaliação de caracteres em plantas de soja, deve-se usar mais que três repetições e, pelo menos, 12 plantas por unidade experimental. Portanto, o redimensionamento do uso de três repetições (blocos) e a amostragem de seis plantas por parcela é conveniente para melhorar a precisão experimental.

Tabela 3. Estimativa dos coeficientes de repetibilidade (r), dos coeficientes de determinação genotípico (R^2) e do número de medições (repetições) (J)⁽¹⁾ associado a diferentes R^2 de caracteres de produtividade de 28 genótipos de soja, avaliadas em cinco experimentos.

Estatística	Experimento ⁽²⁾					Média de r
	1	2	3	4	5	
	----- Produtividade de grãos (t ha ⁻¹) -----					
r	0,8809	0,0772	0,2426	0,0206	0,0091	0,2461
R^2	0,9569	0,2006	0,4900	0,0595	0,0268	0,4947
$J(R^2=0,50)$	0,14	11,96	3,12	47,43	109,14	3,06
$J(R^2=0,55)$	0,17	14,62	3,82	57,97	133,39	3,74
$J(R^2=0,60)$	0,20	17,94	4,68	71,14	163,70	4,60
$J(R^2=0,65)$	0,25	22,21	5,80	88,08	202,68	5,69
$J(R^2=0,70)$	0,32	27,90	7,29	110,66	254,65	7,15
$J(R^2=0,75)$	0,41	35,88	9,37	142,28	327,41	9,19
$J(R^2=0,80)$	0,54	47,83	12,49	189,71	436,54	12,26
$J(R^2=0,85)$	0,77	67,76	17,69	268,75	618,43	17,36
$J(R^2=0,90)$	1,22	107,63	28,10	426,84	982,22	27,57
$J(R^2=0,95)$	2,57	227,21	59,32	901,11	2073,57	58,21
	----- Número de vagens por planta -----					
r	0,0855	0,3176	0,1207	0,4111	0,5622	0,2994
R^2	0,2191	0,5827	0,2917	0,6768	0,7939	0,5618
$J(R^2=0,50)$	10,69	2,15	7,28	1,43	0,78	2,34
$J(R^2=0,55)$	13,07	2,63	8,90	1,75	0,95	2,86
$J(R^2=0,60)$	16,04	3,22	10,93	2,15	1,17	3,51
$J(R^2=0,65)$	19,86	3,99	13,53	2,66	1,45	4,35
$J(R^2=0,70)$	24,95	5,01	17,00	3,34	1,82	5,46
$J(R^2=0,75)$	32,08	6,45	21,85	4,30	2,34	7,02
$J(R^2=0,80)$	42,78	8,59	29,14	5,73	3,12	9,36
$J(R^2=0,85)$	60,60	12,18	41,28	8,12	4,41	13,26
$J(R^2=0,90)$	96,25	19,34	65,56	12,89	7,01	21,06
$J(R^2=0,95)$	203,20	40,83	138,41	27,22	14,80	44,46
	----- Massa de cem grãos (g) -----					
r	0,4210	0,1867	0,0905	0,0274	0,5808	0,2613
R^2	0,6856	0,4078	0,2300	0,0780	0,8061	0,5148
$J(R^2=0,50)$	1,38	4,36	10,05	35,47	0,72	2,83
$J(R^2=0,55)$	1,68	5,33	12,28	43,35	0,88	3,46
$J(R^2=0,60)$	2,06	6,54	15,07	53,21	1,08	4,24
$J(R^2=0,65)$	2,55	8,09	18,66	65,88	1,34	5,25
$J(R^2=0,70)$	3,21	10,17	23,44	82,77	1,68	6,60
$J(R^2=0,75)$	4,13	13,07	30,14	106,41	2,17	8,48
$J(R^2=0,80)$	5,50	17,43	40,18	141,89	2,89	11,31
$J(R^2=0,85)$	7,79	24,69	56,92	201,00	4,09	16,02
$J(R^2=0,90)$	12,38	39,21	90,41	319,24	6,50	25,45
$J(R^2=0,95)$	26,13	82,78	190,86	673,96	13,71	53,72

⁽¹⁾ Estimativas menores que um devem ser interpretadas como um. ⁽²⁾ Experimentos: 1) semeadura em maio de 2002; 2) semeadura em maio de 2003; 3) semeadura em novembro 2003; 4) semeadura em novembro 2004; e 5) semeadura em dezembro 2004.

Tabela 4. Estimativa dos coeficientes de repetibilidade (r), dos coeficientes de determinação genotípico (R²) e do número de medições (repetições) (J) ⁽¹⁾ associado a diferentes R² de caracteres de morfologia de 28 genótipos de soja, avaliadas em cinco experimentos.

Estatística	Experimento ⁽²⁾					Média de r
	1	2	3	4	5	
	----- Altura de planta (cm) -----					
r	0,2239	0,2294	0,0125	0,4709	0,0838	0,2041
R ²	0,4639	0,4717	0,0366	0,7275	0,2154	0,4348
J(R ² =0,50)	3,47	3,36	78,98	1,12	10,93	3,90
J(R ² =0,55)	4,24	4,11	96,54	1,37	13,36	4,77
J(R ² =0,60)	5,20	5,04	118,48	1,69	16,39	5,85
J(R ² =0,65)	6,44	6,24	146,69	2,09	20,29	7,24
J(R ² =0,70)	8,09	7,84	184,30	2,62	25,50	9,10
J(R ² =0,75)	10,40	10,08	236,95	3,37	32,78	11,70
J(R ² =0,80)	13,87	13,44	315,94	4,49	43,71	15,60
J(R ² =0,85)	19,65	19,04	447,58	6,37	61,92	22,10
J(R ² =0,90)	31,20	30,24	710,86	10,11	98,34	35,10
J(R ² =0,95)	65,87	63,83	1500,71	21,35	207,61	74,09
	----- Altura de inserção da primeira vagem (cm) -----					
r	0,0068	0,0299	0,1324	0,0674	0,0941	0,0661
R ²	0,0202	0,0847	0,3140	0,1781	0,2376	0,1752
J(R ² =0,50)	145,54	32,44	6,56	13,84	9,63	14,13
J(R ² =0,55)	177,88	39,64	8,01	16,92	11,77	17,26
J(R ² =0,60)	218,31	48,65	9,83	20,76	14,44	21,19
J(R ² =0,65)	270,29	60,24	12,17	25,71	17,88	26,23
J(R ² =0,70)	339,60	75,68	15,30	32,30	22,47	32,96
J(R ² =0,75)	436,62	97,31	19,67	41,53	28,88	42,38
J(R ² =0,80)	582,17	129,74	26,22	55,37	38,51	56,50
J(R ² =0,85)	824,74	183,80	37,15	78,44	54,56	80,05
J(R ² =0,90)	1309,87	291,92	59,00	124,58	86,65	127,13
J(R ² =0,95)	2765,29	616,28	124,55	263,00	182,93	268,39
	----- Número de nós por planta -----					
r	0,4905	0,0207	0,1486	0,7918	0,2652	0,3434
R ²	0,7428	0,0595	0,3437	0,9194	0,5199	0,6107
J(R ² =0,50)	1,04	47,40	5,73	0,26	2,77	1,91
J(R ² =0,55)	1,27	57,94	7,00	0,32	3,39	2,34
J(R ² =0,60)	1,56	71,11	8,59	0,39	4,16	2,87
J(R ² =0,65)	1,93	88,04	10,64	0,49	5,15	3,55
J(R ² =0,70)	2,42	110,61	13,36	0,61	6,46	4,46
J(R ² =0,75)	3,12	142,21	17,18	0,79	8,31	5,74
J(R ² =0,80)	4,16	189,62	22,91	1,05	11,08	7,65
J(R ² =0,85)	5,89	268,63	32,45	1,49	15,70	10,84
J(R ² =0,90)	9,35	426,64	51,55	2,37	24,93	17,21
J(R ² =0,95)	19,74	900,69	108,82	5,00	52,64	36,34
	----- Número de ramos por planta -----					
r	0,2069	0,2838	0,0493	0,1095	0,0351	0,1369
R ²	0,4391	0,5431	0,1347	0,2695	0,0983	0,3224
J(R ² =0,50)	3,83	2,52	19,27	8,13	27,52	6,30
J(R ² =0,55)	4,68	3,09	23,55	9,94	33,64	7,70
J(R ² =0,60)	5,75	3,79	28,90	12,20	41,28	9,46
J(R ² =0,65)	7,12	4,69	35,78	15,11	51,11	11,71
J(R ² =0,70)	8,94	5,89	44,96	18,98	64,22	14,71
J(R ² =0,75)	11,50	7,57	57,80	24,40	82,57	18,91
J(R ² =0,80)	15,33	10,10	77,07	32,53	110,09	25,22
J(R ² =0,85)	21,72	14,30	109,18	46,09	155,97	35,72
J(R ² =0,90)	34,49	22,72	173,41	73,20	247,71	56,73
J(R ² =0,95)	72,82	47,96	366,08	154,54	522,94	119,77

⁽¹⁾ Estimativas menores que um devem ser interpretadas como um. ⁽²⁾ Experimentos: 1) semeadura em maio de 2002; 2) semeadura em maio de 2003; 3) semeadura em novembro 2003; 4) semeadura em novembro 2004; e 5) semeadura em dezembro 2004.

A estatística acurácia seletiva (AS) oscilou entre 0,1421 (altura de inserção da primeira vagem no experimento 1) e 0,9782 (produtividade de grãos no experimento 1). De acordo com limites de classes estabelecidos em Cargnelutti Filho & Storck (2009), dos 35 casos avaliados, dois apresentaram precisão experimental muito alta (AS ≥ 0,90), 10 com precisão alta (0,70 ≤ AS < 0,90), 8 casos com precisão moderada (0,50 ≤ AS < 0,70) e 15 casos com precisão baixa (AS < 0,50) (Tabelas 1 e 2). Esses resultados revelam que há variabilidade das precisões experimentais entre os caracteres e os experimentos. Essa variabilidade pode ser atribuída a diversos fatores que podem agir sobre esses caracteres, em maior ou menor grau, como por exemplo,

a altura de inserção da primeira vagem pode ter sido influenciada pelo espaçamento, pelo sombreamento de plantas adjacentes e pela abscisão de vagens. Estudos específicos confirmaram que há influência de cultivares, de estádios e de níveis de desfolhamento (Storck et al., 1980), e da densidade de plantas, do ciclo da cultivar, da época de semeadura e do nível de fertilidade do solo (Estefanel et al., 1984) sobre o dimensionamento do tamanho de amostra para avaliação de características agrônomicas em soja.

Independentemente do caractere e do experimento, a magnitude da estimativa do coeficiente de repetibilidade (r) oscilou entre 0,0068 e 0,8809 e do coeficiente de determinação

genotípico (R^2) variou entre 0,0202 e 0,9569 (Tabelas 3 e 4). Experimentos que apresentam menor coeficiente de repetibilidade requerem maior número de medições (repetições) para prever o valor real de determinado caráter e vice-versa. A variabilidade existente entre os experimentos quanto aos valores do teste F para genótipo (F_c), da acurácia seletiva (AS) e dos coeficientes de repetibilidade (r) e de determinação genotípico (R^2), é particularmente importante nesse estudo, por representarem diferentes situações reais e assim possibilitarem inferências com aplicações gerais. Experimentos, que até poderiam ser descartados, em razão da insuficiência na precisão experimental, de acordo com critérios de Cargnelutti Filho & Storck (2007), de Resende & Duarte (2007) e de Cargnelutti Filho & Storck (2009), foram mantidos. Assim, as estimativas do número de repetições (J) de determinados caracteres, podem estar inflacionadas em experimentos com menor precisão experimental. Entre os 35 casos, o exemplo mais extremo, dessa situação, é o caso da altura de inserção da primeira vagem no experimento 1, que apresenta precisão experimental inferior ($F_c = 1,0206$; AS = 0,1421; $r = 0,0068$ e $R^2 = 0,0202$) (Tabelas 1, 2, 3 e 4). A manutenção desses experimentos com menor precisão experimental, nesse estudo, é particularmente importante, pois o pesquisador ao planejar seu experimento com base na média desses cinco experimentos pode obter precisões experimentais melhores que as propostas. Variabilidade semelhante quanto a essas estatísticas e como consequência da estimativa do número de repetições foi obtida em relação à produtividade de grãos de soja, em 216 ensaios (Storck et al., 2009).

O coeficiente de determinação genotípico (R^2) estimado a partir média do coeficiente de repetibilidade (r) entre os cinco experimentos, oscilou entre 0,1752 (altura de inserção da primeira vagem) e 0,6107 (número de nós por planta). Esses resultados indicam que três repetições possibilitaram detectar diferenças genotípicas com 17,52% e 61,07% de certeza na predição do valor real do genótipo, respectivamente, em relação aos caracteres altura de inserção da primeira vagem e número de nós por planta (Tabelas 3 e 4 e Figura 1). Os demais caracteres estão em situação intermediária. Esses resultados sugerem que o dimensionamento do número de repetições deve ser específico por caractere. Portanto, é importante que o pesquisador defina o número de repetições a partir do caractere de maior interesse. Considerando que os caracteres desse estudo foram avaliados em seis plantas amostradas aleatoriamente na parcela seriam esperadas menores estimativas do número de repetições, com amostragens de 12 plantas por unidade experimental, como recomenda Cargnelutti Filho et al. (2009a). Do ponto de vista prático, as informações disponibilizadas possibilitam ao

pesquisador planejar seus experimentos mais adequadamente, particularmente quanto ao número de repetições adequado, caso o foco principal seja inferir sobre algum desses caracteres.

Conclusões

Há variabilidade da estimativa do número de repetições entre os caracteres de produtividade (produtividade de grãos, número de vagens por planta e massa de cem grãos) e de morfologia (altura de planta na maturação e de inserção de primeira vagem, número de nós por planta e de ramos por planta). Experimentos com três repetições identificam genótipos de soja superiores com 17,52% (altura de inserção de primeira vagem) a 61,07% (número de nós por planta) de exatidão no prognóstico de seu valor real. Para melhorar a precisão da avaliação de caracteres em plantas de soja, deve-se usar maior número de repetições.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de Produtividade em Pesquisa a Alberto Cargnelutti Filho.

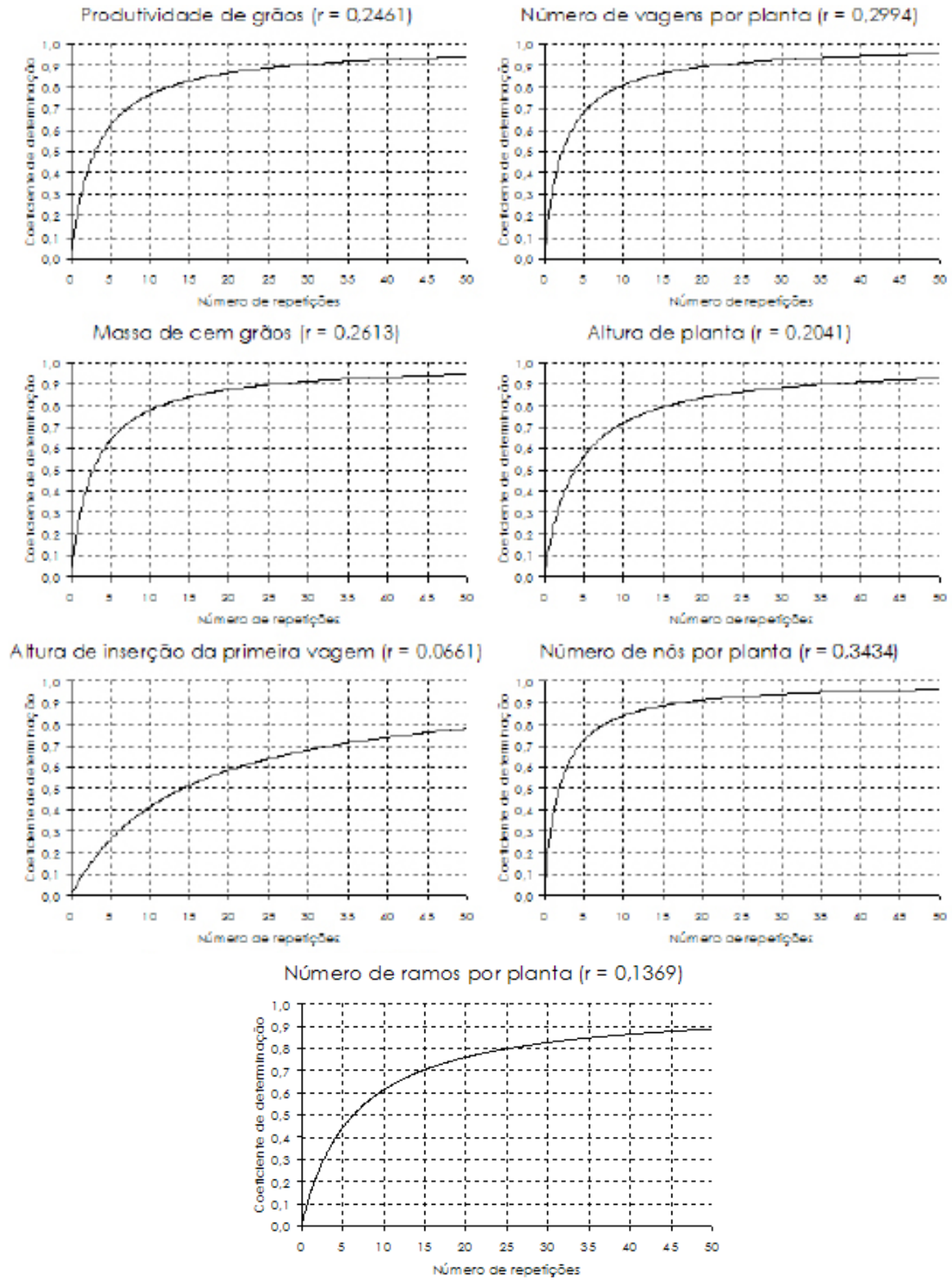


Figura 1. Estimativa dos coeficientes de determinação genotípico (R^2) em função do número de medições (repetições) (J), com base no coeficiente de repetibilidade (r) médio de 5 ensaios de avaliação de caracteres de produtividade e de morfologia, de 28 genótipos de soja.

Referências

- Cargnelutti Filho, A., Evangelista, D.H.R., Gonçalves, E.C.P., Storck, L. 2009a. Tamanho de amostra de caracteres de genótipos de soja. *Ciência Rural* 39: 983-991.
- Cargnelutti Filho, A., Ribeiro, N.D., Storck, L. 2009b. Número de repetições para a comparação de cultivares de feijão. *Ciência Rural* 39: 2419-2424.
- Cargnelutti Filho, A., Storck, L. 2007. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42: 17-24.
- Cargnelutti Filho, A., Storck, L. 2009. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44: 111-117.
- Cochran, W.G., Cox, G.M. 1957. *Experimental design*. 2.ed. John Wiley, New York, USA. 611p.
- Cruz, C.D. 2006. *Programa Genes: Biometria*. UFV, Viçosa, Brasil. 382 p.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J. 1997. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2.ed. UFV, Viçosa, Brasil. 390 p.
- Embrapa. 2005. *Tecnologia de produção de soja - região central do Brasil - 2005*. Fundação Meridional, Londrina, Brasil. 239 p.
- Estefanel, V., Saccol, A.V., Schneider, F.M., Buriol, G.A., Heldwein, A.B., Manfron, P.A. 1984. Tamanho de amostra para estimar características agronômicas da soja. *Revista do Centro de Ciências Rurais* 14: 221-229.
- Gomes, F.P. 1990. *Curso de estatística experimental*. 13.ed. Nobel, São Paulo, Brasil. 468 p.
- Hatheway, W.H. Convenient plot size. 1961. *Agronomy Journal* 53: 279-280.
- Martin, T.N., Dutra, L.M.C., Jauer, A., Storck, L., Zobot, L., Uhry, D., Santi, A.L., Stefanelo, C., Lucca Filho, O.A. 2005. Tamanho ótimo de parcela e número de repetições em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Ciência Rural* 35: 271-276.
- Martin, T.N., Jauer, A., Dutra, L.M.C., Santi, A.L., Zobot, L. 2007. Metodologia experimental para rendimento de grãos de soja em condições de restrição de espaço. *Bragantia* 66: 521-526.
- Resende, M.D.V., Duarte, J.B. 2007. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 37: 182-194.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., Dickey, D.A. 1997. *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. 3.ed. McGraw Hill, New York, USA. 666 p.
- Storck, L., Cargnelutti Filho, A., Lucio, A.D., Lopes, S.J. 2009. Método de Papadakis e número de repetições em experimentos de soja. *Ciência Rural* 39: 977-982.
- Storck, L., Garcia, D.C., Lopes, S.J., Estefanel, V. 2006. *Experimentação vegetal*. 2.ed. UFV, Santa Maria, Brasil. 198 p.
- Storck, L., Pissaia, A., Colasante, L.O., Costa, J.A. 1980. Influência de cultivares, estádios e níveis de desfolhamento, sobre o tamanho de amostra para avaliação de características agronômicas em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Revista do Centro de Ciências Rurais* 10: 199-209.
- Storck, L., Saccol, A.V., Schneider, F.M. 1982. Comparação de métodos de estimativa do índice de heterogeneidade do solo e do tamanho ótimo de parcela em experimento com soja. *Revista do Centro de Ciências Rurais* 12: 189-202.