

# EFEITOS GÊNICOS, HETEROSE E DEPRESSÃO ENDOGÂMICA EM CARACTERES DE SORGO GRANÍFERO<sup>1</sup>

CARLOS ALBERTO SCAPIM<sup>2</sup>, JOSÉ AVELINO SANTOS RODRIGUES<sup>3</sup>, COSME DAMIÃO CRUZ<sup>4</sup>, JERÔNIMO ARAÚJO GOMES<sup>5</sup> e ALESSANDRO DE LUCCA E BRACCINI<sup>2</sup>

RESUMO - Dois cruzamentos entre sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench), BR 007A x BR 012R e BR 001A x BR 012R originaram dois híbridos  $F_1$  (BR 303 e BR 304) e as gerações avançadas por autofecundação  $F_2$  e  $F_3$ , constituindo nove genótipos, os quais foram avaliados em duas épocas de plantio (normal e sucessão) quanto a diversos caracteres de rendimento e qualidade da forragem. Os objetivos do trabalho foram: determinar as estimativas da heterose e depressão endogâmica nas gerações  $F_2$  e  $F_3$ ; avaliar a possibilidade de utilização das sementes  $F_2$  em plantios comerciais e verificar as estimativas dos efeitos gênicos associando-os com a heterose e depressão endogâmica. No plantio em sucessão, comparativamente ao plantio normal, os híbridos graníferos apresentaram redução na produção de grãos, matéria verde e rendimento da massa seca e maior porcentagem protéica. No que tange aos dois híbridos graníferos, as estimativas da heterose foram positivas quanto ao rendimento de grãos e de massa seca, e negativas quanto à proteína e ao teor de fibras, nas duas épocas de plantio. As estimativas da depressão endogâmica foram positivas quanto ao rendimento de grãos, tornando inviável a utilização das sementes  $F_2$  em plantios comerciais. As estimativas do efeito genético aditivo foram importantes em relação aos caracteres de qualidade no cruzamento granífero BR 007A x BR 012R, ao passo que os efeitos de dominância predominaram em relação aos caracteres de rendimento, nos dois híbridos e nas duas épocas de plantio. Os desvios da dominância explicaram, em grande parte, as manifestações heteróticas e de depressão endogâmica em vários caracteres.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, ação gênica, vigor híbrido.

## GENE EFFECTS, HETEROSIS AND INBREEDING DEPRESSION FOR GRAIN SORGHUM CHARACTERS

ABSTRACT - Two crosses between grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), BR 007A x BR 012R and BR 001A x BR 012R originated two  $F_1$  hybrids (BR 303 and BR 304) and the advanced inbreeding generations  $F_2$  and  $F_3$ , establishing nine genotypes, which were evaluated in two planting dates (normal and succession). Several yield and forage quality characters were evaluated. The objectives of this study were to obtain the estimated heterosis and inbreeding depression in  $F_2$  and  $F_3$  generations, to evaluate the possibility of  $F_2$  seeds use in commercial sown, to verify also the estimated gene effects associated to heterosis and inbreeding depression. In succession planting, comparing with normal planting, the grain sorghum hybrids showed small grain production, green matter and dry matter weight and higher protein content. For the two grain sorghum hybrids, the estimated heterosis was positive to grain yield and dry matter and was negative to protein and fiber content, at the two planting date. The estimated inbreeding depression was positive to grain yield, making impossible the commercial utilization of  $F_2$  seeds. The estimated additive gene effects had importance to quality characters in grain cross BR 007A x BR 012R, while the dominance effects were predominant to yield characters of the two hybrids and planting dates. The dominance effects explained most of the heterosis and inbreeding depression expressed of several characters in two crosses.

Index terms: *Sorghum bicolor*, gene action, hybrid vigor.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 2 de abril de 1998.

Extraído da tese apresentada pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa (UFV).

<sup>2</sup> Eng. Agr., Dr., Universidade Estadual de Maringá (UEM), Bloco 32, Sala 11, CEP 87020-900 Maringá, PR. E-mail: scapim@cca.uem.br

<sup>3</sup> Eng. Agr., Dr., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG.

<sup>4</sup> Eng. Agr., Prof. Titular, UFV, CEP 36571-000 Viçosa, MG.

<sup>5</sup> Eng. Agr., Dr., UFV.

## INTRODUÇÃO

Quatro tipos de sorgo têm sido cultivados no Brasil: granífero, forrageiro, vassoura, e sacarino. Dos quatro, o granífero destaca-se em relação à área plantada, nível tecnológico utilizado, e dispersão pelo território nacional; é utilizado como componente fornecedor de energia na formulação de rações.

O cultivo do sorgo granífero baseia-se no uso de sementes híbridas. Apesar de ser uma espécie autógama, o vigor híbrido em sorgo é largamente explorado nos programas de melhoramento (Rodrigues, 1990). Manifestações de vigor híbrido em sorgo foram descritas pela primeira vez por Conner & Karper (1927), citado por Quinby (1974).

Quinby (1963) já afirmava que a heterose no sorgo, em termos de atributos morfológicos, é consequência de floração precoce, maior perfilhamento e altura de planta, colmos, folhas e panículas mais desenvolvidas, e maior produtividade de grãos e de forragem. Acrescenta-se, com base em trabalhos posteriores, menor teor protéico (Singhania et al., 1979; Finkner et al., 1981).

É natural pensar em heterose, e, automaticamente, questionar sobre depressão endogâmica. Segundo Ross (1973), o sorgo apresenta pequena depressão endogâmica quando autofecundado. No entanto, outros trabalhos mostram considerável depressão endogâmica, principalmente quanto ao caráter rendimento de grãos, quando se passa de  $F_1$  para  $F_2$ , de  $F_2$  para  $F_3$  e gerações mais avançadas (Goyal & Joshi, 1984; Geeta & Rana, 1987; Reddy & Joshi, 1993).

Outro estudo de grande importância, sobre o melhoramento de plantas, é a avaliação da natureza e da magnitude dos efeitos gênicos que controlam os diversos caracteres quantitativos. Nessa linha de raciocínio, é fundamental investigar, na fração genética, quais as proporções que podem ser atribuídas a fatores gênicos aditivos, dominantes e epistáticos. Essa avaliação está intimamente relacionada com os objetivos do programa de melhoramento, e esses tipos de ação gênica podem ser utilizados para explicar a expressão heterótica, assim como a depressão endogâmica (Wilson et al., 1978; Singhania, 1980; Finkner et al., 1981).

Os objetivos do presente trabalho foram: 1) determinar a magnitude das estimativas da heterose e da depressão endogâmica; 2) avaliar a uniformidade agrônômica de lavouras de sorgo granífero estabelecidas a partir de sementes obtidas de gerações avançadas de híbridos; 3) avaliar a natureza e magnitude das estimativas dos efeitos gênicos e a associação desses efeitos nas manifestações de heterose e depressão endogâmica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O material é constituído de três linhagens progenitoras de sorgo (BR 007B, BR 012R e BR 001B), dois híbridos  $F_1$  (BR 303 e BR 304), resultantes dos seguintes cruzamentos (BR 007A x BR 012R) e (BR 001A x BR 012R), e as gerações avançadas por autofecundação  $F_2$  e  $F_3$ .

Foram realizados, no ano agrícola 90/91, em Janaúba, MG, os cruzamentos para obtenção dos híbridos  $F_1$ . Na oportunidade, utilizaram-se blocos de cruzamentos com cinco linhas de 5 m de cada progenitor de sorgo. Em novembro, ano agrícola 91/92, em Sete Lagoas, MG, foram plantados os dois híbridos  $F_1$  para autofecundação, e obtiveram-se as sementes  $F_2$  de cada cruzamento. Nessa fase, foram utilizadas dez linhas de 5 m. Em abril do mesmo ano agrícola, em Janaúba, MG, foram plantadas amostras das sementes  $F_2$ , para autofecundação e obtenção das sementes  $F_3$  de cada cruzamento.

Foram realizados dois experimentos. O primeiro plantio, em época normal, realizou-se no dia 9 de dezembro de 1992, o segundo plantio, em sucessão, no dia 6 de março de 1993. Nos dois experimentos, empregou-se o delineamento em blocos ao acaso, com nove tratamentos, sendo três linhagens progenitoras (BR 007B, BR 012R e BR 001B), dois híbridos  $F_1$  (BR 303 e BR 304), e as gerações avançadas por autofecundação  $F_2$  e  $F_3$ .

Foram utilizadas seis repetições, sendo que três foram destinadas a coleta de dados referentes aos caracteres de rendimento, e três, relativos aos caracteres de qualidade da forragem. Apenas altura das plantas e florescimento foram avaliados nas seis repetições.

Cada parcela constituiu-se de seis fileiras de 7,0 m, em que as duas laterais e 1,0 m de cada extremidade das fileiras foram utilizadas como bordadura. Empregou-se o espaçamento de 0,7 m entre fileiras, e 15 plantas por metro de sulco, o que totalizou uma área total de 29,4 m<sup>2</sup> por parcela, sendo 14,0 m<sup>2</sup> de área útil.

A coleta de dados foi realizada no campo e no laboratório, para os dois experimentos, e os caracteres avaliados foram: altura de planta (cm); medida em todas as plantas da área útil da parcela, do nível do solo até o ápice da panícula; florescimento (dias), ou seja, o número de dias decorridos do plantio até a data em que 50% das flores existentes na panícula estivessem polinizadas; fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (% base seca), segundo Van Soest (1963); hemicelulose (% base seca), obtida pela diferença entre FDN e FDA; carboidratos estruturais (% base seca), segundo Association of Official Analytical Chemistry (1984); proteína (% da base seca), pelo

método semimicro de Kjeldhal, utilizando o fator 6,25 de conversão; matéria seca (%), segundo Association of Official Analytical Chemistry (1984); proporção de colmo (PC), obtida em amostra de doze plantas da seguinte forma: (peso da amostra do colmo) dividido pelo (peso da amostra do colmo + peso da amostra da folha + peso da amostra da panícula); proporções de folha e panícula, obtidas de forma idêntica à PC; matéria verde total (t/ha): peso de matéria verde (kg) x 0,714286; rendimento de grãos (t/ha): peso de grãos (kg) x 0,714286; rendimento da massa seca total (t/ha): (matéria seca (%)) x matéria verde total (t/ha)/100.

A análise de variância foi efetuada pela técnica da decomposição da soma de quadrados para tratamentos em contrastes ortogonais. Foram testados: País, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, País versus F<sub>1</sub> + F<sub>2</sub> + F<sub>3</sub>, F<sub>1</sub> versus F<sub>2</sub> + F<sub>3</sub> e F<sub>2</sub> versus F<sub>3</sub>.

Com as médias foram obtidas as estimativas, por meio das fórmulas tradicionais, da heterose média, da heterobeltiose e da depressão endogâmica nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. No estudo de efeitos gênicos, os dados foram, primeiramente, submetidos aos testes de escala individuais C e D, conforme as recomendações de Mather & Jinks (1971), para detectar a presença de epistasia, e, posteriormente, submetidos ao melhor ajuste do modelo 5 de Hayman (1958), para obter as estimativas da média (m), dos efeitos gênicos aditivos combinados com os efeitos gênicos aditivo-dominante (d'), dos efeitos de dominância (h), da interação gênica do tipo aditiva x aditiva (i) e da interação gênica do tipo dominante x dominante (l). Quando os testes de escala individuais foram não-significativos, ajustou-se o modelo aditivo-dominante proposto por Hayman (1958).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância revelaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre as médias das populações em relação a vários caracteres, com exceção de altura da planta, florescimento, lignina e proporção da folha no plantio normal, e altura da planta, florescimento, FDN, FDA, lignina, hemicelulose e proteína no plantio em sucessão. Posteriormente, fez-se a decomposição da soma de quadrados de populações em contrastes ortogonais. Essa partição revelou que grande parte da variância devida às populações se deve às diferenças entre os pais, evidenciando expectativa de diversidade genética. Apesar dessa expectativa, os outros resultados da decomposição apontaram que apenas em relação a número reduzido de variáveis, espera-se heterose e depressão endogâmica.

Todos os valores de heterose e depressão endogâmica referentes aos caracteres altura da planta e florescimento foram não-significativos, com exceção da depressão endogâmica de F<sub>2</sub> para F<sub>3</sub>, quanto ao caráter florescimento, no plantio em sucessão (Tabelas 1, 2, 3 e 4). Existem relatos, na literatura, sobre heterose positiva com relação a altura da planta (Quinby, 1963; Kulkarni & Shinde, 1985), e sobre heterose negativa com relação a florescimento (Singhania, 1980; Nayeem & Bapat, 1984a; Kulkarni & Shinde, 1985; Geeta & Rana, 1987). No que diz respeito ao caráter altura da planta, os coeficientes de variação, 29,8% em época normal e 23,2% em sucessão, foram altos, o que indica a baixa precisão experimental, que talvez explique a não-significância da heterose e da depressão endogâmica.

Em relação ao caráter rendimento de grãos, houve redução de 42% e 46% nas médias dos híbridos BR 303 (3,63 t/ha) e BR 304 (2,96 t/ha), do plantio normal para o plantio em sucessão (2,10 t/ha e 1,60 t/ha) (Tabelas 1 e 2). As reduções eram esperadas, dada a sensibilidade do sorgo ao fotoperíodo, e, em menor escala, devido à temperatura. Para o híbrido BR 303, visualizou-se um valor de heterobeltiose não-significativo no plantio em sucessão, porém, positivo e de magnitude elevada (52%), no plantio normal (Tabela 1). Já no que concerne ao híbrido BR 304, registraram-se valores de heterobeltiose não-significativos. No entanto, as estimativas da heterose média, 53,4% e 64,8%, foram positivas e de alta magnitude, nas duas épocas de plantio (Tabelas 1 e 2). Na cultura do sorgo, vários trabalhos mostram estimativas de heterose positiva quanto a este caráter (Singhania, 1980; Nayeem & Bapat, 1984b; Desai et al., 1985; França et al., 1986). Contudo, as magnitudes das estimativas obtidas neste experimento estão acima das relatadas por esses autores. Entretanto, estimativas de heterose de alta magnitude são esperadas quando pais geograficamente e geneticamente diversos são cruzados, pois diversidade genética é um dos ingredientes básicos para a expressão da heterose. Contudo, existem evidências de que nem sempre diversidade genética ou geográfica resulta, necessariamente, em vigor híbrido (Arunachalam et al., 1984). Nesse contexto, os progenitores BR 007B, BR 012R e BR 008B originaram-se de diferentes populações, o que sugere serem divergentes quanto ao caráter rendimento de grãos. Outro aspecto bastante interessante é que, geralmente, a estimativa da heterose, em relação à produção, é maior do que qualquer outro caráter (Singhania, 1980; Reddy & Joshi, 1993).

No que se refere à depressão endogâmica, houve redução do rendimento médio de grãos nos híbridos BR 303 (3,63 t/ha) e BR 304 (2,96 t/ha) na geração F<sub>2</sub> (2,19 t/ha e 2,10 t/ha), ocasionando valores de depressão endogâmica positivos e de alta magnitude (39,7% e 29%) no plantio normal. Já, em sucessão, estes

parâmetros foram não-significativos (Tabelas 3 e 4). As quedas no rendimento médio não são surpreendentes, pois a consequência mais notável da endogamia é a redução do valor fenotípico médio. Isto revela o risco de prejuízo que os agricultores podem ter, ao plantarem a geração F<sub>2</sub> dos híbridos graníferos BR 303 e BR 304, no plantio normal. No que tange à magnitude das estimativas de depressão endogâmica obtidas no trabalho, o valor de 39,7% é relativamente superior ao que está relatado na literatura consultada. Os outros valores estão dentro da faixa descrita por alguns experimentos (Geeta & Rana, 1987; Reddy & Joshi, 1993).

**TABELA 1. Médias dos pais, do híbrido granífero e estimativas da heterose média e da heterobeltiose, em duas épocas de plantio, normal (N) e sucessão (S), em Sete Lagoas, MG, 1993.**

Caracteres	Parentais				Híbrido BR 303		Heterose em relação à média dos parentais (%)		Heterobeltiose (%)
	BR 007 B		BR 012 R		N	S	N	S	
	N	S	N	S					
Altura da planta (m)	1,56	1,47	1,40	1,32	1,60	1,16	8,2ns	-17,0ns	2,6ns
Dias para o florescimento	76,0	66,0	77,0	70,0	77,00	68,00	0,6ns	0,0ns	0,0ns
FDN (%)	49,08	57,66	66,14	60,03	63,60	63,14	10,4*	7,3ns	-3,8ns
FDA (%)	26,08	30,83	33,93	36,50	32,35	33,45	7,8ns	-0,6ns	-4,6ns
Lignina (%)	1,29	1,56	2,14	2,46	1,32	1,26	-23,0ns	-37,3*	-38,3ns
Hemicelulose (%)	23,00	26,84	32,20	23,53	31,25	29,70	13,2*	17,9*	-2,9ns
Carboidratos (%)	39,19	34,48	28,60	24,13	33,25	31,50	-1,9ns	7,5ns	-15,1*
Proteína (%)	8,58	10,94	9,91	14,68	8,00	11,00	-14,3*	-14,4ns	-20,0*
Matéria seca (%)	31,60	28,63	41,56	24,47	45,53	35,40	24,5*	33,3*	9,5ns
Proporção de colmo	0,53	0,61	0,43	0,39	0,42	0,45	-14,6ns	-10,0*	-22,6ns
Proporção de folha	0,12	0,11	0,22	0,41	0,16	0,19	-5,9ns	-30,8*	-27,3*
Proporção de panícula	0,33	0,26	0,34	0,18	0,42	0,36	25,4*	63,6*	23,5ns
Matéria verde total (t/ha)	25,50	15,76	13,81	12,90	22,79	15,62	16,0ns	9,0ns	-10,7ns
Rendimento de grãos (t/ha)	2,39	2,31	2,34	0,87	3,63	2,10	53,5*	32,1ns	52,0*
Rendimento de massa seca total (t/ha)	7,98	4,47	5,83	3,15	10,15	5,53	47,0*	45,1*	27,2*

\* Significativamente diferente de zero, a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Verificou-se que os híbridos graníferos que apresentaram maior heterose exibiram, em geral, maior depressão endogâmica na geração F<sub>2</sub>. Outros trabalhos também relatam isso (Kulkarni et al., 1977; Kulkarni & Shinde, 1985). A explicação mais plausível é que tanto a heterose como a depressão endogâmica geralmente são explicadas pela presença de efeitos gênicos de dominância que governam a herança do caráter em questão. Os valores da depressão endogâmica, na geração F<sub>3</sub> em relação à produção, são nulos. Se a depressão endogâmica é causada pela presença de efeitos gênicos não-aditivos, esperava-se redução das médias fenotípicas na geração F<sub>3</sub>, o que não aconteceu.

Quanto ao teor médio protéico dos híbridos BR 303 e BR 304, obtiveram-se valores de 8% e 10%, no plantio normal, e 11% e 13%, no plantio em sucessão (Tabelas 1 e 2). Essas diferenças podem ser explicadas sabendo-se que o teor protéico de qualquer cultura sofre influência de vários fatores ambientais, tais como: locais, anos, práticas culturais e fatores genéticos. O presente trabalho, em que o teor protéico foi maior no plantio em sucessão, a causa principal é que a altura de planta diminuiu. Portanto, há maior participação de grãos, folhas e panículas na massa total, e, conseqüentemente, aumento no teor protéico (Zago, 1991) (Tabelas 1 e 2). O valor de 8% é considerado baixo, segundo Finkner et al. (1981). Os outros valores estão dentro da faixa relatada por alguns autores, com materiais genéticos distintos, e em outros ambientes (Wilson et al., 1978; Finkner et al., 1981). Ainda em relação ao teor protéico, no híbrido BR 303, obtiveram-se estimativas de heterobeltiose negativa e de média magnitude (-20% e -25,3%), nas duas épocas de plantio (Tabela 1). Já quanto ao BR 304, os valores são nulos (Tabela 2). Essas estimativas negativas não são surpreendentes, em virtude do que já estava registrado nos artigos científicos consultados (Singhania et al., 1979; Finkner et al., 1981). Por outro lado, existe relato de heterose protéica positiva (Nayeem & Bapat, 1984b). Muitos melhoristas de sorgo tentam obter, simultaneamente, alto rendimento de grãos e elevado conteúdo protéico. No entanto, trabalhos científicos apontam para uma correlação genotípica negativa entre os dois caracteres (Liang, 1967; Liang et al., 1969; Finkner et al., 1981; Flores et al., 1986; Monyo et al., 1988). Apesar dessa correlação genotípica negativa, têm-se obtido híbridos com as características desejáveis, em consequência dos seguintes aspectos: as correlações genéticas, que nem sempre são tão fortes e consistentes (Flores et al., 1986), e seleção direta no tocante ao teor protéico.

As evidências amostrais indicam depressão endogâmica não-significativa em relação ao teor protéico. Além disso, os híbridos graníferos e suas gerações avançadas por autofecundação apresentaram conteúdo médio protéico maior no plantio em sucessão do que no plantio normal (Tabelas 3 e 4).

**TABELA 2. Médias dos pais, do híbrido granífero e estimativas da heterose média e da heterobeltiose, em duas épocas de plantio, normal (N) e sucessão (S), em Sete Lagoas, MG, 1993.**

Caracteres	Parentais				Híbrido BR 304		Heterose em relação à média dos parentais (%)		Heterobeltiose (%)
	BR 001 B		BR 012 R		N	S	N	S	
	N	S	N	S					
Altura da planta (m)	1,52	1,14	1,40	1,33	1,62	1,27	11,0ns	2,8ns	6,5ns
Dias para o florescimento	73,0	66,0	77,0	70,0	77,0	67,0	2,6ns	-1,4ns	0,0ns
FDN (%)	61,32	60,44	66,14	60,03	58,78	57,06	-7,8*	-5,3ns	-11,1*
FDA (%)	31,94	33,33	33,93	36,50	29,81	29,68	-9,5*	-15,0*	-12,1*
Lignina (%)	2,28	2,00	2,14	2,46	1,55	1,59	-29,9ns	-28,5*	-32,0ns
Hemicelulose (%)	29,37	27,10	32,20	23,53	28,96	27,37	-5,9ns	8,1ns	-10,1ns
Carboidratos (%)	32,25	32,41	28,60	24,13	35,10	35,23	15,4*	24,6*	8,8ns
Proteína (%)	10,20	12,11	9,91	14,68	10,00	13,00	-0,7ns	-2,9ns	-2,1ns
Matéria seca (%)	35,56	34,13	41,56	24,47	42,40	34,23	10,0ns	16,8*	2,0ns
Proporção de colmo	0,33	0,50	0,43	0,39	0,36	0,44	-5,3ns	-3,4ns	-16,3ns
Proporção de folha	0,15	0,12	0,22	0,41	0,16	0,19	-19,0ns	-28,3*	-32,0*
Proporção de panicula	0,51	0,36	0,34	0,18	0,48	0,37	13,0ns	37,0*	-5,9ns
Matéria verde total (t/ha)	11,81	8,52	13,81	12,90	17,04	13,76	33,0*	28,5*	23,4ns
Rendimento de grãos (t/ha)	1,52	1,06	2,34	0,87	2,96	1,60	53,4*	64,8*	26,5ns
Rendimento de massa seca total (t/ha)	4,20	2,90	5,83	3,15	7,21	4,71	43,8*	55,7*	23,7ns

\* Significativamente diferente de zero, a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Apesar de os híbridos apresentarem características graníferas, foram analisadas outras variáveis ligadas à qualidade da forragem, tais como: fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN), lignina, hemicelulose, carboidratos estruturais e matéria seca. No que concerne às heterobeltioses desses caracteres, em relação ao híbrido BR 303, verificou-se que a maioria foi não-significativa, com exceção dos valores referentes à lignina (-48,8%) e à matéria seca (23,6%) no plantio em sucessão, e aos carboidratos (-15,1%) no plantio normal (Tabela 1). Em relação ao híbrido BR 304, também verificou-se que os valores das heterobeltioses foram, em sua maioria, não-significativos, com exceção das estimativas negativas em FDN (-11,1%) e FDA (-12,1%) no plantio normal, e em lignina (-35,4%) e FDA (-18,7%) no plantio em sucessão (Tabela 2). A heterobeltiose negativa para lignina é bastante interessante, pois os materiais que a apresentam em grandes concentrações são menos digestíveis. Na nutrição animal, a importância da lignina prende-se à sua influência negativa sobre a digestibilidade de outros nutrientes, evidenciada pelas altas correlações negativas do teor de lignina, com a digestibilidade da matéria seca, da celulose e da hemicelulose (Silva, 1990). Nesse contexto, heteroses negativas em FDA (lignina e celulose) e em FDN (celulose, hemicelulose, lignina e proteína lignificada) também são desejáveis. Enfim, as reduções nos teores de fibra e, especialmente, de lignina, são atributos fundamentais para boa digestibilidade. A estimativa negativa de heterose referente aos carboidratos estruturais (celulose, hemicelulose e lignina) é desejável. O importante, na verdade, seria um total elevado de carboidratos não-estruturais, pois essa energia é que está prontamente disponível para o animal.

Em relação à estimativas da depressão endogâmica em caracteres de qualidade, na geração F<sub>2</sub> do híbrido BR 303, obtiveram-se valores não-significativos, com exceção de FDN (13,3%), hemicelulose (17,1%) e matéria seca (21%) no plantio normal e matéria seca (21,8%) no plantio em sucessão. No entanto, de F<sub>2</sub> para F<sub>3</sub>, evidenciou-se depressão endogâmica não-significativa (Tabela 3). Com relação ao híbrido BR 304, verificou-se significância estatística apenas nos valores 8,1% para FDN no plantio normal, e -17,2% na FDA, 18,1% nos carboidratos e 26% na matéria seca no plantio em sucessão. Não houve depressão endogâmica de F<sub>2</sub> para F<sub>3</sub> (Tabela 4). Nesse contexto, a qualidade da forragem (avaliada em termos de composição química), na geração F<sub>2</sub>, não decresceu, apesar da queda de rendimento de grãos.

Quanto ao caráter matéria verde total, todos os valores da heterobeltiose e de depressão endogâmica foram não-significativos. Obtiveram-se evidências de heteroses médias significativas e de alta magnitude, -33% e 28,4%, no híbrido BR 304, nas duas épocas de plantio (Tabelas 1, 2, 3 e 4).

Em relação ao rendimento da massa seca total, que é mais interessante do que a matéria verde, do ponto de vista do desempenho animal, os valores da heterobeltiose foram positivos e de alta magnitude no híbrido BR 303 (27,2% e 23,7%), nas duas épocas de plantio. No entanto, no híbrido BR 304, somente um valor foi positivo e de alta magnitude (49,5%), no plantio em sucessão. Todos os valores de heterose média, dos dois híbridos, foram positivos e de magnitudes superiores aos da heterobeltiose (Tabelas 1 e 2).

No que diz respeito à depressão endogâmica, houve redução do rendimento médio da massa seca total do híbrido BR 303 (10,15 t/ha e 5,53 t/ha) na geração F<sub>2</sub> (7,78 t/ha e 3,43 t/ha), ocasionando valores de depressão endogâmica positivos e de alta magnitude (23,3% e 38,0%), nas duas épocas de plantio. Já no híbrido BR 304, obteve-se um valor positivo, de alta magnitude (31,2%), no plantio em sucessão. Todos os valores de depressão endogâmica foram não-significativos, na geração F<sub>3</sub> (Tabelas 3 e 4).

**TABELA 3. Médias do híbrido granífero BR 303, das gerações avançadas (F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>) e estimativas da depressão endogâmica (DP), em duas épocas de plantio, normal (N) e sucessão (S), em Sete Lagoas, MG, 1993.**

Caracteres	BR 303 F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>		F <sub>3</sub>		DP <sub>1</sub> = (F <sub>1</sub> - F <sub>2</sub> )/F <sub>1</sub> x 100		DP <sub>2</sub> = (F <sub>1</sub> - F <sub>3</sub> )/F <sub>1</sub> x 100		DP <sub>3</sub> = (F <sub>2</sub> - F <sub>3</sub> )/F <sub>2</sub> x 100
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Altura da planta (m)	1,60	1,16	1,70	1,04	1,25	1,37	-6,2ns	10,4ns	21,9ns	-18,0ns	26,5ns
Dias para o florescimento	77,0	68,0	80,0	72,0	75,0	66,0	-3,9ns	-5,9ns	2,6ns	3,0ns	6,3ns
FDN (%)	63,60	63,14	55,12	57,50	56,17	59,11	13,3*	8,9ns	11,7*	6,3ns	-1,9ns
FDA (%)	32,35	33,45	29,21	31,68	29,59	32,35	9,7ns	5,3ns	8,5ns	3,3ns	-1,3ns
Lignina (%)	1,32	1,26	1,46	1,62	1,51	1,58	-10,6ns	-28,6ns	-14,4ns	-25,4ns	-3,4ns
Hemicelulose (%)	31,25	29,70	25,91	25,80	26,57	26,75	17,1*	13,1ns	15,0*	10,0ns	-2,5ns
Carboidratos (%)	33,25	31,50	33,70	31,92	33,79	32,80	-1,6ns	-1,3ns	-1,6ns	-4,1ns	0,0ns
Proteína (%)	7,92	10,96	9,58	13,52	9,70	13,26	-21,1ns	-23,3ns	-22,4*	-21,0ns	-1,2ns
Matéria seca (%)	45,53	35,40	35,93	27,66	35,50	26,80	21,0*	21,8*	22,0*	24,3*	1,2ns
Proporção de colmo	0,42	0,45	0,50	0,49	0,57	0,52	-22,0ns	-8,8ns	-39,0*	-15,5*	-14,0ns
Proporção de folha	0,16	0,19	0,18	0,20	0,18	0,20	-12,5ns	-11,1ns	-12,5ns	-11,1ns	0,0ns
Proporção de panícula	0,42	0,36	0,31	0,31	0,24	0,27	26,2*	13,8ns	42,8*	25,0*	22,5ns
Matéria verde total (t/ha)	22,78	15,62	21,59	12,38	24,31	15,12	5,2ns	20,7ns	-6,7ns	3,2ns	-12,6ns
Rendimento de grãos (t/ha)	3,63	2,10	2,19	1,78	2,35	1,60	39,7*	15,2ns	35,2*	23,8ns	-7,3ns
Rendimento de massa seca total (t/ha)	10,15	5,53	7,78	3,43	8,63	4,04	23,3*	38,0*	15,0ns	27,0*	-11,0ns

\* Significativamente diferente de zero, a 5% de probabilidade, pelo teste t.

No que concerne às proporções de colmo, folha e panícula, registrou-se que os híbridos graníferos, BR 303 e BR 304, apresentaram os seguintes resultados: 0,42; 0,16; 0,42 e 0,36; 0,16; 0,48, no plantio normal, e 0,45; 0,19; 0,36 e 0,44; 0,19; 0,37, no plantio em sucessão (Tabelas 1 e 2). Essas proporções são típicas de sorgo de porte baixo, ou seja, caracterizam-se pela alta proporção de grãos e baixa produção de forragem. Nesse contexto, observa-se tendência de redução na proporção de panícula e aumento nas proporções de colmo e folha no plantio em sucessão, o que não é satisfatório. Em relação às proporções colmo, folha e panícula, no híbrido BR 303 detectou-se, somente, um valor de heterobeltiose significativo, no tocante à proporção de folha (-27,3%), no plantio normal. O valor da heterose média foi significativo e positivo (25,4%) quanto à proporção de panícula (Tabela 1). Já, quanto ao plantio em sucessão, as proporções colmo, folha e panícula apresentaram os valores de heterobeltiose significativos e de alta magnitude (-26,2%; -56,1% e 38,4%), respectivamente (Tabela 1). Esses resultados são bastante coerentes, ou seja, existe uma tendência de o híbrido BR 303 apresentar maior proporção de panícula, com conseqüente redução, nas proporções de colmo e folha, nas duas épocas de plantio.

Com relação ao híbrido BR 304, os valores de heterobeltiose foram negativos na proporção de folha (-32%) no plantio normal, e nas proporções de colmo (-14%) e folha (-53,6%) no plantio em sucessão. A heterose média foi positiva na proporção de panícula (37%), no plantio em sucessão. Também quanto ao híbrido BR 304 existe tendência, menos acentuada que a do híbrido BR 303, de aumentar a proporção de panícula, e redução das proporções de colmo e folha (Tabela 2).

No que concerne ao estudo da depressão endogâmica referente a essas proporções, na geração F<sub>2</sub> do híbrido BR 303, obteve-se evidência de alteração na média populacional apenas quanto à proporção de panícula (26,2%) no plantio normal. Na geração F<sub>3</sub>, todas as alterações foram não-significativas (Tabela 3). Esse mesmo estudo, na geração F<sub>2</sub> do híbrido BR 304, evidenciou alteração positiva na proporção de panícula (27%) no plantio normal. No plantio em sucessão, as estimativas de depressão endogâmica nas proporções de folha e panícula foram -26,3% e 21,6%. Na geração F<sub>3</sub>, não se obteve evidência de depressão endogâmica (Tabela 4).

No que diz respeito ao estudo de efeitos gênicos, primeiramente o teste de escala C revelou que no cruzamento BR 007A x BR 012R há ação gênica epistática determinando FDN e hemicelulose no plantio normal e rendimento da massa seca total no plantio em sucessão (Tabela 5).

No tocante ao outro cruzamento, BR 001A x BR 012R, há evidência da presença de efeitos causados pelas interações entre genes não-alélicos em vários caracteres, com exceção de rendimento de grãos e rendimento

da massa seca total, em que os testes C e D foram não-significativos no plantio normal. No entanto, no plantio em sucessão, somente em relação aos caracteres carboidratos, proteína, e matéria seca total, há evidência de ação gênica epistática (Tabela 6).

**TABELA 4. Médias do híbrido granífero BR 304, das gerações avançadas (F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>) e estimativas da depressão endogâmica (DP), em duas épocas de plantio, normal (N) e sucessão (S), em Sete Lagoas, MG, 1993.**

Caracteres	BR 304 F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>		F <sub>3</sub>		DP <sub>1</sub> = (F <sub>1</sub> - F <sub>2</sub> )/F <sub>1</sub> x 100		DP <sub>2</sub> = (F <sub>1</sub> - F <sub>3</sub> )/F <sub>1</sub> x 100		DP <sub>3</sub> = (F <sub>2</sub> - F <sub>3</sub> )/F <sub>2</sub>
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Altura da planta (m)	1,62	1,27	1,73	1,17	1,58	1,06	-6,8ns	7,8ns	2,4ns	16,5ns	8,6ns
Dias para o florescimento	77,0	67,0	78,0	66,0	80,0	71,00	-1,3ns	1,5ns	-3,9ns	-6,0ns	-2,5ns
FDN (%)	58,78	57,06	54,00	62,00	57,46	64,11	8,1*	-8,4ns	2,2ns	-12,3*	-6,4ns
FDA (%)	29,81	29,68	26,77	34,80	30,02	35,46	10,2ns	-17,2*	-0,7ns	-19,4*	-12,0ns
Lignina (%)	1,55	1,59	1,04	1,95	1,33	1,61	33,0ns	-22,6ns	14,2ns	-1,2ns	-27,8ns
Hemicelulose (%)	28,96	27,37	27,23	27,08	27,43	28,65	5,9ns	1,0ns	5,2ns	-4,6ns	-0,7ns
Carboidratos (%)	35,10	35,23	36,12	28,83	32,20	26,64	-2,9ns	18,1*	8,2ns	24,3*	10,8ns
Proteína (%)	10,00	13,01	10,56	15,21	11,87	15,37	-5,8ns	-17,0ns	-18,9*	-18,1ns	-12,4ns
Matéria seca (%)	42,40	34,23	36,80	26,90	31,40	25,73	13,2ns	21,4*	26,0*	24,8*	14,6ns
Proporção de colmo	0,36	0,44	0,46	0,45	0,42	0,48	-27,7ns	-4,6ns	-16,6ns	-11,6ns	8,7ns
Proporção de folha	0,16	0,19	0,18	0,24	0,20	0,27	-20,0ns	-26,3*	-33,3ns	-42,1*	-11,0ns
Proporção de panícula	0,48	0,37	0,35	0,29	0,36	0,24	27,0*	21,6*	25,0*	35,1*	-2,8ns
Matéria verde total (t/ha)	17,04	13,76	20,70	12,04	21,66	12,14	-21,4ns	12,5ns	-27,1ns	11,7ns	-4,6ns
Rendimento de grãos (t/ha)	2,96	1,59	2,10	1,17	1,70	1,10	29,0*	26,4ns	42,5*	30,8ns	19,0ns
Rendimento de massa seca total (t/ha)	7,21	4,71	7,47	3,24	6,83	3,13	-3,6ns	31,2*	5,2ns	33,5*	8,5ns

\* Significativamente diferente de zero, a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Os efeitos gênicos, referentes a todos os caracteres, no primeiro cruzamento, BR 007A x BR 012R, no plantio normal, a ação gênica aditiva foi predominante quanto a todos os caracteres de qualidade. No entanto, no tocante aos caracteres de rendimento não foi relevante. No plantio em sucessão, foi predominante quanto a FDA, aos carboidratos e à lignina (Tabela 5).

**TABELA 5. Testes de escala e estimativas dos efeitos gênicos responsáveis pela determinação de nove caracteres de sorgo granífero, em relação ao cruzamento BR 007A x BR 012R, considerando duas épocas de plantio, normal (N) e sucessão (S).**

Caracteres	Testes de escala						Efeitos gênicos <sup>1</sup>						
	C		D		[m]		[d']		[h]		[i]		[l]
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
FDN	-21,94*	-14,00ns	-23,50ns	-6,47ns	55,12*	60,04*	8,53*	1,18ns	2,85ns	3,66ns	-3,13ns	-	28,21*
FDA	-7,87ns	-7,51ns	-8,01ns	-10,10ns	30,54*	32,90*	3,92*	2,83*	2,06ns	-0,43ns	-	-	-
Lignina	-0,23ns	-0,06ns	-0,85ns	-1,94ns	1,48*	1,59*	0,42*	0,45*	-0,39ns	-0,71ns	-	-	-
Hemicelulose	-14,06*	-6,57ns	15,54ns	3,50ns	26,0*	27,14*	4,60*	1,65ns	1,80ns	4,10ns	-1,85ns	-	17,76*
Carboidratos	0,83ns	6,07ns	0,45ns	23,57ns	33,63*	31,28*	5,30*	5,17*	-0,61ns	2,10ns	-	-	-
Proteína	4,00ns	6,54ns	6,30ns	7,30ns	8,95*	12,42*	0,66*	1,87ns	-1,22ns	-1,63ns	-	-	-
Matéria seca	-20,50ns	-13,26ns	-26,54ns	-15,70ns	39,27*	29,85*	4,98*	2,08*	8,32ns	8,42*	-	-	-
Rend. de grãos	-3,23ns	-0,26ns	-2,65ns	-0,94ns	2,75*	1,81*	0,025ns	0,72ns	1,14*	0,51*	-	-	-
Rend. massa seca total	-3,00ns	-4,96*	7,31ns	-1,60ns	8,51*	3,43*	1,07ns	0,66ns	2,95*	-0,22*	-	-1,94ns	-

<sup>1</sup> d': aditivo e aditivo x dominante, h: dominância, i: aditivo x aditivo; l: dominante x dominante.

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Essa falta de consistência dos resultados, nas duas épocas de plantio, revela que os mecanismos genéticos que governam a heterose, em sorgo, são largamente influenciados pelas variações do meio ambiente. Nessa linha de raciocínio, Verma & Singh (1983) sugerem que as estimativas dos efeitos gênicos deveriam ser obtidas em diferentes ambientes, preferivelmente em vários anos e locais. Somente assim poderia ser possível avançar com cruzamentos promissores e ter sucesso em um programa de melhoramento para caracteres específicos.

Quanto ao segundo cruzamento granífero, BR 001A x BR 012R, no plantio normal, o componente aditivo foi significativo no que diz respeito a FDN, carboidratos, proteína, matéria seca e rendimento de grãos. No plantio em sucessão, há significância quanto a carboidratos e matéria seca. Verificou-se, no entanto, que o componente aditivo não predominou em nenhum desses caracteres, com exceção de FDN (Tabela 6).

No que se refere aos caracteres menos complexos, como os de qualidade, a ação gênica aditiva foi importante, confirmando os relatos de Gamble (1962a, 1962b). A magnitude da variação aditiva, no primeiro cruzamento, BR 007A x BR 012R, parece ser suficiente para o melhoramento dos caracteres de qualidade.

**TABELA 6. Testes de escala e estimativas dos efeitos gênicos responsáveis pela determinação de nove caracteres de sorgo granífero, em relação ao cruzamento BR 001A x BR 012R, considerando duas épocas de plantio, normal (N) e sucessão (S).**

Caracteres	Testes de escala				Efeitos gênicos <sup>1</sup>									
	C		D		[m]		[d']		[h]		[i]		[l]	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	
FDN	-29,00ns	12,93ns	-40,26*	37,35ns	54,00*	60,23*	2,41*	0,20ns	-6,04ns	-3,15ns	-1,10ns	-	32,0*	
FDA	-18,41*	10,00ns	-17,10*	14,83ns	26,78*	33,21*	1,00ns	1,58ns	-6,64*	-4,96*	-3,51ns	-	25,44*	
Lignina	-3,36*	0,17ns	-5,72ns	-3,65ns	1,04*	1,83*	0,07ns	0,23ns	-0,43ns	-0,56ns	0,22ns	-	2,90*	
Hemicelulose	-10,57ns	2,95ns	-23,20*	22,57ns	27,23*	27,00*	1,42ns	1,78ns	0,62ns	1,81ns	2,44ns	-	5,68ns	
Carboidratos	14,43*	-11,70*	4,85ns	-27,00*	36,12*	28,83*	1,82*	4,14*	9,77*	10,10*	5,10ns	3,14ns	-23,62*	
Proteína	2,17ns	8,03*	14,67*	16,60ns	10,56*	14,00*	0,14*	1,28ns	-3,88*	-1,89ns	-3,80*	-1,50ns	5,44ns	
Matéria seca	-13,72ns	-19,46*	-65,00*	-38,42*	36,80*	29,78*	3,00*	4,83*	18,13*	3,07*	14,30*	13,30ns	-13,86ns	
Rend. de grãos	-1,38ns	-0,43ns	-4,00ns	-0,17ns	2,27*	1,25*	0,41*	0,10ns	1,03*	0,60*	-	-	-	
Rend. massa seca total	5,43ns	-2,51ns	10,13ns	-2,53ns	6,65*	3,67*	0,81ns	0,12ns	2,30*	1,59*	-	-	-	

<sup>1</sup> d': aditivo e aditivo x dominante; h: dominância; i: aditivo x aditivo; l: dominante x dominante.

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

A ação gênica devida à dominância não predominou na herança dos caracteres de qualidade, mas sim, em relação aos de rendimento, no primeiro cruzamento BR 007A x BR 012R, nas duas épocas de plantio (Tabela 5). Isto sugere que a herança de caracteres quantitativos, que é mais complexa, a contribuição dos efeitos gênicos devidos à dominância torna-se maior (Gamble, 1962a, 1962b). Faz-se mister salientar que a ação gênica devida à dominância explica, em grande parte, a heterose e posterior depressão endogâmica manifestadas em relação aos caracteres de rendimento (Tabelas 1 e 3).

No segundo cruzamento granífero, BR 001A x BR 012R, os efeitos gênicos em questão foram importantes quanto a FDA, carboidratos, proteína, matéria seca, rendimento de grãos e rendimento da massa seca total, no plantio normal, e predominantes em FDA, carboidratos, matéria seca e rendimento da massa seca total no plantio em sucessão (Tabela 6). Verifica-se que, geralmente, os efeitos de dominância explicaram a manifestação heterótica e conseqüente depressão endogâmica nos caracteres supracitados (Tabelas 2 e 4). Esses caracteres, que são governados pela ação gênica em virtude da dominância não podem ser fixados, e a exploração do vigor híbrido é a única solução.

A importância do efeito gênico devido à dominância não está somente na significância e magnitude, mas também, no sinal. Nesse sentido, estimativas positivas sugerem que a dominância está no sentido de aumentar a expressão média fenotípica do caráter em questão. Conseqüentemente, o sinal negativo sugere o contrário. Nesse contexto, no que tange aos caracteres de rendimento, todas as estimativas foram positivas, com exceção da estimativa do caráter rendimento da massa seca total, no cruzamento BR 007A x BR 012R, no plantio em sucessão.

A epistasia foi importante, no cruzamento granífero BR 001A x BR 012R, na determinação de vários caracteres. Isto não se verificou em relação ao cruzamento BR 007A x BR 012R (Tabelas 5 e 6). Entre os dois tipos de interação digênica, destacou-se o componente dominante x dominante (l), que superou os componentes devidos aos efeitos gênicos aditivo (d') e devidos, também, a dominância para alguns caracteres de qualidade, no plantio normal, nos dois cruzamentos. Aliada a essa observação, soma-se o fato de essas estimativas terem sido positivas, indicando que esse tipo de ação gênica aumenta a expressão dos caracteres.

Quinby (1963), sem especificar os tipos exatos de epistasia, já comentava a importância da ação de genes não-alélicos, para os caracteres de sorgo. Hallauer & Miranda Filho (1982) comentam que a epistasia pode contribuir para a expressão heterótica em cruzamentos, embora não seja o componente principal da variabilidade genética.

## CONCLUSÕES

1. No plantio em sucessão, comparativamente ao plantio normal, os híbridos graníferos apresentam redução na produção de grãos, matéria verde e rendimento da massa seca total e maior porcentagem protéica.
2. As estimativas da heterose são positivas quanto a rendimento de grãos e de massa seca, e negativas quanto a proteína e teor de fibras, nas duas épocas de plantio.
3. É inviável a utilização das sementes F<sub>2</sub> em plantios comerciais.
4. As estimativas do efeito gênico aditivo são importantes em caracteres de qualidade, no cruzamento granífero (BR 007A x BR 012R), e os efeitos de dominância predominam em caracteres de rendimento, nos dois híbridos e nas duas épocas de plantio.
5. Os desvios da dominância explicam, em grande parte, as manifestações heteróticas e de depressão endogâmica em vários caracteres.

## REFERÊNCIAS

- ARUNACHALAM, V.; BANDYOPADHYAY, A.; NIGAN, S.N.; GIBBONS, R.W. Heterosis in relation to genetic divergence and specific combining ability in groundnut (*Arachis hypogea* L.). **Euphytica**, Wageningen, v.33, p.33-39, 1984.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**. 14. ed. Arlington, VA, 1984. 1094p.
- DESAI, M.S.; DESAI, K.B.; KUKADIA, M.V. Heterosis and combining ability in grain sorghum. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v.55, p.303-305, 1985.
- FINKNER, R.E.; FINKNER, M.D.; GLAZE, R.M.; MAESE, G. Genetic control for percentage grain protein and grain yield in grain sorghum. **Crop Science**, Madison, v.21, p.139-142, 1981.
- FLORES, C.I.; ROSS, W.M.; MARANVILLE, J.W. Quantitative genetics of agronomic and nutritional traits in related grain sorghum random-mating populations as affected by selection. **Crop Science**, Madison, v.26, p.9-13, 1986.
- FRANÇA, J.G.E.; MURTY, D.S.; NICODEMUS, D.; HOUSE, L.R. Análise genética de alguns caracteres agrônômicos em sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). I. Heterose. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.4, p.659-678, 1986.
- GAMBLE, E.E. Gene effects in corn (*Zea mays* L.). I. Selection and relative importance of gene effects for yield. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.42, p.339-348, 1962a.
- GAMBLE, E.E. Gene effects in corn (*Zea mays* L.). II. Relative importance of gene effects for plant height and certain component attributes of yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v.42, p.349-358, 1962b.
- GEETA, S.; RANA, B.S. Genetic changes over six generations in a pedigree breeding programme in sorghum. **Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, v.41, p.61-66, 1987.
- GOYAL, S.N.; JOSHI, P. Genetics yield and panicle components in grain sorghum hybrids. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.44, p.96-101, 1984.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: The Iowa State Univ. Press, 1982. 468p.
- HAYMAN, B.I. The separation of epistatic from additive and dominance variation in generation means. **Heredity**, Edinburgh, ENG, v.12, p.371-390, 1958.
- KULKARNI, N.; MURTY, N.; SAHIB, K.H. Inbreeding depression for grain yield in sorghum hybrids. **Sorghum Newsletter**, Tucson, v.20, p.15-16, 1977.
- KULKARNI, N.; SHINDE, V.K. Heterosis and inbreeding depression in grain sorghum. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, v.55, p.505-509, 1985.
- LIANG, G.H.L. Diallel analysis of agronomic characters in grain sorghum, *Sorghum vulgare* Pers. **Canadian Journal of Genetics and Cytology**, v.10, p.269-276, 1967.
- LIANG, G.H.L.; OVERLEY, C.B.; CASADY, A.J. Interrelations among agronomic characters in grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Crop Science**, Madison, v.9, p.299-302, 1969.
- MATHER, K.; JINKS, J.L. **Biometrical Genetics**. 2.ed. London: Chapman & Hall, 1971. 382p.
- MONYO, E.S.; EJETA, G.; NYQUIST, W.E. Combining ability of high sorghum lines derived from P-721 opaque. **Crop Science**, Madison, v.28, p.70-95, 1988.

- NAYEEM, K.A.; BAPAT, D.R. Heterosis and heterobeltiosis for development and panicle characters in grain sorghum. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v.54, p.169-174, 1984a.
- NAYEEM, K.A.; BAPAT, D.R. Heterosis and heterobeltiosis for grain yield and quality in sorghum. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v.54, p.525-529, 1984b.
- QUINBY, J.R. Manifestations of hybrid vigor in sorghum. **Crop Science**, Madison, v.3, p.288-291, 1963.
- QUINBY, J.R. **Sorghum improvement and the genetics of growth**. Stephenville, Texas: College Station, Univ. Press, 1974. 108p.
- REDDY, J.N.; JOSHI, P. Heterosis, inbreeding depression and combining ability in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.53, p.138-146, 1993.
- RODRIGUES, J.A.S. **Progresso genético e potencial de risco do sorgo granífero, (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) no Brasil**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 170p. Tese de Doutorado.
- ROSS, W.M. Use of population breeding in sorghum - problem and progress. In: ANUAL CORN AND SORGHUM INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, 1973, Chicago. **Proceedings...** Chicago: American Seed Trade Association, 1973. p.30-43.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1990. 165p.
- SINGHANIA, D.L. Heterosis and combining ability studies in grain sorghum. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.40, p.463-470, 1980.
- SINGHANIA, D.L.; DEOSTHALE, Y.G.; RAO, N.G.P. Study of gene action for protein and lysine content in sorghum. **Indian Journal of Heredity**, v.11, p.25-35, 1979.
- VAN SOEST, P.J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for determination of fiber and lignin. **Journal of the Association of Official Agronomy Chemistry**, v.46, p.925-929, 1963.
- VERMA, P.K.; SINGH, R. Genetic analysis of heterosis in sorghum. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.53, p.771-775, 1983.
- WILSON, N.D.; WEIBEL, D.E.; McNEW, R.W. Diallel analyses of grain yield, percent protein, and protein yield in grain sorghum. **Crop Science**, Madison, v.18, p.491-495, 1978.
- ZAGO, C.P. Cultura de sorgo para produção de silagem de alto valor nutritivo. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1991. p.169-217.