

Adaptabilidade e estabilidade produtiva em híbridos simples de sorgo granífero (*Sorghum bicolor*).

Janeo E. de Almeida Filho¹, Dayene C. de P. Soares², Edimundo A. Silva², Liliam S. Candido¹, Flávio D. Tardin³, Sandro Â. de Souza², Vicente de P. C. Godinho⁴ e Milton J. Cardoso⁵

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF); ²Universidade Luterana de Ensino Superior; ³Embrapa Milho e Sorgo; ⁴Embrapa Rondônia 5; Embrapa Meio-Norte E-mail: ^{1*}janeo.eustaquio@ymail.com

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*; interação genótipo/ambiente; AMMI; *biplot*.

Introdução

A grande expansão do cultivo do sorgo, principalmente em plantios de sucessão a culturas de verão, tem gerado grande demanda por cultivares produtivas e com valor agregado para adaptação às condições predominantes nas regiões de plantio (SANTOS et al., 2007). Os rendimentos médios mais elevados nos locais de teste são utilizados, na maioria das vezes, como critério de recomendação das cultivares. Porém, a indicação generalizada, sem considerar que existem ambientes favoráveis e desfavoráveis, pode beneficiar ou prejudicar as cultivares com adaptações específicas aos diferentes tipos de ambientes (CARNEIRO, 1998).

Como a grande maioria das plantas cultivadas, a cultura do sorgo está sujeita a diferentes variações ambientais. Dessa forma, a interação entre genótipo e ambiente (interação GxA) assume papel importante na manifestação fenotípica, por isso, deve ser estimada, afim de obter subsídios técnicos em programas de melhoramento. Com isso, a aplicação de procedimentos de regressão linear tem alcançado grande popularidade (EBERHART; RUSSELL, 1966; CRUZ et al., 1989). Entretanto, alguns estudos, têm mostrado que uma parte razoável dos genótipos avaliados não têm seus comportamentos satisfatoriamente explicados por esses métodos (ZOBEL et al., 1988; DUARTE; ZIMMERMAN, 1994).

Um método de aplicação mais recente, que também permite inferências dessa natureza, é a chamada análise AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*), que significa modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa. Este método combina técnicas estatísticas, como a análise de variância e a análise de componentes principais, para ajustar, respectivamente, os efeitos principais (genótipos e ambientes) e os efeitos da interação GxA (OLIVEIRA et al., 2003).

Com a análise AMMI é possível identificar genótipos de alta produtividade e largamente adaptados, como na realização do chamado zoneamento agrônômico, com fins de recomendação regionalizada e de seleção de locais de teste (GAUCH; ZOBEL, 1996). Zobel et al. (1988) relataram algumas vantagens da análise AMMI: permitir uma análise mais detalhada da interação GxA; garantir a seleção de genótipos, capitalizando suas interações positivas com os ambientes; propiciar estimativas mais precisas das respostas genotípicas e possibilitar fácil interpretação gráfica dos resultados nos chamados *biplots* (representação gráfica simultânea dos genótipos e ambientes).

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a adaptabilidade e a estabilidade do rendimento de grãos de 25 híbridos simples de sorgo, utilizando o modelo AMMI.



Material e métodos

Foram utilizados dados de rendimento de grãos de genótipos de sorgo provenientes do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, sendo 20 genótipos em fase de recomendação, denominados respectivamente: 0307401; 0090061; 0307363; 0307343; 0090035; 0307509; 0307421; 0307511; 0307541; 0577393; 0144015; 0307167; 0144013; 0307689; 9920045; 0307561; 0307671; 0577337; 0441347; 0577335 e cinco híbridos comerciais: 1G220; 1G150; BRS 308; BRS 310 e Dow 822.

Os experimentos foram conduzidos no período de fevereiro a junho de 2009, em sete ambientes diversificados (Tabela 1): um em Acreúna-GO, um em Itumbiara-GO, três em Sete Lagoas-MG, um em Vilhena-RO e um em Teresina-PI. O delineamento experimental adotado, em todos os experimentos, foi o de blocos casualizados com três repetições, sendo que cada parcela foi composta por duas linhas de 5 m, espaçadas de 0,5 m. Foi plantada uma linha paralela às linhas no bloco com distância de 0,5 m, com o objetivo de fazer o efeito de bordadura. O manejo nutricional foi realizado com adução química no momento do plantio e cobertura nitrogenada. Em todos os ambientes utilizaram-se fontes de N-P-K. As doses utilizadas nos ambientes Acreúna, Sete Lagoas 1, Sete Lagoas 2, Sete Lagoas 3 e Teresina foram 60, 60 e 45 kg/ha⁻¹; em Itumbiara, as doses desses nutrientes foram de 60, 40 e 40 kg/ha⁻¹, e em Vilhena foram de 47, 75, e 45 kg/ha⁻¹. Em todos os experimentos, a adubação nitrogenada foi parcelada em 1/3 plantio, e os 2/3 restantes em cobertura de 30 a 35 dias após a emergência das plantas, exceto a cobertura nitrogenada no experimento em Vilhena, que foi aos 20 dias após a emergência.

Em todos ambientes, os grãos foram colhidos com umidade de aproximadamente 15%, padronizando-os em seguida.

Tabela 1. Descrição geográfica dos municípios

Ambientes	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Acreúna	650	17° 23' 45 S	50° 22' 37" O
Itumbiara	448	18° 26' S	49° 13' O
Sete Lagoas	767	19° 27' 57" S	44° 14' 49" O
Teresina	72	05° 05' 20" S	42° 48' 07" O
Vilhena	600	12° 44' 26" S	60° 08' 45" O

Fonte: IBGE, 2009

A análise de estabilidade foi realizada de acordo com o modelo AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*) (CROSSA et al., 1991), o qual representa um modelo linear e bilinear, compreendendo uma análise integrada onde os efeitos aditivos de genótipos e ambientes foram investigados pela análise de variância e o efeito multiplicativo da interação GxA foi decomposto pela análise de componentes principais, utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{c=1}^m \lambda_c \alpha_{ic} \gamma_{jc} + R_{ij} + \bar{e}_{ij}$$
, em que: Y_{ij} = observação feita na parcela do i -ésimo tratamento no j -ésimo bloco; μ = média geral; g_i = efeito do i -ésimo genótipo; a_j



= efeito do j-ésimo ambiente; λ_c representa o c-ésimo valor singular da interação GxA (escalar); α_{ic} representa o vetor singular (vetor coluna) relacionado ao genótipo i; γ_{jc} representa o vetor singular (vetor linha) relacionado ao ambiente j. O índice c (c = 1, 2, ..., m), em que m = p - 1 ou k - 1, o que foi de menor valor é o posto de interação. R_{ij} é o resíduo não explicado pelos componentes principais utilizados. \bar{e}_{ij} é o erro associado a cada média utilizada na análise. Nota-se, portanto, que o termo $(ga)_{ij}$ de um modelo de análise conjunta tradicional é modelado por: $(ga)_{ij} = \sum_{c=1}^m \lambda_c \alpha_{ic} \gamma_{jc} + R_{ij}$ sendo:

$R_{ij} = \sum_{c=n+1}^m \lambda_c \alpha_{ic} \gamma_{jc}$, em que m é o posto da matriz GA. Os termos λ_k , g_{ik} e a_{jk} resultam da chamada decomposição por valores singulares (DVS) da matriz de interações clássica: $G_{A(ga)} = [(\hat{g}a)_{ij}]$, com: $(\hat{g}a)_{ij} = \bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..}$, em que: \bar{Y}_i , é a média do genótipo i; \bar{Y}_j é a média do ambiente j; $\bar{Y}_{..}$ é a média geral dos ensaios. A obtenção da DVS de uma matriz, nesse tipo de aplicação, é descrita por Duarte e Vencovsky (1999). Esses autores comentaram que, no modelo AMMI, o efeito da interação do genótipo i com o ambiente j é descrito como uma soma de "n" parcelas, cada uma resultante da multiplicação de λ_k , expresso na mesma unidade de Y_{ij} , por efeitos de escala (adimensionais) genotípico (g_{ik}) e ambiental (a_{jk}). O termo λ_k traz uma informação relativa à variação resultante da interação GxA, na k-ésima dessas parcelas. Como numa análise de componentes principais (ACP), essas sucessivas parcelas captam porções cada vez menores da variação presente na matriz GA ($\lambda_1^2 \geq \lambda_2^2 \geq \dots \geq \lambda_p^2$), isto é, a soma de quadrados SQ_{GxA} tradicional. Assim, a análise busca recuperar uma parcela determinística da matriz denominada padrão, descartando-se outra denominada de ruído (r_{ij}).

A interpretação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos e ambientes foi feita com base na análise gráfica na forma de *biplot*. Os softwares utilizados para as análises foram o ESTABILIDADE (FERREIRA, 2009) e o R (<http://www.r-project.org>).

Resultados e discussão

Os resultados da análise de variância mostraram que os efeitos de genótipos, de ambientes e da interação GxA foram significativos ($P < 0,01$) (Tabela 2), indicando que os genótipos apresentaram uma resposta diferencial em função da variação ambiental. O primeiro componente principal (Cp1) explicou 45,28%, e o segundo componente principal (Cp2) explicou 21,98%. Os dois eixos, portanto, explicaram 67,26% da Soma de Quadrados da interação GxA. Alguns autores consideram satisfatório que a porcentagem acumulada explicada pelos dois primeiros eixos da interação seja superior a 70%. No entanto, Freire Filho et al. (2003) observaram em seus estudos que mesmo com os dois primeiros eixos da interação explicando apenas 61,25% da variabilidade devida à interação, esse percentual permitiu-lhes selecionar genótipos de feijão-caupi que reunissem genes conferindo estabilidade e adaptabilidade, e que, além disso, pudessem ser recomendados para todos os ambientes testados.



Tabela 2. Resumo da análise de variância para rendimento de grãos de 25 híbridos de sorgo avaliados em sete ambientes, com a decomposição das somas de quadrado da interação GxA, seguindo o modelo AMMI.

F.V.	G.L.	Proporção explicada pelos Cp (%)	Explicação acumulada dos Cp	Q.M.	F
Genótipos	24	-	-	7.490.406,17	564,67 **
Ambientes	6	-	-	42.851.614,47	3.230,43 **
GxA	144	-	-	2.584.126,74	194,81 **
Cp 1	29	45,28	45,28	5.810.223,11	438,01 **
Cp 2	27	21,98	67,26	3.028.961,73	228,30 **
Cp 3	25	11,41	78,67	1.698.273,47	128,03 **
Desvios	63	21,33	100,00	1.259.984,76	94,99 **
Resíduo	336	-	-	13.265,00	-

** Significativo a 1% de significância pelo teste F.

Na Figura 1, encontra-se a representação gráfica dos genótipos e dos ambientes (gráfico *biplot*), para os dados analisados. Genótipos posicionados próximos à origem dos eixos contribuem pouco para a interação total em relação àqueles mais afastados da origem, e podem ser considerados mais estáveis, por esse critério. Podem também ser considerados de rendimento estável, por interagirem menos com os ambientes. É o caso dos genótipos 0307343, 1G150 e Dow 822 sendo que desses, apenas o genótipo Dow 822 não obteve média geral acima da média geral dos experimentos, que foi de 4,102 (t/ha^{-1}). Da mesma forma, quanto mais próximo da origem o ambiente estiver posicionado, pode ser considerado como mais representativo das condições ambientais médias. No caso do presente estudo, os ambientes que podem ser considerados como mais próximos da origem, foram apenas Sete Lagoas 1 e Sete Lagoas 2, evidenciando a forte contribuição dos ambientes para a interação GxA. O fato do ambiente Sete Lagoas 3 ser uma área com saturação por alumínio elevada, pode ter sido um fator preponderante para o seu afastamento da origem. Em Itumbiara, que foi o ambiente mais distante da origem, o fato deste ambiente ter sido submetido a uma série de lâminas de irrigação durante o experimento pode estar relacionado ao fato de ter ficado distante dos outros experimentos conduzidos em Sete Lagoas-MG. Provavelmente, essas irrigações também podem ter contribuído para a obtenção de maior rendimento médio de grãos, neste ambiente. Informações sobre a contribuição dos ambientes na interação GxA podem ser importantes na escolha de locais-chave para a avaliação de genótipos, em um programa de melhoramento (CHAVES, 2001).

Combinações de genótipos com ambientes, afastados da origem e próximos entre si, mostram interação positiva, representando adaptações específicas, como foi o caso dos genótipos 0307511 e 0307689, com o ambiente Sete Lagoas 1. A adaptação específica indica maior média de produtividade de grãos em um determinado ambiente. A identificação de genótipos, com adaptação específica a uma região, pode levar a recomendação mais precisa das cultivares, com melhor aproveitamento do seu potencial genético, pois capitaliza a interação genótipos com ambientes a seu favor (RAMALHO et al., 1993). Em raciocínio análogo, os genótipos que estão posicionados distantes de



um ambiente, apresentaram baixa capacidade de adaptação no ambiente em questão, como foi o caso da cultivar BRS 308 em relação ao ambiente Itumbiara.

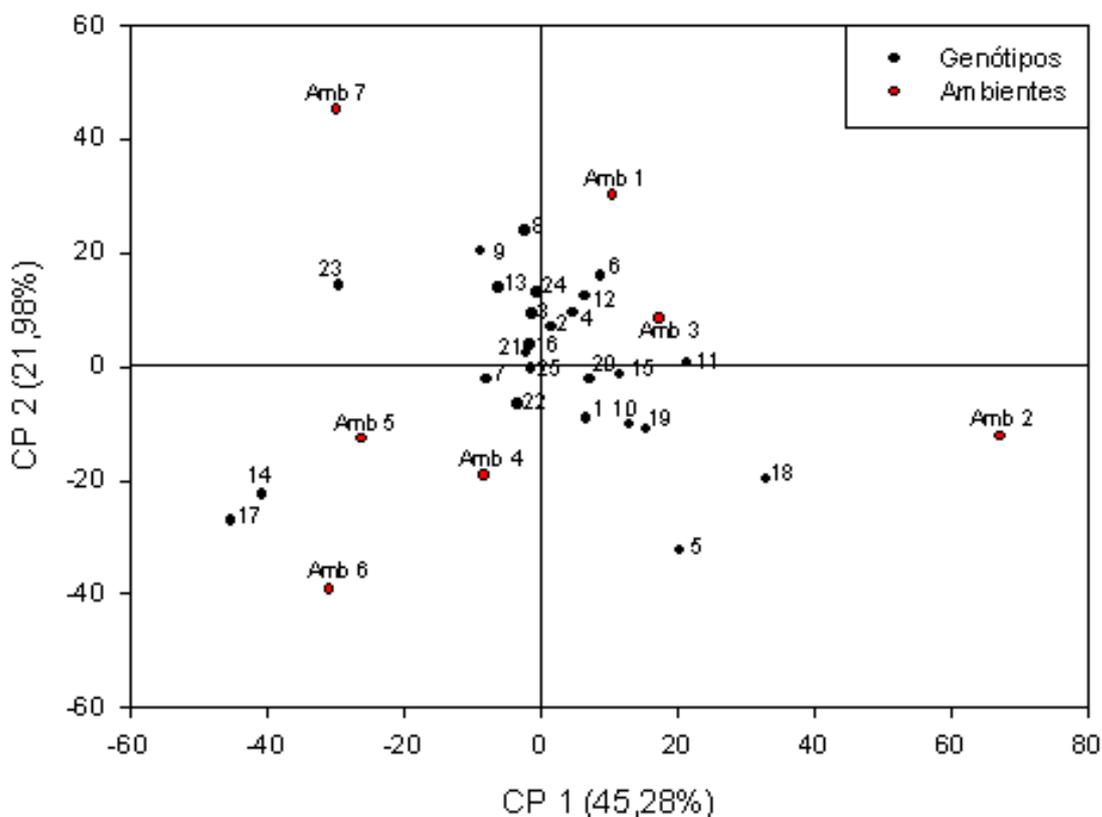


Figura 1. representação gráfica da contribuição dos genótipos.

(1: 0009035; 2: 0009061; 3: 0144013; 4: 0144015; 5: 0307167; 6: 0307343; 7: 0307363; 8: 0307401; 9: 0307421; 10: 0307509; 11: 0307511; 12: 0307541; 13: 0307561; 14: 0307671; 15: 0307689; 16: 0441347; 17: 0577335; 18: 0577337; 19: 0577393; 20: 9920045; 21: 1G150; 22: 1G220; 23: BRS 308; 24: BRS 310 e 25: Dow 822) e dos ambientes (Amb 1: Acreúna; Amb 2: Itumbiara; Amb 3: Sete Lagoas 1; Amb 4 Sete Lagoas 2; Amb 5 Sete Lagoas 3; Amb 6 Teresina e Amb 7: Vilhena) para a interação relativa aos dois primeiros eixos de ACP.

Em análise dos efeitos genotípicos e ambientais, foi verificado que a variação dos efeitos ambientais é muito maior que dos efeitos genotípicos (Tabela 3). Este fato já era esperado, pois, como se trata de uma fase final de um programa de melhoramento, os genótipos envolvidos possuem características promissoras, em contrapartida foi procurado realizar uma amostragem ambiental procurando atingir ambientes de condições edafoclimáticas divergentes. Vale ressaltar que, das cultivares comerciais, apenas a DOW 822 apresentou efeito genotípico negativo juntamente com mais 10 híbridos.



Tabela 3. Resultado do rendimento médio de grãos dos híbridos simples de sorgo granífero, nos ambientes avaliados, juntamente com as estimativas de efeitos ambiental e genético, 2009.

Genótipos	Ambientes (T ha ⁻¹)							Médias (t/ha ⁻¹)	Efeito genotípico
	ITB	SL1	SL2	ACR	SL3	VIN	TER		
0307689	6,58	6,13	5,84	5,05	4,88	4,31	2,84	5,0900	0,9883
0307671	5,46	6,62	6,24	3,67	5,90	5,13	2,44	5,0657	0,9641
1G220	6,26	5,43	5,70	5,27	3,56	4,55	3,85	4,9457	0,8441
0307343	6,07	5,79	4,96	5,29	4,51	5,00	2,16	4,8257	0,7241
1G150	5,12	4,79	6,46	4,02	5,65	3,92	2,03	4,5700	0,4683
0009061	5,65	3,69	4,60	5,65	5,40	4,12	2,18	4,4700	0,3683
0307363	4,48	5,01	5,81	4,51	4,43	4,05	2,83	4,4457	0,3441
BRS 308	3,24	3,93	4,73	4,56	5,19	5,62	2,93	4,3143	0,2126
0307541	5,31	5,17	4,68	4,83	3,38	4,39	2,19	4,2786	0,1769
0144015	5,02	4,88	4,31	5,43	4,25	3,65	2,12	4,2371	0,1355
BRS 310	4,51	4,70	4,08	5,97	3,70	3,86	2,71	4,2186	0,1169
0441347	4,73	5,24	4,52	4,14	3,96	4,10	2,55	4,1771	0,0755
9920045	5,35	3,78	3,96	4,81	3,74	4,56	3,03	4,1757	0,0741
0307421	4,15	5,05	4,41	4,28	3,58	5,30	2,16	4,1329	0,0312
0307167	7,00	3,66	5,35	3,71	4,49	1,76	2,72	4,0986	-0,0031
0307401	4,43	3,87	4,11	6,19	3,23	4,59	2,24	4,0943	-0,0074
0144013	4,68	5,20	3,92	4,22	4,35	4,17	2,12	4,0943	-0,0074
0307511	5,59	5,53	4,35	4,38	2,28	2,67	1,92	3,8171	-0,2845
0307561	3,96	4,35	4,24	4,53	2,84	4,38	2,38	3,8114	-0,2902
Dow 822	4,48	4,28	3,72	4,03	3,48	3,42	2,66	3,7243	-0,3774
0577335	5,38	3,84	4,62	4,15	2,31	2,20	2,22	3,5314	-0,5702
0577393	5,39	4,37	3,75	3,72	2,51	2,21	2,47	3,4886	-0,6131
0307509	5,22	3,65	3,42	3,10	2,94	2,21	1,82	3,1943	-0,9074
0577337	6,13	3,98	3,17	3,20	1,77	0,67	1,69	2,9443	-1,1574
0009035	3,80	3,49	2,74	3,89	2,40	1,21	2,04	2,7957	-1,3059
Médias (T/ha ⁻¹)	5,12	4,66	4,55	4,50	3,79	3,68	2,41	4,101657	-
Efeito ambiental	1,0179	0,5555	0,4459	0,4023	-0,3125	-0,4197	-1,6897	-	-

Conclusões

Os ambientes contribuíram de forma mais expressiva para a interação GxA do que os genótipos; com isso, é impossível fazer uma recomendação de cultivares que sejam promissoras em todos ambientes simultaneamente.

Os híbridos 0307343, 1G150, 0307363, 0307689 e 9920045 apresentaram boa estabilidade, com rendimento de grãos acima da média geral.

Referências

CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento.** 1998. 155 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Curso de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.



CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento-plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673-713.

CROSSA, J.; FOX, P. N.; PFEIFFER, W. H.; RAJARAM, S.; GAUCH, H. G. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 81, p. 27-37, 1991.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. de A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 3, p. 576-580, 1989.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipo x ambiente**: uma introdução a análise AMMI. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p.

DUARTE, J. B.; ZIMMERMAN, M. J. de O. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de genótipos de feijão comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 25-32, jan. 1994.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Mandison, v. 6, p. 36-40, 1966.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: um programa para análises e ensino de estatística: versão 5.1. Lavras: UFLA, 2009. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/software.htm>>. Acesso: 10 out. 2009.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de caupi enramador de tegumento mulato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 591-598, 2003.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed.). **Genotype by environment interaction**. Boca Raton: CRC Press, 1996. v. 4, p. 85-122.

OLIVEIRA, A. B. de; DUARTE, J. B.; PINHEIRO, J. B. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 357-364, 2003.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

SANTOS, F. G. dos; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E.; CASELA, C. R.; FERREIRA, A. da S. **Híbrido do sorgo granífero BRS 308**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 146).

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 388-393, 1988.

