

Agrupamento de características agronômicas para avaliação de cultivares de sorgo via análise fatorial

Guido Gustavo Humada-González^{1 7}

Gilberto Rodrigues Liska^{2 7}

Augusto Ramalho de Moraes^{3 7}

Marcelo Ângelo Cirillo^{4 7}

Líder Ayala Aguilera^{5 7}

Jenny Düeck^{6 7}

1 Introdução

O sorgo é o quinto cereal mais importante no mundo. Além da utilização na alimentação humana e para a produção de biocombustível, a cultura é considerada ótima alternativa, em substituição ao milho, para uso na alimentação animal, na forma de grãos (Barbosa e Silva, 2002).

No Paraguai, o aumento da demanda por milho, para alimentação humana e animal, aliada a limitações na produção em regiões com déficit hídrico, têm levado pesquisadores a procurar formas alternativas e mais rentáveis para a alimentação de animais. Dentre as espécies, o sorgo granífero se destaca, pois suas características nutritivas e o cultivo são muito semelhantes à cultura do milho, proporcionando alternativa rentável para uso em confinamentos, além de proporcionar redução nos custos de produção, em virtude de o preço de sorgo ser de 20% a 30% inferior ao do milho (Coelho et al. 2002, Neumann et al. 2004).

O sorgo granífero se adapta bem em diversos ambientes, principalmente naqueles em que há condições de deficiência hídrica (Maringuele e Silva, 2002). Isto possibilita sua expansão em regiões com distribuição irregular de chuvas, como é o caso da região ocidental do Paraguai. Nos últimos anos, as empresas produtoras de sementes de sorgo têm disponibilizado novas cultivares, para atender a crescente demanda pelo cereal. O uso de cultivares adaptadas às condições climáticas de determinada região constitui um dos principais fatores para maximizar a produção de grãos. Portanto, torna-se necessária a avaliação da performance dos novos cultivares de sorgo, para assim identificar quais deles adaptam-se melhor às condições ambientais da região.

O objetivo do trabalho foi determinar grupos de variáveis com características semelhantes a fim de avaliar o comportamento produtivo e indicação de cultivar mais adequado para a produção do sorgo na região, por meio da utilização da análise fatorial.

2 Material e métodos

O ensaio foi instalado no campus experimental da cooperativa Chortitzer Ltda, situada à latitude de 22° 23' S, longitude 59° 50' W e altitude de 133 m, conduzido no

¹ DEX-UFLA, e-mail: gustavohumad@hotmail.com

² DEX-UFLA, e-mail: gilbertoliska@hotmail.com

³ DEX-UFLA, e-mail: armorais@dex.ufla.br

⁴ DEX-UFLA, e-mail: macufla@dex.ufla.br

⁵ FCA-UNA Universidad Nacional de Asunción, e-mail: semillas@agr.una.py

⁶ CHORTITZER KOOMITE, e-mail: jennyd@chortitzer.com.py

⁷ Agradecimento à FAPEMIG e CNPq pelo apoio financeiro e a bolsa concedida.

ano agrícola 2013 em solo classificado como franco arenoso no município de Loma Plata, Paraguai, no período fevereiro 2013 a junho de 2013.

A semeadura, em sistema plantio direto, foi realizada em 05/02/2013, os tratamentos culturais foram realizados em todos os tratamentos de acordo com exigências e as necessidades da cultura. A precipitação pluviométrica registrada durante a condução do ensaio foi de 311,3 mm de água. A área útil das parcelas experimentais foram constituídas por quatro fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas por 0,45 m, totalizando 9 m² para cada UEB. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com duas repetições, tendo como tratamento 31 cultivares de sorgo. Foram avaliadas na área útil da parcela as características: número de panículas (contagem das panículas da fileira central e convertendo-se os dados para kg.ha⁻¹); rendimento de grãos com e sem rede de proteção anti-pássaro (pesagem dos grãos, corrigindo-se a umidade para 14% e convertendo-se os dados para kg.ha⁻¹); perdas (assumindo como 100% o rendimento obtido com rede de proteção, a diferença nos rendimentos quando comparados com o ensaio sem proteção foi considerado a perda por hectare, expressas em porcentagem, por efeito dos pássaros); ciclo até o florescimento (número de dias da semeadura até o período em que a porção mediana da panícula apresentasse as flores abertas, em 50% das plantas); ciclo até maturidade fisiológica (período de emergência das plântulas até a colheita, em 50% das plantas); impurezas (uma amostra de 2 kg de grãos foram peneiradas e pesadas novamente, foi considerada impureza a relação entre o peso final da amostra, pós processo de peneiração, e o peso inicial, convertido para porcentagem); peso de mil grãos (pesagem de mil grãos, em gramas, corrigindo-se a umidade para 14%).

Foi feita uma análise exploratória via gráfico *biplot* a fim de identificar grupos de variáveis. Em seguida foi aplicada a análise fatorial, sendo o modelo fatorial para as oito variáveis representado por:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \beta_{1,1}F_1 + \beta_{2,1}F_2 + \beta_{3,1}F_3 + \varepsilon_1 \\
 X_2 &= \beta_{1,2}F_1 + \beta_{2,2}F_2 + \beta_{3,2}F_3 + \varepsilon_2 \\
 X_3 &= \beta_{1,3}F_1 + \beta_{2,3}F_2 + \beta_{3,3}F_3 + \varepsilon_3 \\
 X_4 &= \beta_{1,4}F_1 + \beta_{2,4}F_2 + \beta_{3,4}F_3 + \varepsilon_4 \\
 X_5 &= \beta_{1,5}F_1 + \beta_{2,5}F_2 + \beta_{3,5}F_3 + \varepsilon_5 \\
 X_6 &= \beta_{1,6}F_1 + \beta_{2,6}F_2 + \beta_{3,6}F_3 + \varepsilon_6 \\
 X_7 &= \beta_{1,7}F_1 + \beta_{2,7}F_2 + \beta_{3,7}F_3 + \varepsilon_7 \\
 X_8 &= \beta_{1,8}F_1 + \beta_{2,8}F_2 + \beta_{3,8}F_3 + \varepsilon_8
 \end{aligned} \tag{1}$$

São 8 variáveis X_i ($i = 1, \dots, 8$) para 31 observações. F_j ($j = 1, 2, 3$) são as variáveis latentes ou fatores que representam as oito variáveis. As cargas fatoriais (*factor loadings*) $\beta_{j,i}$ representam a correlação de cada variável com o fator j e variável i . O ε é a variância do erro, ou erro específico (*uniqueness*), e está associada às variações não explicadas pelos fatores. Seja X_1 a variável relacionada ao rendimento de panículas de sorgo, X_2 a variável associada rendimento da cultura com proteção anti-pássaro, X_3 a variável relacionada ao rendimento da cultura sem proteção anti-pássaro, X_4 a variável associada às perdas no rendimento, X_5 a variável relacionada ao florescimento, X_6 a variável associada à maturidade fisiológica, X_7 está relacionada com a impureza e X_8 a variável associada ao peso de 1000 sementes.

Na análise fatorial, os fatores F_1 , F_2 e F_3 não são medidos e são estimados por algum método, como por exemplo, método dos componentes principais, máxima verossimilhança, entre outros (MINGOTI, 2005). Uma vez estimadas as cargas fatoriais,

pode-se obter os valores estimados para cada observação $X_i(n)$ ($n=1, \dots, 31$), que são os escores (*scores*).

Os escores são calculados da seguinte forma:

$$FS_1(n) = \sum_{i=1}^8 \beta_{1,i} X_i(n) \quad (2)$$

$$FS_2(n) = \sum_{i=1}^8 \beta_{2,i} X_i(n) \quad (3)$$

$$FS_3(n) = \sum_{i=1}^8 \beta_{3,i} X_i(n) \quad (4)$$

em que $FS_1(n)$, $FS_2(n)$ e $FS_3(n)$ representam o escores para a observação n nos fatores 1, 2 e 3, respectivamente (FERREIRA, 2011).

As análises foram feitas utilizando-se o software R, conforme R Development Core Team (2013).

3 Resultados e discussões

A análise via gráfico *biplot* mostrou a existência de alguns grupos de variáveis, podendo ser identificado um grupo relacionado às variáveis de rendimento (x_1 , x_2 e x_3). Outro grupo poderia ser formado pelas variáveis relacionadas a medições físicas da cultura (x_5 , x_6 , x_7 e x_8). Os resultados são baseados na matriz de correlação dos dados e serão omitidos.

Como se tem oito variáveis pretende-se reproduzir essas variáveis com uma quantidade menor de variáveis, de tal forma, que elas contribuam com a maior proporção da variabilidade dos dados possível, foi considerado a análise com três fatores. Os primeiros autovalores são maiores que os demais, logo, pela Tabela 1 observa-se que o fator 1 é responsável por 31,9% da variação total explicada pelos dados, o fator 2 é responsável por 19,0% e o fator 3 contribui com 12,9% da variação, considerando-se o sistema sem rotação. A partir do quarto fator, o acréscimo da contribuição na variabilidade total é baixo. Com isso, pode-se considerar e analisar o sistema com apenas três fatores ao invés do sistema original, que continha oito variáveis. Na tabela 1 também são apresentados outros critérios de rotação, Varimax e Promax, com resultados análogos ao critério sem rotação.

Tabela 1: Proporção da variação explicada pelos componentes ajustados.

	Sem rotação			Varimax			Promax		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Autovalores	2,553	1,516	1,035	2,330	1,715	1,060	2,087	1,705	1,238
Proporção da variância	0,319	0,190	0,129	0,291	0,214	0,132	0,261	0,213	0,155
Variância acumulada	0,319	0,503	0,638	0,291	0,506	0,638	0,261	0,474	0,629

Assim, a tabela 2 apresenta as cargas fatoriais estimadas pelo método da máxima verossimilhança para cada fator, que também representam as correlações das variáveis com os fatores, em diversos critérios de rotação.

Observa-se que, sem rotação, no fator 1 as variáveis $X1$, $X2$ e $X3$ estão correlacionadas com esse fator, as variáveis $X4$, $X5$, $X6$ e $X7$ estão fortemente correlacionadas com o fator 2 e a variável $X8$ correlacionada com o fator 3. Desse modo, o fator 1 será denominado de *rendimento* de sorgo, o fator 2 de *métrica* e o fator

3 como *peso*. Como o critério de qualidade de ajuste para o modelo fatorial sem rotação apresentou menor raiz quadrada média do resíduo (RQMR) em relação aos outros critérios de rotação, pode ser considerado como mais adequado para representar os dados em questão (tabela 2).

A figura 1 apresenta os escores do primeiro fator no critério sem rotação, calculados utilizando a equação (2). O cultivar PAN865 apresentou o maior escore para esse fator, ou seja, para esse cultivar o *rendimento* de sorgo em geral é alto, considerando o critério sem rotação. Ligeiras diferenças ocorrem nos critérios Varimax e Promax. Por outro lado, o cultivar que apresentou menor rendimento foi o BUSTER, uma vez que seu escore é mais negativo dentre todos os cultivares. Os cultivares R122 e PAISANTO apresentaram rendimento praticamente nulo.

Tabela 2: Cargas fatoriais estimadas do modelo fatorial ajustado e o critério de qualidade de ajuste Raiz Quadrada Média do Resíduo (RQMR).

Variável	Sem rotação			Varimax			Promax		
	Fator1	Fator2	Fator3	Fator1	Fator 2	Fator3	Fator1	Fator2	Fator3
x_1	0,452	-0,118	-0,091	0,444	0,048	0,164	0,377	-0,036	0,215
x_2	0,866	-0,202	0,452	0,512	0,247	0,820	0,183	0,061	0,923
x_3	0,923	-0,158	-0,344	0,972	0,141	0,175	0,884	-0,016	0,287
x_4	-0,659	0,063	0,756	-0,930	-0,026	0,325	-1,000	0,054	0,247
x_5	0,346	0,935	0,030	0,057	0,980	-0,178	-0,057	1,000	-0,021
x_6	0,426	0,672	0,089	0,149	0,786	0,004	0,006	0,776	0,142
x_7	-0,072	0,321	-0,350	0,056	0,187	-0,438	0,174	0,245	-0,414
x_8	-0,212	-0,068	0,042	-0,180	-0,134	-0,032	-0,145	-0,106	-0,069
RQMR	0,599			0,599			0,923		

* O negrito representa os grupos formados.

A figura 2 apresenta os escores do segundo fator no critério de rotação sem rotação, calculados utilizando a equação (3). O cultivar R122 apresentou o maior escore para esse fator, ou seja, para esse cultivar a *métrica* referente a esse cultivar de sorgo em geral é alto. Ligeiras diferenças ocorrem nos critérios Varimax e Promax. Por outro lado, o cultivar que apresentou menor *métrica* foi o TOB30T, uma vez que seu escore é mais negativo dentre todos os cultivares. Os cultivares A6304 e PAN895 apresentaram *métricas* praticamente nulas.

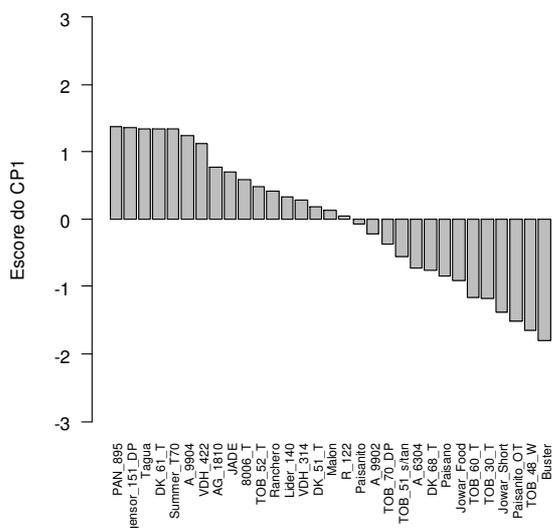


Figura 1: Gráficos dos escores da análise fatorial para o primeiro fator.

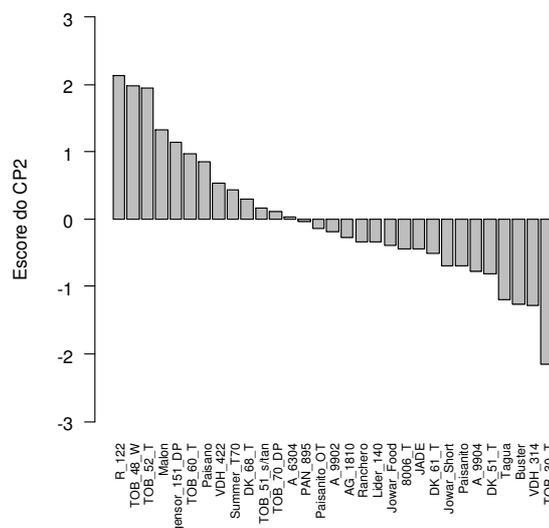


Figura 2: Gráficos dos escores da análise fatorial para o segundo fator.

A figura 3 apresenta os escores do terceiro fator no critério de rotação sem rotação, calculados utilizando a equação (4). O cultivar A9904 apresentou o maior escore para esse fator, ou seja, para esse cultivar o *peso* referente a esse cultivar de sorgo em geral é alto, considerando o critério sem rotação. Ligeiras diferenças ocorrem nos critérios Varimax e Promax. Por outro lado, o cultivar que apresentou menor peso foi o PAISANO, uma vez que seu escore é mais negativo dentre todos os cultivares. Os cultivares A6304 e PAISANITO_OT apresentaram *pesos* praticamente nulos.

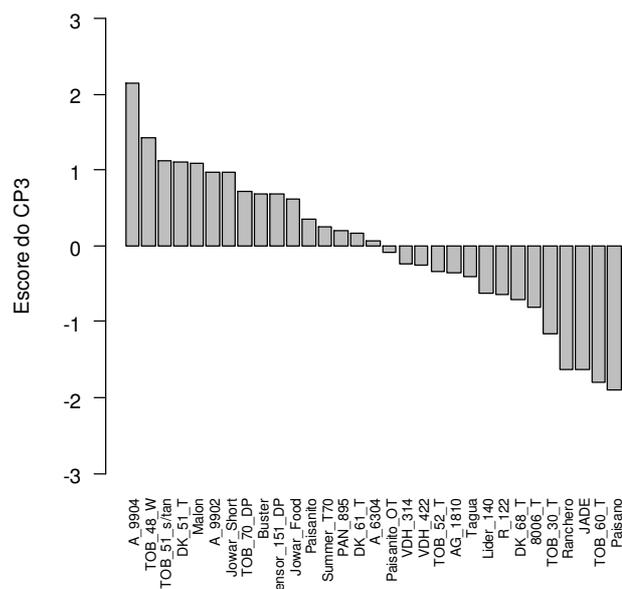


Figura 3: Gráficos dos escores da análise fatorial para o terceiro fator, considerando os critérios de rotação sem rotação.

4 Conclusões

A análise fatorial foi empregada com sucesso na análise do rendimento de sorgo. Foi possível identificar o grupo de variáveis e seu comportamento conjunto aos diferentes cultivares. O cultivar PAN865 apresentou o maior rendimento de grãos.

5 Bibliografia

- BARBOSA, A. P. R.; SILVA, P. S. L. Avaliação dos rendimentos de grãos e forragem de cultivares de sorgo forrageiro. **Caatinga**, Mossoró, v.15, n. ½, p. 7-12, 2002.
- COELHO, A. M. et al. Seja o doutor do seu sorgo. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, n. 100, p. 1-24, 2002 (Arquivo do agrônomo, 14).
- FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. Editora UFLA, 2º ed., 676 p., 2011.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Editora UFMG, 295 p., 2005.
- MARINGUELE, K. H.; SILVA, P. S. L. Avaliação dos rendimentos de grãos e forragem de cultivares de sorgo granífero. **Caatinga**, Mossoró. V. 15, n. ½, p. 13-18, 2002.
- NEUMANN, M. RESTLE, J.; BRONDANI, I. L. Avaliação de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) ou milho (*Zea mays*, L.) na produção de novilho superprecoce. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 3, p. 438-452, 2004.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2013). **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. www.r-project.org.