

## Análise de trilha em caracteres de pendão e produtividade de grãos em milho

Daniela Lixinski Silveira<sup>1</sup>, Alberto Cargnelutti Filho<sup>2</sup>, Cláudia Marques de Bem<sup>3</sup>, Cleiton Antônio Wartha<sup>4</sup>, Andréia Procedi<sup>5</sup>, Milena Pacheco<sup>6</sup>

### 1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal pertencente à família das poáceas de grande importância econômica, por possuir várias finalidades, desde a alimentação animal até a elaboração de produtos de alta tecnologia, como a produção de filmes e embalagens biodegradáveis (MAPA, 2006). Com isso nos programas de melhoramento genético da cultura é almejado o aumento da produtividade de grãos, aliado com a qualidade nutricional, devido à destinação de seus grãos serem basicamente às alimentações animal e humana.

Nos programas de melhoramento genético de milho busca-se desenvolver linhagens e híbridos com menor tamanho (comprimento) da inflorescência masculina, mas que sejam capazes de produzirem grãos de pólen suficientes para promover a polinização (Fischer & Edmeades, 2010). Conforme Edwards (2011), os pendões que apresentam tamanho (comprimento) maior impedem a passagem da radiação solar para o dossel da planta e atuam como dreno de fotoassimilados, sendo que estes poderiam ser destinados a produção de grãos.

Devido a isso, estudos das correlações entre os caracteres estão sendo realizados com a cultura do milho, utilizando o método da análise de trilha. Segundo Montgomery e Peck (1982), esse método consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres, sobre uma variável principal. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a relação entre a produtividade de grãos e os caracteres de pendão, em cultivares de milho.

### 2. Material e Métodos

Na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria-RS, no ano agrícola 2015/2016, foi conduzido um experimento com 20 cultivares de milho (*Zea mays* L.), pertencentes à rede de ensaios de competição de cultivares do Estado do Rio Grande do Sul. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída de duas fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,80 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas na fileira. A semeadura foi realizada manualmente, no dia 21 de outubro de 2015. Posteriormente, a densidade de plantas foi ajustada, por meio do desbaste manual, para cinco plantas por metro de fileira, totalizando 62.500 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação de base foi de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, e a adubação de cobertura foi fracionada em duas aplicações, sendo a primeira no estágio V4 e a

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: [danielisil@gmail.com](mailto:danielisil@gmail.com) (Bolsista Capes)

<sup>2</sup> Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: [alberto.cargnelutti.filho@gmail.com](mailto:alberto.cargnelutti.filho@gmail.com). Bolsista de Produtividade em Pesquisa 1A-CNPq - Processo: 304652/2017-2

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: [claudia\\_debem@hotmail.com](mailto:claudia_debem@hotmail.com) (Bolsista PNPd Capes)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: [cleiton.ufsm@gmail.com](mailto:cleiton.ufsm@gmail.com)

<sup>5</sup> Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: [deiaprocedi123@gmail.com](mailto:deiaprocedi123@gmail.com)

<sup>6</sup> Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. email: [milena-pacheco@live.com](mailto:milena-pacheco@live.com)

Agradecimentos: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Processos 401045/2016-1 e 304652/2017-2), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelas bolsas concedidas.

segunda no estágio V8, de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, totalizando 180 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os tratos culturais foram realizados conforme as recomendações para a cultura de milho mantendo o experimento livre de plantas daninhas, pragas e doenças (Fancelli & Dourado Neto, 2004).

Em 20 pendões de cada parcela foram mensurados os seguintes caracteres: comprimento entre a inserção da folha bandeira e primeira ramificação (CBR), em cm; comprimento da zona de ramificação (CZR), em cm; comprimento da espiga central (CEC), em cm; comprimento do pendão (CP=CBR+CZR+CEC), em cm; número de ramificações primárias (NRP); número de ramificações secundárias (NRS); número total de ramificações (NR=NRP+NRS); massa de matéria seca entre a inserção da folha bandeira e primeira ramificação (MSBR), em g; massa de matéria seca da zona de ramificação (MSZR), em g; massa de matéria seca da espiga central (MSEC), em g; e massa de matéria seca do pendão (MSP=MSBR+MSZR+MSEC, em g). A partir de todas as plantas da parcela foi avaliada a produtividade de grãos (PROD), em t ha<sup>-1</sup>, a 13% de umidade.

Foi realizada a análise de variância e verificado o atendimento da normalidade dos erros e da homogeneidade de variâncias residuais, por meio dos testes de Kolmogorov-Smirnov (Campos, 1983) e Levene (Levene, 1960), respectivamente. Foram estimadas as matrizes de correlação fenotípica e genotípica, realizado o diagnóstico de multicolinearidade com base no número de condição, conforme o critério estabelecido por Montgomery e Peck (1982). Foi realizada a análise de trilha, utilizando as matrizes de correlação fenotípica e genotípica, considerando a produtividade de grãos como caractere principal e os caracteres de pendão como explicativos. Para a análise de trilha, foram excluídos os caracteres que causavam elevado grau de multicolinearidade na matriz de correlação dos caracteres explicativos. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software Genes (Cruz, 2013) e do aplicativo Office Excel®.

### 3. Resultados e Discussão

Com base no teste F da análise de variância, verificou-se efeito significativo de cultivar, a 5% de probabilidade para os doze caracteres (Tabela 1). Os pressupostos de normalidade dos erros e homogeneidade de variâncias residuais foram atendidos para todos os caracteres (valor-p>0,05). Desta forma, com o atendimento aos pressupostos do modelo estatístico, os resultados da análise de variância apresentam confiabilidade.

A estatística de precisão acurácia seletiva (AS) apresentou escores elevados em 100% dos caracteres mesurados ( $AS \geq 0,78$ ), indicando que a precisão do experimento foi alta ou muito alta, conforme critérios estabelecidos por Resende e Duarte (2007) (Tabela 1).

Já, a estatística coeficiente de variação (CV) apresentou valores que oscilaram de 2,56% até 21,73%. Conforme as classes estabelecidas por Pimentel-Gomes (1985), o coeficiente de variação é classificado como baixo, quando inferior a 10%; médio, quando de 10% a 20%; alto, quando de 20% a 30%, e muito alto, quando superior a 30%. Desta forma, o coeficiente de variação foi classificado como baixo para os caracteres CZR (CV=7,53%), CEC (CV=2,97%), CP (CV=2,56%) e MSEC (CV=7,41%), médio para CBR (CV=10,75%), NRP (CV=10,41%), NR (CV=11,58%), MSBR (CV=12,06%), MSZR (CV=13,06%), MSP (CV=10,27%) e PROD (CV=14,97%), já, para o número de ramificações secundárias o coeficiente de variação foi classificado com alto, ou seja, valor igual a 21,73% (Tabela 1). De maneira geral, o coeficiente de variação apresentou valores baixos a médios indicando precisão experimental adequada.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância com o número de graus de liberdade (GL) e o quadrado médio para as fontes de variação bloco, cultivar e resíduo, média, coeficiente de variação (CV%), F calculado para cultivar (Fc), acurácia seletiva (AS), e p-valor dos testes utilizados para verificação do atendimento das pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade de variâncias residuais para doze caracteres em 20 cultivares de milho.

FV	GL	-----Quadrado médio-----					
		CBR	CZR	CEC	CP	NRP	NRS
Bloco	2	0,27	0,87	0,34	3,45	3,64	0,17
Cultivar	19	10,39*	19,03*	40,98*	24,43*	52,71*	5,01*
Resíduo	38	0,89	0,83	0,63	1,48	1,41	0,32
Média		8,78	12,11	26,60	47,50	11,41	2,59
CV(%)		10,75	7,53	2,97	2,56	10,41	21,73
Fc		11,66	22,85	65,46	16,46	37,34	15,77
AS <sup>(1)</sup>		0,96	0,98	0,99	0,97	0,99	0,97
Precisão		MA	MA	MA	MA	MA	MA
p-valor <sup>(2)</sup>		0,972	0,417	0,870	0,985	0,981	0,853
p-valor <sup>(3)</sup>		0,917	0,686	0,950	0,978	0,927	0,970

  

FV	GL	-----Quadrado médio-----					
		NR	MSBR	MSZR	MSEC	MSP	PROD
Bloco	2	5,33	0,00	0,02	0,00	0,03	0,77
Cultivar	19	85,01*	0,02*	1,99*	0,06*	2,38*	5,75*
Resíduo	38	2,63	0,00	0,08	0,00	0,10	2,22
Média		14,00	0,26	2,17	0,67	3,11	9,97
CV(%)		11,58	12,06	13,06	7,41	10,27	14,97
Fc		32,35	22,44	24,70	23,84	23,40	2,59
AS <sup>(1)</sup>		0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,78
Precisão		MA	MA	MA	MA	MA	A
p-valor <sup>(2)</sup>		0,975	0,637	0,423	0,952	0,852	0,884
p-valor <sup>(3)</sup>		0,943	0,933	0,865	0,927	0,907	0,976

Caracteres: comprimento entre a inserção da folha bandeira e primeira ramificação (CBR), em cm; comprimento da zona de ramificação (CZR), em cm; comprimento da espiga central (CEC), em cm; comprimento do pendão (CP=CBR+CZR+CEC), em cm; número de ramificações primárias (NRP); número de ramificações secundárias (NRS); número total de ramificações (NR=NRP+NRS); massa de matéria seca entre a inserção da folha bandeira e primeira ramificação (MSBR), em g; massa de matéria seca da zona de ramificação (MSZR), em g; massa de matéria seca da espiga central (MSEC), em g; massa de matéria seca do pendão (MSP=MSBR+MSZR+MSEC), em g; e a produtividade de grãos (PROD), em t ha<sup>-1</sup>, a 13% de umidade.

\*Efeito significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

<sup>(1)</sup> Limites de classes para a acurácia seletiva (AS), estabelecidos por Resende e Duarte (2007): muito alta (AS ≥ 0,90), alta (0,70 ≤ AS < 0,90), moderada (0,50 ≤ AS < 0,70) e baixa (AS < 0,50).

<sup>(2)</sup> Teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos erros, valor-p>0,05 segue a distribuição normal.

<sup>(3)</sup> Teste de Levene para homogeneidade de variâncias residuais, valor-p>0,05 as variâncias residuais são homogêneas.

O caractere produtividade de grãos apresentou correlação fenotípica negativa apenas com o caractere comprimento da espiga central (CEC), já com os demais caracteres a correlação fenotípica foi positiva. As maiores estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica e genotípica foram para os caracteres MSP (rf=0,55 e rg=0,68), NRS (rf=0,54 e rg=0,61) e MSZR (rf=0,53 e rg=0,66) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (acima da diagonal) e genotípica (abaixo da diagonal) entre doze caracteres de 20 cultivares de milho.

Caractere	CBR	CZR	CEC	CP	NRP	NRS	NR	MSBR	MSZR	MSEC	MSP	PROD
CBR	1	0,36	-0,28	0,60	0,30	0,30	0,31	0,90	0,34	-0,07	0,39	0,17
CZR	0,40	1	-0,79	0,09	0,79	0,84	0,83	0,58	0,76	-0,40	0,69	0,35
CEC	-0,30	-0,81	1	0,41	-0,81	-0,79	-0,83	-0,50	-0,66	0,53	-0,57	-0,12
CP	0,60	0,08	0,41	1	-0,15	-0,08	-0,14	0,45	0,04	0,29	0,13	0,26
NRP	0,33	0,80	-0,82	-0,17	1	0,84	0,99	0,51	0,84	-0,24	0,78	0,37
NRS	0,34	0,85	-0,81	-0,11	0,85	1	0,90	0,45	0,85	-0,31	0,77	0,54
NR	0,34	0,83	-0,84	-0,16	0,99	0,91	1	0,51	0,87	-0,27	0,80	0,42
MSBR	0,91	0,60	-0,52	0,43	0,54	0,48	0,54	1	0,57	-0,03	0,61	0,23
MSZR	0,37	0,77	-0,67	0,03	0,84	0,87	0,87	0,58	1	0,11	0,99	0,53
MSEC	-0,08	-0,41	0,53	0,29	-0,25	-0,33	-0,28	-0,05	0,09	1	0,26	0,25
MSP	0,41	0,69	-0,58	0,11	0,78	0,79	0,81	0,62	0,99	0,24	1	0,55
PROD	0,27	0,39	-0,16	0,31	0,44	0,61	0,49	0,32	0,66	0,32	0,68	1

Constatou-se elevado grau de multicolinearidade entre os caracteres das matrizes de correlação fenotípica e genotípica, dos caracteres explicativos. A matriz de correlação fenotípica apresentou número de condição igual a 234.579. Com a eliminação dos caracteres CBR, CZR, CEC, NRP, NRS e MSP, o número de condição reduziu para 44, indicando multicolinearidade fraca, ou seja, número de condição menor que 100. Já, na matriz de correlação genotípica o número de condição foi 15.373.299. Com isso, foram eliminados os caracteres CBR, CZR, CEC, NRP, NRS e MSP e o número de condição reduziu-se a 46, apresentando multicolinearidade fraca (Tabela 3).

**Tabela 3.** Diagnóstico de multicolinearidade para as matrizes de correlação fenotípica e genotípica, de 11 caracteres de 20 cultivares de milho.

Matriz	Número de Condição inicial	Caracteres excluídos	Número de Condição final	Classificação final
Fenotípica	234.579	CBR, CZR, CEC, NRP, NRS, MSP	44	Fraca
Genotípica	15.373.299	CBR, CZR, CEC, NRP, NRS, MSP	46	Fraca

Na análise de trilha a partir da correlação fenotípica, verificou-se que os caracteres: comprimento do pendão, número total de ramificações, massa de matéria seca da zona de ramificação e massa de matéria seca da espiga central apresentaram efeito direto positivo com a produtividade de grãos, com coeficientes de 0,42, 0,53, 0,23 e 0,23, respectivamente. Já, para o caractere, massa de matéria seca entre a inserção da folha bandeira e primeira ramificação, a correlação com a produtividade de grãos foi negativa, com coeficiente igual a -0,36.

Com base na matriz de correlação genotípica, observou-se efeitos diretos positivos do comprimento do pendão (0,43), número total de ramificações (0,42), massa de matéria seca da zona de ramificação (0,45) e massa de matéria seca da espiga central (0,26) sobre a produtividade de grãos. Já, a massa de matéria seca entre a inserção da folha bandeira, apresentou efeito direto negativo (-0,34) com a produtividade de grãos (Tabela 4).

**Tabela 4.** Efeitos diretos e indiretos dos caracteres explicativos sobre a produtividade de grãos (PROD, em t ha<sup>-1</sup>), coeficiente de determinação da análise de trilha e efeito da variável residual.

Efeitos	Matriz de correlação fenotípica				
	CP	NR	MSBR	MSZR	MSEC
Efeito Direto sobre PROD	0,42	0,53	-0,36	0,23	0,23
Efeito Indireto Via CP		-0,06	0,19	0,02	0,12
Efeito Indireto Via NR	-0,07		0,27	0,46	-0,14
Efeito Indireto Via MSBR	-0,16	-0,18		-0,20	0,01
Efeito Indireto Via MSZR	0,01	0,20	0,13		0,03
Efeito Indireto Via MSEC	0,07	-0,06	-0,01	0,03	
Total	0,26	0,42	0,23	0,53	0,25
Coeficiente de determinação	0,43				
Efeito da variável residual	0,75				

  

Efeitos	Matriz de correlação genotípica				
	CP	NR	MSBR	MSZR	MSEC
Efeito Direto sobre PROD	0,43	0,42	-0,34	0,45	0,26
Efeito Indireto Via CP		-0,07	0,19	0,01	0,13
Efeito Indireto Via NR	-0,07		0,22	0,36	-0,12
Efeito Indireto Via MSBR	-0,15	-0,18		-0,20	0,02
Efeito Indireto Via MSZR	0,01	0,39	0,26		0,04
Efeito Indireto Via MSEC	0,07	-0,07	-0,01	0,02	
Total	0,31	0,49	0,32	0,66	0,32
Coeficiente de determinação	0,61				
Efeito da variável residual	0,63				

De maneira geral, os caracteres, comprimento do pendão, número total de ramificações, massa de matéria seca da zona de ramificação e massa de matéria seca da espiga central, apresentaram efeito direto positivo com a produtividade de grãos, portanto, são caracteres promissores para seleção indireta de plantas. Sugere-se o uso desses caracteres para seleção visando o incremento da produtividade de grãos.

#### 4. Conclusão

Os caracteres, comprimento do pendão, número total de ramificações, massa de matéria seca da zona de ramificação e massa de matéria seca da espiga central, podem ser utilizados na seleção indireta de plantas em programas de melhoramento genético de milho.

#### 5. Referências

CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. 4. ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, 1983, 349p.

CRUZ, C.D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, p. 271-276, 2013.

EDWARDS, J. Changes in plant morphology in response to recurrent selection in the iowa stiff stalk synthetic maize population. **Crop Science**, v. 51, p. 2352-2361, 2011.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2004, 360p.

FISCHER, R. A.; EDMENDES, G. O. Breeding and cereal yield progress. **Crop Science**, v. 50, p. 85-98, 2010.

Levene, H. Robust Test for Equality of Variances (Ed.) '**Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotteling**', Stanford University Press, United States: California, p. 278–292, 1960.

Mapa – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. Minas Gerais: Mapa, p.6, 2006.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1982, p.504.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Esalq, 1985. 467p.

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. **Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.37, p.182-194, 2007.