

Respostas diretas e correlacionadas à seleção em milho em ambientes com e sem estresse hídrico

Melina Teixeira Andrade⁽¹⁾; Thiago Ricielli de Paula Aragão⁽²⁾; Claudio Lopes de Souza Junior⁽³⁾

⁽¹⁾Doutoranda em Genética e Melhoramento de Plantas; Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ Universidade de São Paulo – ESALQ/USP; Piracicaba, SP; melinateixeira@usp.br; Bolsista CNPq; ⁽²⁾Doutorando em Genética e Melhoramento de Plantas; ESALQ/USP; thiagoricelli@usp.br; Bolsista CNPq; ⁽³⁾Professor titular do Departamento de Genética; ESALQ/USP; clsouza@usp.br.

RESUMO: Devido à dificuldade de seleção de híbridos de milho produtivos tolerantes ao estresse hídrico, caracteres correlacionados à produção de grãos devem ser avaliados. Objetivou-se analisar as correlações entre caracteres relacionados ao estresse hídrico em milho e avaliar o efeito da seleção indireta sobre esses, na presença e ausência de estresse. Foram avaliadas 300 progênies de retrocruzamentos em três ambientes sem estresse hídrico (grupo SE) e três com estresse (grupo CE), nos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010. Os caracteres avaliados foram produção de grãos (PG), *stay green* (SG), florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF) e intervalo entre florescimentos (IF). Foram realizadas análises de variância e covariância para estimação das correlações genéticas entre caracteres e foram calculadas respostas diretas e correlacionadas à seleção entre caracteres, nos grupos SE e CE, e entre grupos para um mesmo caráter. A seleção direta para PG, FM e IF foi mais eficiente no grupo CE em relação ao SE, enquanto para SG e FF a resposta à seleção foi maior no SE. Entre caracteres, nos dois grupos, a seleção direta foi mais efetiva que a indireta. A PG foi correlacionada negativamente com todos os demais caracteres, com exceção do IF em CE. A seleção para precocidade resultou em menores notas de SG. A seleção indireta entre grupos só foi mais eficiente que a direta para SG, com seleção no grupo SE e resposta no CE. Logo, caracteres correlacionados à PG devem ser incluídos nos índices de seleção para o melhoramento de genótipos tolerantes ao estresse hídrico.

Termos de indexação: melhoramento genético; *stay green*; resposta correlacionada à seleção.

INTRODUÇÃO

A produção de grãos dos híbridos de milho é afetada pelo estresse hídrico, principalmente em períodos de seca e de adversidades climáticas, como os veranicos. Logo, os programas de melhoramento têm dado atenção especial à seleção de genótipos tolerantes ao estresse hídrico. No entanto, esse tipo de seleção é difícil, pois as avaliações devem ser realizadas em condições controladas e os caracteres relacionados interagem fortemente com o ambiente. Assim, a avaliação de caracteres secundários correlacionados à produção de grãos, como intervalo entre os florescimentos masculino e feminino e *stay green*, tem sido usada estrategicamente. O *stay green*, também conhecido como senescência retardada é um termo dado às plantas que apresentam atividade fotossintética aumentada nos estágios finais, além de maior duração da fotossíntese, permanecendo verdes por mais tempo (Câmara et al., 2007).

Investigar as correlações entre esses caracteres e as alterações provocadas em um determinado caráter devido à seleção praticada em outro, ou como um determinado caráter se comporta ao ser avaliado em um ambiente diferente daquele em que vai ser cultivado, é importante para o melhoramento visando à obtenção de genótipos mais adaptados e para verificar as condições experimentais mais adequadas para a seleção. Ao se conhecer as correlações entre os caracteres, pode-se incluí-los em índices de seleção, que vão auxiliar os programas de melhoramento. E na impossibilidade de avaliação de um caráter de interesse, pode-se avaliar outro que seja altamente correlacionado a ele (Hallauer et al., 2010).

Com este estudo, objetivou-se analisar as correlações entre caracteres relacionados ao estresse hídrico em milho e avaliar o efeito da seleção indireta sobre esses caracteres.

MATERIAL E MÉTODOS

A geração F_1 obtida do cruzamento entre as linhagens de milho L08-05F e L38-05D, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), foi autofecundada. Cem progênies descendentes foram retrocruzadas com as linhagens genitoras e com a F_1 , gerando 300 progênies de retrocruzamentos, de acordo com o delineamento genético *triple test cross*. As progênies de retrocruzamentos foram avaliadas nos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010, em seis ambientes. Durante a condução dos experimentos foi observado estresse hídrico em alguns ambientes, que foi confirmado por uma redução na produtividade de quase 40%. Dessa forma esses ambientes foram divididos em dois grupos (sem estresse – SE e com estresse – CE). O delineamento experimental utilizado foi um alfa-látice 15x20, com duas repetições, em que cada parcela foi constituída de uma linha de 4,00 m com espaçamento de 0,80 m entre parcelas e 0,20 m entre plantas (62.500 plantas ha^{-1}).

Foram realizadas análises de variância (ANAVAs) utilizando o PROC GLM do SAS, para os caracteres produção de grãos (PG, em $t ha^{-1}$), ajustado para 15% de umidade e para o estande médio; *stay green* (SG), ajustado para o florescimento feminino, com notas de um a cinco, sendo nota um atribuída a planta totalmente verde e nota cinco à planta totalmente seca (Câmara et al., 2007); florescimento masculino (FM, em dias); florescimento feminino (FF, em dias) e intervalo entre florescimentos (IF, em dias). SG, FM, FF e IF são caracteres secundários do melhoramento de milho, de fácil avaliação, que permitem inferir sobre a tolerância ao estresse hídrico. Em seguida foram realizadas análises de covariância (ANCOVAs) entre os caracteres para cada grupo e entre grupos para o mesmo caráter. Com base nas esperanças dos produtos médios das ANCOVAs foram calculadas as estimativas de covariância genética entre os caracteres (e grupos) x e y ($C\hat{O}V_{Gxy}$). As estimativas dos coeficientes de correlação genética (\hat{r}_{Gxy}) foram obtidas pela expressão $C\hat{O}V_{Gxy} / \sqrt{\hat{\sigma}_{Gx}^2 \hat{\sigma}_{Gy}^2}$ em que, $\hat{\sigma}_{Gx}^2$ e $\hat{\sigma}_{Gy}^2$ são as estimativas das variâncias genéticas das progênies de retrocruzamento para os caracteres/grupos x e y , respectivamente, obtidas a partir das esperanças

dos quadrados médios das ANAVAs. Para testar a hipótese de nulidade dos coeficientes de correlação genética foi utilizado o teste t de Student, obtido pela expressão $\hat{r}_{Gxy} / s(\hat{r}_{Gxy})$ em que $s(\hat{r}_{Gxy})$ se refere ao desvio padrão do coeficiente de correlação genética, empregando a metodologia descrita por Falconer & Mackay (1996).

As respostas diretas e correlacionadas à seleção foram calculadas de acordo com Vencovsky & Barringa (1992) pelas expressões $Rs_x = i \hat{\sigma}_{Gx}^2 / \sqrt{\hat{\sigma}_{Fx}^2}$ e $RCs_{y|x} = i C\hat{O}V_{Gxy} / \sqrt{\hat{\sigma}_{Fx}^2}$ em que Rs_x é a resposta direta à seleção para o caráter x ; $RCs_{y|x}$ é a resposta correlacionada à seleção para o caráter/grupo y , praticando a seleção no caráter/grupo x ; i é o coeficiente de seleção estandardizado para seleção truncada com intensidade de seleção de 10%, sendo $i = 1,76$; e $\hat{\sigma}_{Fx}^2$ é a estimativa de variância fenotípica em nível de médias de progênies para o caráter x . As respostas à seleção foram obtidas em porcentagem pela expressão $100(Rs_x \text{ ou } RCs_{y|x}) / \bar{x}_x$ em que \bar{x}_x é a média fenotípica do caráter x .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média do grupo SE foi de 7,43 $t ha^{-1}$, enquanto a do grupo CE foi 4,70 $t ha^{-1}$, correspondendo a uma redução de 2,73 $t ha^{-1}$, ou seja, quase 40%.

Todas as estimativas dos coeficientes de correlações genéticas (\hat{r}_G) foram significativas, exceto a \hat{r}_G entre SG e IF, no grupo CE. De forma geral, as demais \hat{r}_G apresentaram valores próximos nos dois grupos, variando de -0,82 a 0,98, com destaque para a \hat{r}_G entre FM e FF, que foi muito próxima a 1,0, nos dois grupos, e entre PG e FM, e PG e FF no grupo CE, que foram negativas e também altamente correlacionadas. As exceções foram para a \hat{r}_G entre PG e IF, que foi negativa no grupo SE e positiva e pouco correlacionada no grupo CE; e entre FM e IF que foi negativa em CE e positiva e pouco correlacionada em SE (Tabela 1).

Tabela 1 – Correlações genéticas (\hat{r}_G) entre os caracteres produção de grãos (PG), *stay green* (SG), florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF) e intervalo entre florescimentos (IF), nos grupos sem estresse (SE, acima da diagonal) e com estresse (CE, abaixo da diagonal).

| CE/SE | PG | SG | FM | FF | IF |
|-------|----|---------|---------|---------|---------|
| PG | - | -0,55** | -0,75** | -0,82** | -0,53** |

| | | | | | |
|----|---------|--------------------|---------|---------|--------|
| SG | -0,63** | - | 0,22** | 0,28** | 0,29** |
| FM | -0,81** | 0,18** | - | 0,97** | 0,16** |
| FF | -0,81** | 0,23** | 0,98** | - | 0,39** |
| IF | 0,31** | 0,11 ^{ns} | -0,51** | -0,31** | - |

^{ns} e ** não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste *t*, respectivamente.

As \hat{r}_G entre os dois grupos foram significativas e de alta magnitude para todos os caracteres, variando de 0,77 para IF a 1,00 para SG (**Tabela 2**).

Tabela 2 – Correlações genéticas (\hat{r}_G) entre os grupos sem e com estresse, para os caracteres produção de grãos (PG), *stay green* (SG), florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF) e intervalo entre florescimentos (IF).

| Caracteres | PG | SG | FM | FF | IF |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| \hat{r}_G | 0,91** | 1,00** | 0,85** | 0,96** | 0,77** |

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste *t*.

As respostas diretas à seleção (Rs) foram positivas para todos os caracteres, nos dois grupos. No grupo CE, a Rs para PG, FM e IF foi maior, em porcentagem, que no SE, o que sugere que, para esses caracteres, quando avaliados em programas de melhoramento sob condições de estresse hídrico, pode-se esperar altas respostas à seleção já nos primeiros ciclos, pois além da presença de variabilidade, existe uma baixa adaptação das populações às condições de estresse, apresentando frequentemente menor produção de grãos, menor precocidade e maior intervalo entre florescimentos, quando comparadas aos selecionados sem a presença de estresse, nas mesmas condições tecnológicas. Enquanto para SG e FF a resposta à seleção direta foi maior no grupo SE (**Tabelas 3 e 4**).

Tabela 3 – Resposta direta a seleção (Rs, na diagonal) e resposta correlacionada à seleção (RCs), selecionando o caráter da linha (X) para resposta no caráter da coluna (Y), na condição sem estresse.

| X\Y ^{/1} | PG | SG | FM | FF | IF |
|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| PG | 1,57 (21,15%) | -0,21 (-5,74%) | -1,68 (-2,45%) | -1,99 (-2,86%) | -0,31 (-33,96%) |
| SG | -0,77 (-10,36%) | 0,33 (9,26%) | 0,45 (0,66%) | 0,60 (0,87%) | 0,15 (16,11%) |
| FM | -1,22 (-16,42%) | 0,09 (2,44%) | 2,34 (3,42%) | 2,44 (3,51%) | 0,10 (10,67%) |
| FF | -1,35 (-18,14%) | 0,11 (3,04%) | 2,27 (3,32%) | 2,51 (3,61%) | 0,23 (25,79%) |

| | | | | | |
|----|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| IF | -0,67 (-8,97%) | 0,08 (2,36%) | 0,29 (0,42%) | 0,75 (1,07%) | 0,46 (50,46%) |
|----|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|

^{/1} PG: produção de grãos; SG: *stay green*, FM: florescimento masculino; FF: florescimento feminino; IF: intervalo entre florescimentos.

As respostas correlacionadas à seleção (RCs) para PG foram negativas para seleção em todos os caracteres, exceto no IF do grupo CE, que foi positiva. Em vista disso, a seleção para redução na nota de SG e maior precocidade, nos dois grupos de ambientes, acarretou um aumento da PG, que é o resultado desejado pelos melhoristas, sendo mais expressivo no grupo CE. Da mesma forma, no grupo SE, ao se fazer seleção para redução do IF pode haver um incremento na PG, pois esses caracteres são negativamente correlacionados. As RCs para PG com seleção para redução de FM e FF no grupo CE, foram superiores a essas mesmas RCs no grupo SE (**Tabelas 3 e 4**). Considerando a seleção para PG em um ambiente diferente daquele a ser cultivado, observou-se que a maior eficiência foi alcançada quando a seleção foi praticada no grupo CE para resposta no SE, ou seja 1,47 em relação à seleção direta que foi 1,57 (eficiência de 93,63%). Enquanto a RCs quando a seleção foi praticada no SE para resposta no CE foi de 1,18 em relação a 1,34 da seleção direta (eficiência de 88,05%) (**Tabelas 3, 4 e 5**).

Tabela 4 – Resposta direta a seleção (Rs, na diagonal) e resposta correlacionada à seleção (RCs), selecionando o caráter da linha (X) para resposta no caráter da coluna (Y), na condição com estresse.

| X\Y ^{/1} | PG | SG | FM | FF | IF |
|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| PG | 1,34 (28,47%) | -0,19 (-4,58%) | -2,03 (-3,06%) | -1,85 (-2,78%) | 0,18 (39,69%) |
| SG | -0,68 (-14,48%) | 0,25 (5,89%) | 0,37 (0,56%) | 0,42 (0,63%) | 0,05 (11,01%) |
| FM | -1,08 (-23,08%) | 0,06 (1,34%) | 2,53 (3,81%) | 2,24 (3,36%) | -0,29 (-64,56%) |
| FF | -1,07 (-22,70%) | 0,07 (1,63%) | 2,41 (3,64%) | 2,24 (3,36%) | -0,17 (-39,08%) |
| IF | 0,34 (7,30%) | 0,03 (0,64%) | -1,04 (-1,57%) | -0,59 (-0,88%) | 0,46 (103,36%) |

^{/1} PG: produção de grãos; SG: *stay green*, FM: florescimento masculino; FF: florescimento feminino; IF: intervalo entre florescimentos.

Tabela 5 – Resposta correlacionada à seleção em grupos de ambientes diferentes, para os caracteres produção de grãos (PG), *stay green* (SG), florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF) e intervalo entre florescimentos (IF).

| Grupos de resposta | PG | SG | FM | FF | IF |
|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Sem estresse (SE) | 1,47 (19,74%) | 0,32 (8,8%) | 1,97 (2,87%) | 2,33 (3,35%) | 0,37 (41,16%) |
| Com estresse (CE) | 1,18 (25,23%) | 0,27 (6,42%) | 2,16 (3,26%) | 2,21 (3,32%) | 0,33 (75,53%) |

Para SG, uma porcentagem negativa, resulta na redução da nota e, conseqüentemente, na maior expressão do caráter, ou seja, as plantas permanecem verdes por mais tempo. Foi o que ocorreu com a seleção indireta pelo caráter PG, em que o aumento deste acarretou uma diminuição da nota de SG. Possivelmente esse pode ser o motivo que explica o fato dos híbridos atuais apresentarem forte expressão do SG, mesmo sem ter sido feita seleção para o mesmo ao longo da história do melhoramento de milho. A PG foi o caráter que apresentou maior RCs para SG. A seleção para maior precocidade (menores FM e FF) também resultou em menores notas de SG, pois esses caracteres são positivamente correlacionados. As RCs para os caracteres FM, FF e IF apresentaram valores de baixa magnitude (**Tabelas 3 e 4**). Considerando a seleção em condições opostas à de cultivo, observou-se que a maior eficiência foi alcançada quando a seleção foi praticada no grupo SE para resposta no CE, ou seja, 0,27 em relação à seleção direta que foi 0,25 (eficiência de 108,00%). A RCs para a seleção praticada no CE com resposta no SE foi de 0,32 em relação à 0,33 da seleção direta (eficiência de 96,97%) (**Tabelas 3, 4 e 5**).

Para os caracteres FM e FF a eficiência da seleção direta foi muito semelhante, em ambos os grupos, bem como a seleção indireta dentro de um mesmo grupo, o que pode ser explicado pela alta correlação genética existente entre esses caracteres. A seleção indireta mais eficiente foi observada com o seu caráter par, ou seja, os melhores resultados para FM foram observados quando a seleção foi feita no caráter FF e vice-versa, em ambas as condições de estresse (**Tabelas 1, 3 e 4**). Por sua vez, a seleção desses caracteres em uma condição diferente da de cultivo não diferiu muito da seleção na própria condição. No grupo SE em relação à seleção direta, as eficiências foram de 84,19% para FM e 92,83% para FF; e no grupo CE em relação à seleção direta, as

eficiências foram de 85,38% para FM e 98,66% para FF. Esses resultados podem ser vantajosos num programa de melhoramento, pois caso ocorra uma variação ambiental indesejada, a seleção para esses caracteres não será muito afetada (**Tabela 5**).

Para IF, na maioria dos casos a seleção indireta no CE apresentou maiores valores que a seleção indireta SE. Sob estresse, selecionando-se plantas mais precoces e também plantas mais produtivas, houve um aumento médio do IF, na média das progênies, o que é uma desvantagem para o programa de melhoramento. Porém, como trata-se de um aumento médio, nada impede que haja uma planta produtiva e precoce com baixo IF. Já em SE, o aumento de PG provocou uma redução do IF e a seleção de genótipos com menores notas de SG também acarretou menores IF (**Tabelas 3 e 4**). Desse modo, a seleção visando a diminuir o IF deve ser avaliada com ressalvas em condições de estresse. Adicionalmente, a seleção em uma condição diferente para esse caráter, resultou em ganhos elevados, mas ainda menores que a seleção direta, já que a eficiência da seleção indireta quando foi praticada no grupo CE para resposta no SE, ou seja, 0,37 em relação à seleção direta que foi 0,46 (eficiência de 80,43%) foi maior que quando a seleção foi praticada no SE com resposta no CE, que foi de 0,33 em relação à 0,46 da seleção direta (eficiência de 71,74%) (**Tabelas 3, 4 e 5**).

Dado que os caracteres SG, FM, FF e IF são frequentemente reportados na literatura como relacionados à tolerância ao estresse hídrico em milho e sendo a tolerância difícil de ser avaliada, sugere-se que estes caracteres secundários sejam incluídos nos índices de seleção, podendo resultar em cultivares mais produtivas e estáveis, em condições climáticas adversas.

CONCLUSÕES

A seleção direta é mais eficiente que a seleção indireta entre caracteres, nos dois grupos de ambientes.

A PG é correlacionada negativamente com todos os demais caracteres, com exceção do IF no grupo CE.

O fato da PG e SG serem negativamente correlacionados pode explicar como os híbridos de milho modernos apresentam baixas notas de SG sem ter sido feita seleção para esse caráter.

A seleção para precocidade resulta em plantas com maior SG.

Entre grupos a seleção indireta só foi mais eficiente que a direta para o caráter SG com seleção no grupo SE e resposta no CE.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e dos funcionários de campo e laboratório do Departamento de Genética da ESALQ/USP.

REFERÊNCIAS

CÂMARA, T. M. M.; BENTO, D. A. V.; ALVES, G. F.; SANTOS, M. F.; MOREIRA, J. U. V.; SOUZA JUNIOR, C. L. Parâmetros genéticos de caracteres relacionados à tolerância à deficiência hídrica em milho tropical. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 595-603, 2007.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman, 1996. 464 p.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3 ed. New York: Springer, 2010. 663 p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 496 p.