

ASSOCIAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E CAPACIDADE DE EXPANSÃO EM POPULAÇÃO DE MILHO PIPOCA SOB SELEÇÃO RECORRENTE

Association between agronomical traits and popping expansion in a popcorn population under recurrent selection

Ramon Macedo Rangel¹, Antonio Teixeira do Amaral Júnior², Silvério de Paiva Freitas Júnior¹

RESUMO

Objetivou-se, neste trabalho, investigar a possibilidade de seleção mais eficiente por meio do uso de análise de trilha e de correlações parciais no programa de seleção recorrente da população UENF de milho pipoca. Duzentas famílias de irmãos completos foram obtidas e avaliadas quanto a oito características em dois ambientes no estado do Rio de Janeiro: Campos dos Goytacazes e Itaocara. A correlação genotípica entre capacidade de expansão e rendimento de grãos foi negativa e não significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. A análise de trilha demonstrou ser a massa de 100 grãos, a característica mais associada à capacidade de expansão neste estudo. Há possibilidade de obtenção de resposta correlacionada em capacidade de expansão e rendimento de grãos, desde que se selecionem, entre os genótipos de maior rendimento, aqueles com menores tamanhos de grãos.

Termos para indexação: Seleção recorrente, capacidade de expansão, correlação parcial.

ABSTRACT

The objective of this work was to investigate the possibility of a more efficient selection through path analysis and partial correlation in the breeding program of the UENF popcorn population by recurrent selection. Two hundred full-sib progenies were obtained and evaluated by eight traits in two environments in Rio de Janeiro State: Campos dos Goytacazes and Itaocara. The genotypic correlation between popping expansion and grain yield was negative and non significant at the 5% probability level by t test. Path analysis showed that mass weight of 100 grains is the most associated trait at popping expansion in this study. It is possible to obtain correlated response for popping expansion by grain yield, as long as genotypes with smaller grain size are selected from the genotypes with higher grain yield.

Index terms: Recurrent selection, popping expansion, partial correlation.

(Recebido em 3 de agosto de 2009 e aprovado em 10 de agosto de 2010)

INTRODUÇÃO

O cultivo do milho pipoca tem exercido influência positiva em setores da economia nacional. Considerada uma cultura de elevada rentabilidade (Brugnera et al., 2003), seu produto final possui grande aceitação popular e em muito movimentou a economia informal (Freitas Júnior et al., 2009a).

A seleção recorrente é estratégia importantíssima para a recomendação de variedades melhoradas com os consequentes aumentos das frequências de alelos favoráveis (Hallauer & Miranda Filho, 1988). Todavia, em milho pipoca, a correlação negativa entre as duas principais características, capacidade de expansão e rendimento dos grãos, dificulta a seleção conjunta de genótipos superiores para atender aos interesses dos consumidores de pipoca e dos produtores de grãos

(Brunson, 1937; Doffing et al., 1991; Carpentieri-Pípolo, 2002; Daros et al., 2004; Freitas Júnior et al., 2009b; Munhoz et al., 2009).

Por conseguinte, o estudo de correlações entre as características de interesse agrônomo e capacidade de expansão em milho pipoca é de grande importância por fornecer informações que venham auxiliar o melhorista no processo de seleção (Coimbra et al., 2001; Daros et al., 2004), isso porque a eficiência da seleção de uma característica pode ser aumentada com a utilização de características agrônomicas correlacionadas (Falconer, 1987; Paterniani & Campos, 1999).

Vilarinho et al. (2003) avaliando características de interesse econômico em progênies de milho pipoca ressaltaram que a prática de seleção em uma característica pode alterar a média de todas as outras com as quais é correlacionada geneticamente, causando efeito indireto de seleção em tais

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF – Campos dos Goytacazes, RJ

²Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF – Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal/LMGV – Avenida Alberto Lamego – 2000 – Parque Califórnia – 28013-602 – Campos dos Goytacazes, RJ – amaraljr@uenf.br

características. Isso assume importância relevante, uma vez que o melhorista está interessado na melhoria de um conjunto de características; em relação ao milho pipoca, ganhos genéticos para o rendimento de grãos e seus componentes são de interesse para os produtores, enquanto a capacidade de expansão interessa aos consumidores.

Importa, pois, averiguar o grau de associação entre características de interesse econômico e capacidade de expansão em milho pipoca, por meio de estimativas de correlações.

Dentre as opções de análises de associações entre características, o estudo das correlações simples requer atenção, uma vez que os coeficientes obtidos podem produzir grandes equívocos a respeito da relação que há entre duas características, podendo não ser uma medida real de causa e efeito. Desse modo, a magnitude do coeficiente de correlação pode ser o resultado do efeito que, sobre essas duas características, exerce uma terceira ou um grupo de características (Agrama, 1996; Arias et al., 1999; Ahmad & Saleem, 2003).

Essa distorção é corrigida com o uso do coeficiente de correlação parcial, que é uma medida mais informativa sobre a relação entre características, já que é estimada removendo-se os efeitos de outras características sobre a associação estudada (Cruz et al., 2004).

Os coeficientes de correlação simples também não fornecem a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos das associações entre características. Assim, o desdobramento dos coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos sobre uma variável básica é dado pela análise de trilha (Gautam et al., 1996; Arias et al., 1999; Scapim et al., 2010). A análise de trilha possibilita quantificar os efeitos diretos e indiretos das características sobre uma característica principal, permitindo ao melhorista adotar a melhor decisão quanto à seleção indireta para obtenção de maiores ganhos em relação à característica de maior interesse para o melhoramento (Cruz et al., 2004).

Arnhold et al. (2006), investigando a associação entre características de progênies S_4 da população de milho pipoca Beija-Flor por meio de análise de trilha, concluiu que a correlação negativa entre capacidade de expansão e rendimento de grãos, pode expressar valor positivo em progênies de uma mesma população quando se procede a seleções prévias.

Objetivou-se, neste trabalho, investigar o grau de associação entre características agronômicas e capacidade de expansão em progênies de irmãos-completos de milho pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente, por meio de correlações simples, parciais e análise de trilha.

MATERIAL E MÉTODOS

Duzentas famílias de irmãos completos foram obtidas e avaliadas no quinto ciclo de seleção recorrente da população UENF de milho pipoca, em dois ambientes no estado do Rio de Janeiro: Campos dos Goytacazes e Itaocara.

O delineamento utilizado foi blocos casualizados com repetições dentro de 'sets', empregando-se duas repetições. Cada 'set' conteve 25 famílias e três testemunhas, totalizando 28 tratamentos. As parcelas experimentais foram constituídas por fileiras simples de 5,00 m de comprimento, com espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,20 m entre plantas.

De acordo com a análise de solo, a adubação de plantio foi realizada aplicando-se 800 kg ha⁻¹ de adubo N-P-K na formulação 04-14-08. A primeira adubação de cobertura foi realizada 30 dias após plantio, por ocasião da amontoa, aplicando-se 300 kg ha⁻¹ da formulação 20-00-20. A segunda adubação foi realizada aos 45 dias após plantio na dosagem de 260 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (Sawazaki, 2001).

As características avaliadas foram: número de dias para o florescimento (FLOR): período entre o plantio e a liberação dos estilo-estigmas de, pelo menos, 50% das plantas da fileira, sendo anotado de dois em dois dias; altura de planta (AP): expressa em cm, sendo a média da parcela, considerando a distância do nível do solo à inserção da folha-bandeira em seis plantas competitivas; número de espigas mal empalhadas (EMP): dado pela contagem das espigas que não apresentavam a ponta da espiga coberta por palha; número de espigas (NE): dado pelo número de espigas colhidas em cada parcela; peso de espigas (PE): obtido por pesagem das espigas despalhadas, em cada parcela, após colheita e expressa em kg ha⁻¹; rendimento de grãos (RG): obtido por pesagem dos grãos em cada parcela, após debulha, e expresso em kg ha⁻¹; massa de 100 grãos (M100): expressa em gramas, compreendendo a massa de 100 grãos escolhidos de forma aleatória em superfície lisa; e capacidade de expansão (CE): expressa pela relação mL g⁻¹, ou seja, volume de pipoca estourada em relação à massa de grãos submetida ao pipocamento. A massa de grãos submetida ao pipocamento compreendia 30 g, e o volume resultante da expansão foi mensurado em proveta de 2.000 mL.

Para a quantificação da capacidade de expansão foi utilizado um aparelho de microondas da marca Panasonic modelo NN-S65B, sob potência máxima de 1.000 watts durante 3 minutos, com duas repetições para cada parcela. Os grãos foram colocados dentro de potes apropriados para estourar pipoca (*Corn Popper*, da *Nordic Ware*), sem óleo.

As seguintes expressões foram utilizadas para o cálculo dos coeficientes de correlação fenotípica (r_F), genotípica (r_G) e de ambiente (r_A), entre os pares de características (Cruz et al., 2004).

$$r_F = \frac{COV_{F(X,Y)}}{\sqrt{(\sigma_{FX}^2 \sigma_{FY}^2)}}; r_G = \frac{COV_{G(X,Y)}}{\sqrt{(\sigma_{GX}^2 \sigma_{GY}^2)}} \text{ e } r_A = \frac{COV_{A(X,Y)}}{\sqrt{(\sigma_{AX}^2 \sigma_{AY}^2)}},$$

em que:

$COV_{F(X,Y)}$, $COV_{G(X,Y)}$ e $COV_{A(X,Y)}$ = respectivamente, covariâncias fenotípicas, genotípicas e de ambiente entre as características X e Y;

σ_{FX}^2 , σ_{GX}^2 e σ_{AX}^2 = respectivamente, variância fenotípica, genotípica e de ambiente da característica X; e σ_{FY}^2 , σ_{GY}^2 e σ_{AY}^2 = respectivamente, variância fenotípica, genotípica e de ambiente da característica Y.

A significância dos coeficientes de correlação fenotípica, genotípica e de ambiente foi avaliada pelo teste t, em 5% e 1% de probabilidade (Steel & Torrie, 1980).

Para a obtenção das covariâncias foram utilizados os recursos computacionais do programa Genes (Cruz, 2006).

O coeficiente de correlação parcial pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$r_{xy.z} = \frac{r_{xy} - r_{xz}r_{yz}}{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}$$

em que:

r = correlação genotípica (r_G) entre pares de características.

O desdobramento dos coeficientes de correlação simples em efeitos diretos e indiretos, dados pela análise de trilha foram realizados utilizando-se os recursos computacionais do programa Genes (Cruz, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise de variância revelou que, para a fonte de variação, famílias dentro de 'set', com exceção de NP e EP que expressaram significância ao nível de 5%, todas as demais características revelaram significância ao nível de 1% de probabilidade, denotando haver suficiente variabilidade genética a ser explorada em ciclos futuros de seleção.

Dentre os 28 pares de combinações das características avaliadas, nove expressaram correlações genotípicas significativas e superiores às fenotípicas e de ambiente, o que indica que a associação linear entre esses

pares é mais influenciada pelos componentes genotípicos do que pelos ambientais (Tabela 1).

Hallauer & Miranda Filho (1988) e Cruz et al. (2004) ressaltam a importância de se distinguir e quantificar o grau de associação genética e ambiental entre as características avaliadas, uma vez que as causas genéticas de correlação possuem natureza herdável e podem auxiliar a orientação de programas de melhoramento.

As estimativas das correlações fenotípica (r_F), genotípica (r_G) e de ambiente (r_A) entre a capacidade de expansão e rendimento de grãos foram, respectivamente, -0,0225^{ns}, -0,0666^{ns} e 0,1393*. Apenas r_A foi significativo pelo teste "t" ao nível de 5% de probabilidade.

Por essas magnitudes quando comparadas às obtidas por Freitas Júnior (2008) na condução do quarto ciclo de seleção recorrente na população UENF de milho pipoca, denota-se que houve tendência de alteração de correlação, em razão dos valores expressos para a correlação genotípica serem, respectivamente, para o quarto e quinto ciclos, -0,0650^{ns} e -0,0666^{ns}. Entretanto, essa consideração deve ser entendida tão somente como um indício, uma vez que as magnitudes das correlações, por não serem significativas, devem ser estatisticamente consideradas iguais a zero.

Um coeficiente de correlação igual a zero não implica falta de relação entre duas variáveis, mas apenas reflete a ausência de relação linear entre essas variáveis (Cruz et al., 2004).

Lima et al. (1971), Dofing et al. (1991), Coimbra et al. (2001) e Carpentieri-Pípulo et al. (2002) detectaram correlação entre a CE e RG com magnitudes respectivas de -0,2500, -0,3400, -0,3064 e -0,2650. Observando-se o valor de correlação obtido para a população UENF no quinto ciclo de seleção recorrente (-0,0666), corrobora-se a dificuldade de ganhos por seleção em ambas as características.

Com exceção de EMP, AP e M100, as demais características avaliadas expressaram correlação genotípica não significativa para com a capacidade de expansão (Tabela 1).

A significância da correlação genotípica entre EMP e CE (-0,2043**), conforme Hosenev et al. (1983), evidencia que grãos expostos às intempéries antes da colheita têm o pericarpo danificado e, como consequência, diminuição da capacidade de expansão, pois segundo esses autores, qualquer dano ao pericarpo provoca acentuada queda na CE dos genótipos avaliados.

Quanto à correlação significativa entre M100 e CE (-0,2184**) (Tabela 1), Freitas Júnior (2008), avaliando o quarto ciclo de seleção recorrente com essa mesma população, obteve correlação genotípica igual a -0,5014**.

Como a média para M100 obtida pelo referido autor foi de 12,02 g e, no presente ciclo, de 12,95 g, pode-se inferir com base na redução do coeficiente de correlação genotípico, que o incremento na massa de 100 grãos, provavelmente não está sendo fator preponderante na redução da CE na população UENF de milho pipoca. Contudo, a análise de trilha e correlação parcial poderão prover resultados mais esclarecedores sobre essa relação. Não obstante, verifica-se que o tamanho do grão na população está em conformidade com as exigências do mercado, ou seja, grãos maiores que produzem “flor de pipoca” maior e mais macia.

A correlação negativa e significativa entre AP e CE merece ser destacada. Neste aspecto, plantas de porte maior tendem a estarem mais sujeitas ao quebraamento de colmo,

sobretudo em regiões com incidência de ventos fortes e, na avaliação de rendimento, as espigas das plantas quebradas foram colhidas e beneficiadas, originando a amostra que deu origem à CE. Desse modo, pode-se argumentar que a redução na CE de uma dada família, tende a ser mais influenciada por danos nos grãos, como por exemplo, em decorrência do mal empalhamento, do que pelo quebraamento das plantas propriamente dito, muitas vezes associados ao elevado porte das plantas.

Apenas sete combinações entre as características expressaram correlações genotípicas significativas e menores que as de ambiente (Tabela 1), denotando maior influência ambiental na determinação da associação linear entre tais características. O ambiente torna-se causa de correlações quando duas características são influenciadas

Tabela 1 – Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (r_F), genotípica (r_G) e de ambiente (r_A) entre oito características agrônômicas avaliadas em 200 famílias de irmãos-completos. Campos dos Goytacazes e Itaocara, RJ.

| Característica ⁽¹⁾ | r | EMP | AP | PE | NE | RG | M100 | CE |
|-------------------------------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| FLOR | r_F | -0,0577 ^{ns} | 0,477 ^{**} | -0,1857 ^{**} | -0,1563 [*] | -0,2459 ^{**} | -0,0699 ^{ns} | -0,0980 ^{ns} |
| | r_G | -0,1021 ^{ns} | 0,7621 ^{**} | -0,0285 ^{ns} | -0,1144 ^{ns} | -0,1148 ^{ns} | 0,0081 ^{ns} | -0,0906 ^{ns} |
| | r_A | 0,0317 ^{ns} | -0,2823 ^{**} | -0,5052 ^{**} | -0,2556 ^{**} | -0,5092 ^{**} | -0,3419 ^{**} | -0,1148 ^{ns} |
| EMP | r_F | | 0,0429 ^{ns} | 0,1340 ^{ns} | 0,1522 [*] | 0,1143 ^{ns} | 0,0090 ^{ns} | -0,1182 ^{ns} |
| | r_G | | 0,0241 ^{ns} | 0,1821 ^{**} | 0,2090 ^{**} | 0,1625 [*] | 0,0046 ^{ns} | -0,2043 ^{**} |
| | r_A | | 0,0871 ^{ns} | 0,0508 ^{ns} | 0,0388 ^{ns} | 0,0323 ^{ns} | 0,0228 ^{ns} | -0,0065 ^{ns} |
| AP | r_F | | | 0,2889 ^{**} | 0,0842 ^{ns} | 0,2573 ^{**} | 0,1917 ^{**} | -0,0878 ^{ns} |
| | r_G | | | 0,2610 ^{**} | 0,0439 ^{ns} | 0,2334 ^{**} | 0,1926 ^{**} | -0,1669 [*] |
| | r_A | | | 0,3603 ^{**} | 0,1922 ^{**} | 0,3189 ^{**} | 0,1930 ^{**} | 0,0426 ^{ns} |
| PE | r_F | | | | 0,5679 ^{**} | 0,9517 ^{**} | 0,3833 ^{**} | 0,0136 ^{ns} |
| | r_G | | | | 0,5292 ^{**} | 0,9644 ^{**} | 0,3858 ^{**} | -0,0957 ^{ns} |
| | r_A | | | | 0,6510 ^{**} | 0,9301 ^{**} | 0,4167 ^{**} | 0,1588 [*] |
| NE | r_F | | | | | 0,5025 ^{**} | -0,1291 ^{ns} | 0,0749 ^{ns} |
| | r_G | | | | | 0,4892 ^{**} | -0,1780 [*] | 0,0816 ^{ns} |
| | r_A | | | | | 0,5339 ^{**} | 0,0320 ^{ns} | 0,0685 ^{ns} |
| RG | r_F | | | | | | 0,3870 ^{**} | -0,0225 ^{ns} |
| | r_G | | | | | | 0,3946 ^{**} | -0,0666 ^{ns} |
| | r_A | | | | | | 0,4081 ^{**} | 0,1393 [*] |
| M100 | r_F | | | | | | | -0,1187 ^{ns} |
| | r_G | | | | | | | -0,2184 ^{**} |
| | r_A | | | | | | | 0,0796 ^{ns} |

⁽¹⁾FLOR = número de dias para o florescimento; EMP = número de espigas mal empalhadas; AP = altura de planta em cm; PE = peso de espigas em kg ha⁻¹; NE = número de espigas; RG = rendimento de grãos em kg ha⁻¹; M100 = massa de 100 grãos em gramas; e CE = capacidade de expansão em mL g⁻¹; ** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * = Significativo ao nível de 5% de probabilidade; e ^{ns} = Não significativo.

pelas mesmas variações de condições ambientais, em que valores negativos dessa correlação, indicam que o ambiente favoreceu uma característica em detrimento da outra, e valores positivos, como ocorre entre NE e PE, indicam que ambas foram beneficiadas ou prejudicadas pelas mesmas causas de variações ambientais (Falconer, 1987).

Embora nove combinações entre características tenham expressado correlações genotípicas significativas e superiores às fenotípicas e de ambiente, ao todo, 16 combinações expressaram correlações genotípicas significativas, ao nível de 1% ou 5%, sendo que 12 foram positivas. Correlações genotípicas positivas indicam que a seleção objetivando ganho em uma característica provocará o mesmo efeito na outra.

Considerando-se como exemplo as maiores magnitudes de correlações genotípicas expressas, pode-se inferir que maiores ganhos via seleção indireta são possíveis entre rendimento de grãos e peso de espigas ($r_G = 0,9644^{**}$). Esse resultado é semelhante ao obtido por Coimbra et al. (2001).

No que se refere aos efeitos diretos e indiretos obtidos por meio de análise de trilha (Tabela 2), em virtude das baixas magnitudes de correlação entre os componentes primários (PE, NE e RG) e a variável principal (CE), respectivamente, -0,0957, 0,0816 e -0,0666, pode se inferir

que a seleção indireta não será eficiente em promover ganhos genéticos pela resposta correlacionada, mesmo que o maior efeito direto sobre a CE tenha sido por meio de RG, com valor de 0,4269.

Embora a correlação entre NE e CE tenha sido em sentido favorável e o efeito direto também, não é conveniente concluir a respeito de causa e efeito, visto que as estimativas são de baixa magnitude. Desse modo, NE não é o principal determinante das alterações em CE e, nesse caso, certamente outra característica poderá proporcionar maior impacto em ganhos por seleção indireta. Contudo, por meio da Tabela 2 constata-se que dentre os componentes primários estabelecidos não se identifica sequer um que maximizaria as respostas correlacionadas. A elevada estimativa do efeito residual evidencia que os componentes primários não são os principais determinantes das variações na capacidade de expansão.

A Tabela 3 contém as estimativas dos efeitos diretos e indiretos de quatro componentes secundários sobre três componentes primários, obtidos por análise de trilha. As características adotadas como componentes secundários foram: FLOR, EMP, AP e M100. Conforme relatam Cruz et al. (2004), os componentes secundários geralmente são características menos complexas, possuem maiores herdabilidades e, em alguns casos, são mais fáceis de serem mensurados.

Tabela 2 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos componentes primários sobre a capacidade de expansão, obtidos por análise de trilha (um diagrama causal) em milho pipoca. Campos dos Goytacazes e Itaocara, RJ.

| Característica ⁽¹⁾ | Descrição dos Efeitos | Estimativa |
|-------------------------------|------------------------|------------|
| PE | Efeito Direto sobre CE | -0,6113 |
| | Efeito Indireto via NE | 0,1039 |
| | Efeito Indireto via RG | 0,4117 |
| | Total | -0,0957 |
| NE | Efeito Direto sobre CE | 0,1963 |
| | Efeito Indireto via PE | -0,3235 |
| | Efeito Indireto via RG | 0,2088 |
| | Total | 0,0816 |
| RG | Efeito Direto sobre CE | 0,4269 |
| | Efeito Indireto via PE | -0,5895 |
| | Efeito Indireto via NE | 0,0960 |
| | Total | -0,0666 |
| R ² | | 0,0461 |
| Efeito residual | | 0,9767 |

⁽¹⁾PE = peso de espigas em kg ha⁻¹; NE = número de espigas; RG = rendimento de grãos em kg ha⁻¹; e CE = capacidade de expansão em mL g⁻¹.

Tabela 3 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos de quatro componentes secundários sobre três componentes primários, obtidos por análise de trilha em milho pipoca. Campos dos Goytacazes e Itaocara, RJ.

| Componentes secundários ⁽¹⁾ | Descrição dos Efeitos | Componentes Primários ⁽¹⁾ | | |
|--|--------------------------|--------------------------------------|---------|---------|
| | | PE | NE | RG |
| FLOR | Efeito direto | -0,4104 | -0,3890 | -0,5807 |
| | Efeito indireto via EMP | -0,0129 | -0,0165 | -0,0089 |
| | Efeito indireto via AP | 0,3925 | 0,2930 | 0,4725 |
| | Efeito indireto via M100 | 0,0023 | -0,0020 | 0,0023 |
| | Total | -0,0285 | -0,1144 | -0,1148 |
| EMP | Efeito direto | 0,1265 | 0,1612 | 0,0870 |
| | Efeito indireto via FLOR | 0,0419 | 0,0397 | 0,0593 |
| | Efeito indireto via AP | 0,0124 | 0,0093 | 0,0149 |
| | Efeito indireto via M100 | 0,0013 | -0,0011 | 0,0013 |
| | Total | 0,1821 | 0,2090 | 0,1625 |
| AP | Efeito direto | 0,5150 | 0,3845 | 0,6200 |
| | Efeito indireto via FLOR | -0,3128 | -0,2964 | -0,4426 |
| | Efeito indireto via EMP | 0,0030 | 0,0039 | 0,0021 |
| | Efeito indireto via M100 | 0,0557 | -0,0481 | 0,0538 |
| | Total | 0,2610 | 0,0439 | 0,2334 |
| M100 | Efeito direto | 0,2894 | -0,2496 | 0,2795 |
| | Efeito indireto via FLOR | -0,0033 | -0,0032 | -0,0047 |
| | Efeito indireto via EMP | 0,0006 | 0,0007 | 0,0004 |
| | Efeito indireto via AP | 0,0992 | 0,0741 | 0,1194 |
| | Total | 0,3858 | -0,1780 | 0,3946 |
| R ² | | 0,2808 | 0,1395 | 0,3358 |
| Efeito Residual | | 0,8481 | 0,9276 | 0,8150 |

⁽¹⁾FLOR = número de dias para o florescimento; EMP = número de espigas mal empalhadas; AP = altura de planta em cm; PE = peso de espigas em kg ha⁻¹; NE = número de espigas; RG = rendimento de grãos em kg ha⁻¹; e M100 = massa de 100 grãos em gramas.

Verifica-se na Tabela 3 que, de maneira geral, os efeitos diretos dos componentes secundários sobre os primários tiveram o mesmo sinal das correlações (efeito total), porém, não foram comparativamente elevados, vez que, em todos os casos, não superaram a estimativa do respectivo efeito residual.

Esses resultados evidenciam que os componentes secundários não são os principais determinantes das variações nos componentes primários, e que a seleção indireta não será eficaz, o que é corroborado pelos baixos coeficientes de determinação do modelo da análise de trilha (R²).

Estão contidas na Tabela 4, as estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos componentes secundários sobre a capacidade de expansão, obtidas por análise de

trilha. Dentre os componentes secundários, M100 é o principal determinante das alterações na capacidade de expansão.

A correlação entre M100 e CE com magnitude de -0,2184 e efeito direto total de M100 sobre CE de -0,1988 indicam relação de causa e efeito. Observa-se ainda que o maior efeito ocorreu por meio do componente primário PE, ratificando os resultados apresentados na Tabela 2, em que dentre os efeitos primários, o de maior efeito sobre a capacidade de expansão é o peso de espigas.

Ainda pela Tabela 4, constata-se que a magnitude do efeito direto de M100 sobre CE (-0,1988) foi elevada comparativamente ao efeito direto de EMP sobre CE

(-0,2049), pois superou a estimativa do efeito residual em 2,15 vezes, ratificando que M100 é a característica mais associada a CE, o que permite concluir que a seleção para genótipos de grãos menores conduzirão a ganhos indiretos em CE.

As baixas magnitudes de efeitos diretos e indiretos dos diferentes componentes secundários, primários e variável principal advindas da análise de trilha, confirmam a importância da seleção simultânea obtida com os índices de seleção.

As estimativas dos coeficientes de correlação parcial entre capacidade de expansão e rendimento de grãos, após removidos os efeitos de massa de 100 grãos, número de espigas mal empalhadas e ambos, estão contidas na Tabela 5.

Os resultados da análise de trilha (Tabela 4) permitiram concluir que M100 é a característica mais

associada a CE. Como as características de maior preocupação nos programas de melhoramento de milho pipoca são a capacidade de expansão e rendimento de grãos, as estimativas de correlação parcial permitem inferir que a seleção indireta seria eficaz removendo-se o efeito do componente secundário M100.

O coeficiente de correlação parcial entre CE e RG removendo-se o efeito de M100 foi de 0,0219. Embora de baixa magnitude, houve mudança na direção do sinal em relação à correlação genotípica de valor -0,0666 (Tabela 1), ratificando a importância do referido componente secundário.

Assim, constata-se que há possibilidade de se obter resposta correlacionada na CE via RG, desde que se selecione entre os genótipos de maior rendimento, aqueles com menores tamanhos de grãos.

Tabela 4 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos componentes secundários sobre a capacidade de expansão, obtidos por análise de trilha em milho pipoca. Campos dos Goytacazes e Itaocara, RJ.

| Comp. Secund. ⁽¹⁾ | Descrição dos Efeitos | Componentes Primários ⁽¹⁾ | | | Efeito Residual | Total |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------|---------|-----------------|---------|
| | | PE | NE | RG | | |
| FLOR | Efeito direto | 0,2509 | -0,0763 | -0,2479 | 0,0360 | -0,0374 |
| | Efeito indireto via EMP | 0,0079 | -0,0032 | -0,0038 | 0,0200 | 0,0209 |
| | Efeito indireto via AP | -0,2399 | 0,0575 | 0,2017 | -0,0919 | -0,0726 |
| | Efeito indireto via M100 | -0,0014 | -0,0004 | 0,0010 | -0,0007 | -0,0016 |
| | Total | 0,0174 | -0,0225 | -0,0490 | -0,0366 | -0,0906 |
| EMP | Efeito direto | -0,0773 | 0,0316 | 0,0371 | -0,1964 | -0,2049 |
| | Efeito indireto via FLOR | -0,0256 | 0,0078 | 0,0253 | -0,0037 | 0,0038 |
| | Efeito indireto via AP | -0,0076 | 0,0018 | 0,0064 | -0,0029 | -0,0023 |
| | Efeito indireto via M100 | -0,0008 | -0,0002 | 0,0005 | -0,0004 | -0,0009 |
| | Total | -0,1113 | 0,0410 | 0,0694 | -0,2034 | -0,2043 |
| AP | Efeito direto | -0,3148 | 0,0755 | 0,2647 | -0,1206 | -0,0952 |
| | Efeito indireto via FLOR | 0,1912 | -0,0582 | -0,1889 | 0,0274 | -0,0285 |
| | Efeito indireto via EMP | -0,0019 | 0,0008 | 0,0009 | -0,0047 | -0,0049 |
| | Efeito indireto via M100 | -0,0341 | -0,0094 | 0,0230 | -0,0178 | -0,0383 |
| | Total | -0,1595 | 0,0086 | 0,0996 | -0,1156 | -0,1669 |
| M100 | Efeito direto | -0,1769 | -0,0490 | 0,1193 | -0,0923 | -0,1988 |
| | Efeito indireto via FLOR | 0,0020 | -0,0006 | -0,0020 | 0,0003 | -0,0003 |
| | Efeito indireto via EMP | -0,0004 | 0,0001 | 0,0002 | -0,0009 | -0,0009 |
| | Efeito indireto via AP | -0,0606 | 0,0145 | 0,0510 | -0,0232 | -0,0183 |
| | Total | -0,2358 | -0,0349 | 0,1685 | -0,1161 | -0,2184 |

⁽¹⁾FLOR = número de dias para o florescimento; EMP = número de espigas mal empalhadas; AP = altura de planta em cm; PE = peso de espigas em kg ha⁻¹; NE = número de espigas; RG = rendimento de grãos em kg ha⁻¹; e M100 = massa de 100 grãos em gramas.

Tabela 5 – Estimativas dos coeficientes de correlação parcial entre capacidade de expansão e rendimento de grãos. Campos dos Goytacazes e Itaocara, RJ.

| Característica ⁽¹⁾ de Efeito Removido | Estimativa de $r_{CE \times RG}$ |
|--|----------------------------------|
| M100 | 0,0219 |
| EMP | -0,3460 |
| M100 e EMP | -0,0651 |

⁽¹⁾EMP = número de espigas mal empalhadas; RG = rendimento de grãos em kg ha⁻¹; M100 = massa de 100 grãos em gramas; e CE = capacidade de expansão em mL g⁻¹.

CONCLUSÕES

Houve ausência de relação linear entre rendimento de grãos e capacidade de expansão.

A análise de trilha demonstrou ser a massa de 100 grãos, a característica mais associada à capacidade de expansão neste estudo.

Há possibilidade de obtenção de resposta correlacionada em CE via RG, desde que se selecione entre os genótipos de maior rendimento aqueles com menores tamanhos de grãos.

AGRADECIMENTOS

À UENF e FAPERJ, pelo apoio financeiro na implementação dos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAMA, H.A.S. Sequential path analysis of grain yield and its components in maize. **Plant Breeding**, v.115, p.343-346, 1996.

AHMAD, A.; SALEEM, M. Path coefficient analysis in *Zea mays* L. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.5, n.3, p.245-248, 2003.

ARIAS, C.A.A.; SOUZA JÚNIOR, C.L.; TAKEDA, C. Path coefficient analyses of ear weight in different types of progeny in maize. **Maydica**, v.44, p.251-262, 1999.

ARNHOLD, E.; MORA, F.; DEITOS, A. Genetic correlations in S₄ families of popcorn (*Zea mays*). **Ciência e Investigación Agraria**, v.33, n.2, p.105-110, 2006.

BRUGNERA, A.; PINHO, R.G. von; PACHECO, C.A.P.; ALVAREZ, C.G. D. Resposta de cultivares de milho pipoca a doses de adubação de semeadura. **Revista Ceres**, Viçosa, v.50, n.290, p.417-429, 2003.

BRUNSON, A.M. **Popcorn breeding**. Washington: Yearbook Agricultural, 1937. v.1, 404p.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; TAKAHASHI, H.W.; ENDO, R.M.; PETEK, M.R.; SEIFERT, A.L. Correlações entre caracteres quantitativos em milho pipoca. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.4, p.551-554, 2002.

COIMBRA, R.C.; MIRANDA, G.V.; VIANA, J.M.S.; CRUZ, C.D. Correlações entre características na população de milho pipoca DFT1-Ribeirão. **Revista Ceres**, Viçosa, v.48, n.278, p.427-435, 2001.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: biometria**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 648p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. v.1, 480p.

DAROS, M.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; PEREIRA, M.G.; SANTOS, F.S.S.; SCAPIM, C.A.; FREITAS JÚNIOR, S.P.; DAHER, R.F.; ÁVILA, M.R. Correlações entre caracteres agronômicos em dois ciclos de seleção recorrente em milho-pipoca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.1389-1394, 2004.

DOFING, S.M.; D'CROZ-MASON, N.; THOMAS-COMPTON, M.A. Inheritance of expansion volume and yield in two popcorn x dent corn crosses. **Crop Science**, v.31, p.715-718, 1991.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 1987. 279p.

FREITAS JÚNIOR, S.P. **Seleção recorrente entre famílias de irmãos completos em geração avançada da população UNB-2U de milho pipoca**. 2008. 96p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas)- Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2008.

- FREITAS JÚNIOR, S. DE P.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; RANGEL, R.M.; VIANA, A.P. Genetic gains in popcorn by full-sib recurrent selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, p. 1-7, 2009.
- FREITAS JÚNIOR, S.P.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; RANGEL, R.M.; VIANA, A.P. Predição de ganhos genéticos na população de milho pipoca UNB-2U sob seleção recorrente utilizando-se diferentes índices de seleção. **Semina**, v.30, p.803-814, 2009.
- GAUTAM, A.S.; MITTAL, A.S.; BHANDARI, J.C. Correlations and path coefficient analysis in popcorn (*Zea mays* Everta.). **Annals Biology Ludhiana**, v.15, p.193-196, 1996.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University, 1988. 468p.
- HOSENEY, R.C.; ZELEZNAK, K.; ADELRAHMAN, A. Mechanism of popcorn popping. **Journal Cereal Science**, London, v.1, p.43-52, 1983.
- LIMA, M.; ZINSLY, J.R.; VENCOVSKY, R.; MELO, M.R. Resultados parciais de um programa de melhoramento de milho (*Zea mays* L.) visando ao aumento da produtividade, caracteres agronômicos e capacidade de expansão. In: _____. **Relatório científico do departamento e instituto de genética**. Piracicaba: ESALQ, 1971. v.5, p.84-93.
- PATERNIANI, E.; CAMPOS, M.S. Melhoramento de milho. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p.429-485.
- SAWAZAKI, E. A cultura do milho pipoca no Brasil. **O Agrônomo**, Campinas, v.53, p.2, p.11-13, 2001.
- SCAPIM, C.A.; PACHECO, C.A.P.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; VIEIRA, R.A.; PINTO, R.J.B.; CONRADO, T.V. Correlations between the stability and adaptability statistics of popcorn cultivars. **Euphytica**, Wageningen, v.174, p.209-218, 2010.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw-Hill Book, 1980. 633p.
- VILARINHO, A.A.; VIANA, J.M.S.; SANTOS, J.F.; CÂMARA, T.M.M. Eficiência da seleção de progênies S_1 e S_2 de milho pipoca, visando à produção de linhagens. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.9-17, 2003.