

ESTIMATIVAS DE CORRELAÇÕES E COEFICIENTES DE TRILHA COMO CRITÉRIOS DE SELEÇÃO PARA RENDIMENTO DE GRÃOS EM AVEIA

CORRELATION ESTIMATES AND PATH ANALYSIS AS SELECTION CRITERIA FOR GRAIN YIELD IN OAT

BENIN, Giovani¹; CARVALHO, Fernando I.F. de²; OLIVEIRA, Antônio C. de²; MARCHIARO, Volmir S.³; LORENCETTI, Claudir³; KUREK, Andreomar J.⁴; SILVA, José A.G.³; CARGNIN, Adelião⁵; SIMIONI, Daniel⁵

RESUMO

A associação entre caracteres de importância agrônoma tem se revelado critério de fundamental importância na seleção de genótipos de aveia (*Avena sativa* L.). Além disso, o desdobramento de correlações simples em efeitos diretos e indiretos possibilita identificar os caracteres mais efetivos a serem considerados na seleção. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de comparar estimativas de correlação fenotípica, genética e de ambiente e efeitos diretos e indiretos de coeficientes de trilha na identificação de plantas de aveia de elevada produtividade de grãos. Cinquenta linhas F_3 de quatro diferentes cruzamentos foram testadas individualmente em delineamento completamente casualizado com seis repetições. Para todas as populações, correlações genéticas significativas e pronunciados efeitos diretos e indiretos detectaram que os caracteres peso de panícula, número de panículas por planta e peso médio de grãos podem ser utilizados na identificação de plantas de elevada produção de grãos, demonstrando serem fundamentais para a otimização do ganho genético.

Palavras-chave: *Avena sativa* L., seleção precoce, caracteres quantitativos, características agrônomicas.

INTRODUÇÃO

A aveia (*Avena sativa* L.) é uma fonte viável e potencialmente econômica de produção de grãos e qualidade nutricional na alimentação humana e animal. Nas últimas décadas, a necessidade de diversificação da propriedade agrícola e a exigência por espécies alternativas para comporem esquemas de rotação com soja, trigo e milho tem elevado a aveia a uma cultura de importância econômica, sobretudo devido a esforços empregados por programas de melhoramento em disponibilizar genótipos mais produtivos e ajustados a condições específicas de ambiente.

Tendo em vista o aumento na área cultivada, é indispensável que o melhoramento seja dinâmico, rápido e economicamente eficiente. Contudo, para que este objetivo seja alcançado, é importante a utilização de estratégias de seleção capazes de garantir a escolha de genótipos superiores, principalmente em termos de caracteres quantitativos (PELTONEN-SAINIO 1990). Neste sentido, inúmeros pesquisadores (FASOULAS, 1973; KYRIAKOU & FASOULAS, 1985; LUNGU et al., 1987; SAADALLA, 1994 e; NTANOS & ROUPAKIAS, 2001), evidenciaram sucesso na

resposta de seleção direta para rendimento de grãos em gerações segregantes, confirmada pela correlação significativa entre a planta selecionada e sua progênie. Estes pesquisadores são enfáticos em afirmar que a eliminação de genótipos superiores é o principal fator determinante de insucessos na seleção para elevada produtividade de grãos.

Apesar de ser uma estratégia eficiente, a seleção direta para rendimento de grãos, em gerações altamente segregantes, tem sido pouco empregada pelos programas de melhoramento de aveia e outros cereais de estação fria, em nível de Brasil, principalmente pela mão-de-obra e recursos necessários a colheita e trilha de plantas individuais. Deste modo, grande importância tem sido conferida a estudos de caracteres correlacionados (CAIERÃO et al., 2001; KUREK, 2001), por possibilitarem a identificação de modificações que ocorrem em um determinado caráter em função da seleção praticada em outro. Para CARVALHO et al. (2001), a seleção de caracteres de alta herdabilidade, fácil aferição e identificação, e que evidencie alta correlação com o caráter desejado, possibilita ao melhorista obter maior progresso e em menor espaço de tempo. Contudo, a interpretação da magnitude e direção de associações entre caracteres podem resultar em equívocos na estratégia de seleção (CRUZ & REGAZZI, 1997). Quando há necessidade, por exemplo, de identificar plantas de elevada produção de grãos por meio de seus componentes primários e/ou secundários do rendimento, o estudo de correlação não indica a importância relativa dos efeitos diretos e indiretos desses componentes sobre a produção, não possibilitando constatar se a correlação foi estabelecida por verdadeiras relações de causa e efeito. Neste contexto, WRIGHT (1921), propôs um método denominado análise de trilha ("path analysis"), que desdobra as correlações em efeitos diretos e indiretos sobre uma variável principal, proporcionando o relacionamento mais realístico e a identificação de componentes realmente efetivos a serem considerados em estratégias de seleção (REDDY & REDDY, 1986).

Sendo assim, os objetivos deste trabalho foram os de estimar correlações genética, fenotípica e de ambiente entre produtividade de grãos de plantas de aveia e caracteres importantes relacionados com o rendimento e de uso acessível nos programas de melhoramento; além disso, avaliar o desdobramento de correlações genéticas em efeitos

¹ Engenheiro Agrônomo, estudante do Curso de Doutorado em Agronomia (Fitomelhoramento) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas/RS - Bolsista do CNPq. E-mail: bening@ufpel.tche.br - gibn@ibest.com.com.br

² Engenheiro Agrônomo (Ph.D.), Prof. do Depto de Fitotecnia FAEM/UFPEL, - Campus Universitário, Cx. Postal: 354. Cep: 96001-970, Pelotas/RS. Email: carvalho@ufpel.tche.br

³ Engenheiro Agrônomo estudante do Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Fitomelhoramento) da UFPEL.

⁴ Eng. Agrônomo (M.Sc.), Prof. do Curso de Agronomia do CEFET-PR/UNED-PB. Email: kurek@pb.cefetpr.br

⁵ Estudante do Curso de Agronomia da UFPEL - Bolsista de IC CNPq.

(Recebido para publicação em 24/04/2002)

R. bras. Agrociência, v. 9, n. 1, p. 09-16, jan-mar, 2003

diretos e indiretos pela análise de trilha, almejando auxiliar pesquisadores no processo de seleção de plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no campo experimental do Setor de Fitomelhoramento da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPel, no ano agrícola de 2001.

Os caracteres agrônômicos de interesse foram avaliados em plantas individuais de 50 linhas F_3 , independentemente para cada um de quatro cruzamentos estudados: OR 2 x UPF 18, UPF 7 x CTC 5, OR 2 x UPF 7, UPF 18 x CTC 5. Cada linha foi composta de seis plantas espaçadas 0,3 m entre plantas e entre linhas. A campo, individualmente para cada cruzamento, foi avaliado o ciclo vegetativo (CV), em número de dias entre a emergência das plântulas e a emissão da panícula principal e a estatura de planta (EP), quantificada em cm da base do colmo ao topo da panícula principal, sem a inclusão das aristas. A planta e a panícula principal foram colhidas individualmente. De cada planta foi determinado, em laboratório, o número de panículas por planta (NP/P) e a produção de grãos por planta (PG/P), pela pesagem dos grãos das plantas trilhadas individualmente e, através da panícula principal, foi determinado o peso de panícula (PP) em gramas, o número de grãos por panícula (NG/P) e o peso médio de grãos (PMG), pela divisão do peso de grãos da panícula pelo número de grãos.

Para satisfazer a condição de aditividade do modelo matemático, os dados foram logaritizados. Após o estabelecimento das equações básicas da análise de trilha, a resolução na forma matricial foi dada pelo sistema de equações normais, conforme CRUZ & REGAZZI (1997):

$X'X\beta = X'Y$, em que:

$X'X$ = matriz não singular das correlações entre as variáveis explicativas;

β = Vetor coluna de coeficiente de trilha; e

$X'Y$ = vetor coluna das correlações entre as variáveis explicativas e a variável principal.

A solução de mínimos quadrados deste sistema foi estimada por: $\beta = (X'X)^{-1}X'Y$. As análises para determinação das associações entre os caracteres foram realizadas pelo programa computacional GENES (CRUZ, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão incluídas as estimativas de correlação fenotípica (r_p), genética (r_G) e de ambiente (r_E) dos cruzamentos estudados. Pode ser observado concordância na direção e na magnitude entre a r_p e a r_G , para a maioria caracteres avaliados. Entretanto, resultado de grande impacto é a superioridade, na maioria dos casos, da r_G em relação à r_p e r_E . Por outro lado, diferentes graus de magnitude e direção foram observados na associação de alguns pares de caracteres, tais como NP/P x PP, NP/P x NG/P, NP/P x EP, PP x NG/P e PP x PMG, com a modificação da constituição genética utilizada na hibridação, demonstrando que o conceito de correlação é semelhante àquele de herdabilidade, devendo ser restrito à constituição genética avaliada e ao ambiente sob estudo. Esta discordância pode ser atribuída a efeitos modificadores do ambiente e a diferentes mecanismos fisiológicos controlando a expressão de caracteres (FALCONER, 1987).

O maior potencial de PG/P está positivamente associado com NP/P, PP, NG/P, PMG e CV (Tabela 1). Dentre estas estimativas, resultado contundente e extremamente útil na tomada de decisões em programas de melhoramento, foi a elevada associação observada entre PG/P com PP, para os quatro cruzamentos avaliados, justamente por ser este um caráter de fácil seleção e aferição. Com exceção do cruzamento OR 2 x UPF 18, a correlação genética também evidenciou que é possível elevar o PMG através da seleção para PP. A exceção para o cruzamento anteriormente citado pode ser explicada pela reduzida correlação entre NG/P e PMG (-1,08), sendo que a elevação em um caráter condicionou a redução do outro. Ainda, pode ser observado que o caráter NG/P revelou ser importante critério indireto de seleção em promover identificação de plantas de elevada produção de grãos, para todas as constituições genéticas avaliadas (Tabela 1). Entretanto, resultado pouco lógico e não esperado foi a ausência de associação entre os caracteres PP e NG/P para os cruzamentos OR 2 x UPF 7 (-0,080) e UPF 7 x CTC 5 (0,033). Neste caso, a baixa variabilidade do caráter NG/P possibilita explicar estes resultados, pois, como esclarecem VENCOVSKY & BARRIGA (1992) e CRUZ & REGAZZI (1997), a baixa correlação não implica em falta de associação entre duas variáveis, apenas reflete a ausência de relação linear entre estas. Além disso, a elevada correlação genética entre PP e PMG, para ambos os cruzamentos, possibilita confirmar a hipótese que o NG/P não foi o principal responsável em elevar o PP. O balanceamento entre os componentes de rendimento foram fundamentais para explicar a ausência de associação entre NG/P e PP nestes cruzamentos; o elevado peso médio do grão pode ser característico da constituição genética das cultivares UPF 7, OR 2 e CTC 5 em detrimento de NG/P.

Na Tabela 1 são verificados cinco valores superiores a unidade para as correlações genéticas, resultados que, segundo MORO et al. (1992), se devem a valores superestimados, entretanto, próximos à unidade, e que evidenciam verdadeiras associações entre caracteres, podendo, conseqüentemente, ser utilizadas em programas de melhoramento. Para CAVASSIM & BORÉM (1998), estimativas de correlações acima da unidade são devido a problemas de amostragem dos dados, mas podem ser empregadas com a finalidade de definir critérios de seleção.

Tanto a correlação fenotípica quanto a genética poderiam ser utilizadas para estimar os coeficientes de trilha (CARVALHO et al., 1994). A correlação entre caracteres que pode ser diretamente medida é a fenotípica (FALCONER, 1987). Essa correlação tem causas genéticas e de ambiente, porém só a genética envolve uma associação de natureza herdável, podendo, por conseguinte, ser utilizada nos programas de melhoramento (CRUZ & REGAZZI, 1997). Conseqüentemente, somente as correlações genéticas foram utilizadas para obtenção dos coeficientes de trilha.

Os efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha, dos componentes primários e secundários do rendimento (NP/P, NG/P, PMG, PP, CV e EP), sobre a variável principal (PG/P), são apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5. O desdobramento dos coeficientes de trilha possibilitaram confirmar a elevada correlação genética entre PP com PG/P, através dos mais elevados efeitos diretos sobre PG/P, possibilitando associações de 0,8455, 0,9097 e 0,8787 para os cruzamentos OR 2 x UPF 18, UPF 7 x CTC 5 e UPF 18 x CTC 5, respectivamente (Tabela 2, 3 e 4). Estes resultados parecem ser mais incisivos do que aquele obtidos por CAIERÃO et al. (2001), que detectou efeito direto de 0,4775 do peso de panícula sobre o rendimento de grãos.

Tabela 1 - Estimativa dos coeficientes de correlações fenotípicas (r_P), genotípicas (r_G) e de ambiente (r_E) entre sete caracteres avaliados em quatro cruzamentos de aveia. FAEM/UFPEL, 2002.

Caracteres ¹	Correlações	UPF 18 x CTC 5	OR 2x UPF 7	UPF 7 x CTC 5	OR 2 X UPF 18
PG/P x NP/P	r_P	0,637*	0,582*	0,500*	0,675*
	r_G	0,576*	0,645*	0,547*	0,759*
	r_E	0,743*	0,437*	0,094 ^{ns}	0,609*
PG/P x PP	r_P	0,795*	0,786*	0,860*	0,439*
	r_G	1,08*	0,787*	0,883*	0,505*
	r_E	0,442*	0,749*	0,719*	0,390*
PG/P x NG/P	r_P	0,545*	0,422*	0,403*	0,312*
	r_G	0,722*	0,512*	0,479*	0,289*
	r_E	0,323*	-0,354*	-0,254 ^{ns}	0,354*
PG/P x PMG	r_P	0,360*	0,719*	0,815*	0,163 ^{ns}
	r_G	0,440*	0,766*	0,924*	0,368*
	r_E	0,263 ^{ns}	0,665*	0,470*	0,098 ^{ns}
PG/P x CV	r_P	0,239 ^{ns}	0,791*	0,759*	0,138 ^{ns}
	r_G	0,540*	0,850*	0,803*	0,348*
	r_E	-0,326*	0,553*	0,478*	-0,287*
PG/P x EP	r_P	0,264 ^{ns}	0,625*	0,539*	0,090 ^{ns}
	r_G	0,298*	0,728*	0,604*	-0,052 ^{ns}
	r_E	0,320*	-0,593*	-0,523*	0,249 ^{ns}
NP/P x PP	r_P	0,478*	0,041 ^{ns}	0,031 ^{ns}	-0,133 ^{ns}
	r_G	1,139*	0,105 ^{ns}	0,065 ^{ns}	-0,350*
	r_E	0,300*	-0,301*	-0,254 ^{ns}	0,144 ^{ns}
NP/P x NG/P	r_P	0,315*	0,885*	0,912*	-0,284*
	r_G	0,750*	0,922*	0,942*	-0,609*
	r_E	0,221 ^{ns}	0,346*	0,558*	0,144 ^{ns}
NP/P x PMG	r_P	0,167 ^{ns}	-0,061 ^{ns}	-0,051 ^{ns}	0,330*
	r_G	0,262 ^{ns}	-0,024 ^{ns}	-0,031 ^{ns}	0,130 ^{ns}
	r_E	0,184 ^{ns}	-0,264 ^{ns}	-0,172 ^{ns}	-0,062 ^{ns}
NP/P x CV	r_P	0,062 ^{ns}	0,863*	0,833*	0,090 ^{ns}
	r_G	0,411*	0,903*	0,871*	0,230 ^{ns}
	r_E	-0,156 ^{ns}	-0,346*	-0,211 ^{ns}	-0,290*
NP/P x EP	r_P	0,048 ^{ns}	0,924*	0,929*	-0,197 ^{ns}
	r_G	-0,079 ^{ns}	0,954*	0,959*	-0,503*
	r_E	0,138 ^{ns}	0,380*	0,424*	0,199 ^{ns}
PP x NG/P	r_P	0,805*	-0,132 ^{ns}	-0,021 ^{ns}	0,874*
	r_G	0,820*	-0,080 ^{ns}	0,033 ^{ns}	0,902*
	r_E	0,776*	-0,526*	-0,469*	0,826*
PP x PMG	r_P	0,340*	0,966*	0,992*	-0,019 ^{ns}
	r_G	0,377*	1,08*	1,06*	-0,565*
	r_E	0,263 ^{ns}	0,748*	0,804*	0,283*
PP x CV	r_P	0,184 ^{ns}	0,380*	0,449*	0,437*
	r_G	0,326*	0,426*	0,467*	0,552*
	r_E	-0,210 ^{ns}	0,653*	0,769*	0,310*
PP x EP	r_P	0,182 ^{ns}	0,114 ^{ns}	0,130 ^{ns}	0,010 ^{ns}
	r_G	0,117 ^{ns}	0,209 ^{ns}	0,174 ^{ns}	-0,171 ^{ns}
	r_E	0,319*	-0,755*	-0,676*	0,125 ^{ns}
NG/P x PMG	r_P	-0,230 ^{ns}	-0,224 ^{ns}	-0,108 ^{ns}	-0,454*
	r_G	-0,300*	-0,020 ^{ns}	-0,067 ^{ns}	-1,08*
	r_E	-0,173 ^{ns}	0,476*	-0,357*	-0,193 ^{ns}
NG/P x CV	r_P	0,244 ^{ns}	0,818*	0,841*	0,447*
	r_G	0,366*	0,850*	0,886*	0,552*
	r_E	-0,099 ^{ns}	-0,440*	-0,385*	0,151 ^{ns}
NG/P x EP	r_P	0,227 ^{ns}	0,924*	0,965*	0,057 ^{ns}
	r_G	0,221 ^{ns}	0,937*	0,995*	-0,045 ^{ns}
	r_E	0,242 ^{ns}	0,678*	0,542*	0,253 ^{ns}
PMG x CV	r_P	-0,158 ^{ns}	0,297*	0,370*	-0,282*
	r_G	-0,133 ^{ns}	0,345*	0,412*	-0,379*
	r_E	-0,263 ^{ns}	0,630*	0,732*	-0,106 ^{ns}
PMG x EP	r_P	-0,099 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,042 ^{ns}	-0,036 ^{ns}
	r_G	-0,193 ^{ns}	0,106 ^{ns}	0,087 ^{ns}	-0,660*
	r_E	0,131 ^{ns}	-0,673*	-0,497*	0,151 ^{ns}
CV x EP	r_P	0,608*	0,954*	0,930*	0,150 ^{ns}
	r_G	0,825*	0,972*	0,942*	0,184 ^{ns}
	r_E	-0,069 ^{ns}	0,677*	-0,551*	0,062 ^{ns}

¹PG/P= produção de grãos por plantas; NP/P= número de panículas por planta; PP= peso de panícula; NG/P= número de grãos por panícula; PMG= peso médio de grãos; CV= ciclo vegetativo; EP= estatura de planta.

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ^{ns} Não significativo.

O efeito direto do caráter NP/P sobre PG/P (Tabelas 2, 3 e 5) UPF 18 (0,9455) e UPF 7 x CTC 5 (0,5535) e OR 2 x UPF 7 revelou ser estratégico para seleção nos cruzamentos OR 2 x (0,4254). Os maiores efeitos diretos detectados entre estes R. bras. Agrocência, v. 9, n. 1, p. 09-16, jan-mar, 2003

caracteres corroboram com os coeficientes de correlação genética, os quais evidenciaram magnitude e sinais semelhantes, permitindo estabelecer hipótese de verdadeira existência de associação. Entretanto, para o cruzamento UPF 18 x CTC 5 (Tabela 4), a associação genética entre os caracteres anteriormente citados não corrobora com o reduzido efeito direto. Certamente uma planta com maior número de perfilhos viáveis tende a elevar o rendimento de

grãos. Consequentemente, a ausência de variabilidade para o caráter NP/P não possibilitou, nesta população, a identificação de plantas de elevada produção de grãos, através do efeito direto. Este resultado confirma a inadequação das correlações simples em determinadas situações, conforme tem sido apontado por diversos autores, entre os quais SANTOS et al. (1995).

Tabela 2 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha sobre a produção de grãos de plantas individuais do cruzamento OR 2 X UPF 18. FAEM/UFPeL, 2002.

Caracteres ¹	Vias de associação	Coeficientes de trilha		Coeficiente de correlação
		Efeito direto	Efeito indireto	
NP/P	Efeito direto sobre PG/P	0,9455		
	Efeito indireto via PP		-0,1132	
	Efeito indireto via NGP		0,0389	
	Efeito indireto via PMG		-0,0973	
	Efeito indireto via CV		-0,0638	
	Efeito indireto via EP		-0,0350	
	TOTAL (direto e indireto)			0,6751
PP	Efeito direto sobre PG/P	0,8455		
	Efeito indireto via NP/P		-0,1266	
	Efeito indireto via NG/P		-0,1194	
	Efeito indireto via PMG		0,0056	
	Efeito indireto via CV		0,0033	
	Efeito indireto via EP		-0,1692	
	TOTAL (direto e indireto)			0,4394
NG/P	Efeito direto sobre PG/P	-0,1366		
	Efeito indireto via NP/P		-0,2693	
	Efeito indireto via PP		0,7391	
	Efeito indireto via PMG		0,1333	
	Efeito indireto via CV		0,0186	
	Efeito indireto via EP		-0,1730	
	TOTAL (direto e indireto)			0,3120
PMG	Efeito direto sobre PG/P	-0,2933		
	Efeito indireto via NP/P		0,3137	
	Efeito indireto via PP		-0,0163	
	Efeito indireto via NG/P		0,0621	
	Efeito indireto via CV		-0,0116	
	Efeito indireto via EP		0,1093	
	TOTAL (direto e indireto)			0,1638
CV	Efeito direto sobre PG/P	-0,3868		
	Efeito indireto via NP/P		0,0855	
	Efeito indireto via PP		0,3698	
	Efeito indireto via NG/P		-0,0611	
	Efeito indireto via PMG		0,0829	
	Efeito indireto via CV		0,0486	
	TOTAL (direto e indireto)			0,1389
EP	Efeito direto sobre PG/P	0,3236		
	Efeito indireto via NP/P		-0,1864	
	Efeito indireto via PP		0,0088	
	Efeito indireto via NG/P		-0,0078	
	Efeito indireto via PMG		0,0105	
	Efeito indireto via EP		-0,0581	
	TOTAL (direto e indireto)			0,0907
	Coeficiente de determinação		0,8948	
	Efeito da variável residual		0,3243	

¹PG/P= produção de grãos por plantas; NP/P= número de panículas por planta; PP= peso de panícula; NG/P= número de grãos por panícula; PMG= peso médio de grãos; CV= ciclo vegetativo; EP= estatura de planta.

Tabela 3 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha sobre a produção de grãos de plantas individuais do cruzamento UPF 7 X CTC 5. FAEM/UFPeI, 2002.

Caracteres ¹	Vias de associação	Coeficientes de trilha		Coeficiente de correlação
		Efeito direto	Efeito indireto	
NP/P	Efeito direto sobre PG/P	0,5535		
	Efeito indireto via PP		0,0287	
	Efeito indireto via NGP		-0,0129	
	Efeito indireto via PMG		-0,0007	
	Efeito indireto via CV		-0,1796	
	Efeito indireto via EP		0,1114	
	TOTAL (direto e indireto)			0,5004
PP	Efeito direto sobre PG/P	0,9097		
	Efeito indireto via NP/P		0,0174	
	Efeito indireto via NG/P		0,0003	
	Efeito indireto via PMG		0,0141	
	Efeito indireto via CV		-0,0969	
	Efeito indireto via EP		0,0156	
	TOTAL (direto e indireto)			0,8604
NG/P	Efeito direto sobre PG/P	-0,0142		
	Efeito indireto via NP/P		0,5050	
	Efeito indireto via PP		-0,0197	
	Efeito indireto via PMG		-0,0015	
	Efeito indireto via CV		-0,1814	
	Efeito indireto via EP		0,1157	
	TOTAL (direto e indireto)			0,4039
PMG	Efeito direto sobre PG/P	0,0142		
	Efeito indireto via NP/P		-0,0284	
	Efeito indireto via PP		0,9027	
	Efeito indireto via NG/P		0,0015	
	Efeito indireto via CV		-0,0798	
	Efeito indireto via EP		0,0051	
	TOTAL (direto e indireto)			0,8153
CV	Efeito direto sobre PG/P	-0,2156		
	Efeito indireto via NP/P		0,4611	
	Efeito indireto via PP		0,4089	
	Efeito indireto via NG/P		-0,0119	
	Efeito indireto via PMG		0,0052	
	Efeito indireto via EP		0,1115	
	TOTAL (direto e indireto)			0,7593
EP	Efeito direto sobre PG/P	0,1198		
	Efeito indireto via NP/P		0,5146	
	Efeito indireto via PP		0,1189	
	Efeito indireto via NG/P		-0,0137	
	Efeito indireto via PMG		0,0006	
	Efeito indireto via CV		-0,2006	
	TOTAL (direto e indireto)			0,5398
	Coeficiente de determinação		0,9665	
	Efeito da variável residual		0,1828	

¹PG/P= produção de grãos por plantas; NP/P= número de panículas por planta; PP= peso de panícula; NG/P= número de grãos por panícula; PMG= peso médio de grãos; CV= ciclo vegetativo; EP= estatura de planta.

Apesar de todos os cruzamentos terem apresentado correlação genética pronunciada entre PG/P x PMG (Tabela 1), somente o efeito direto detectado no cruzamento OR 2 x UPF 7 (0,6341) (Tabela 5) possibilitou afirmar que a seleção para peso médio de grãos será eficiente em identificar plantas de elevada produção de grãos. Isto pode ser explicado, provavelmente, pelo fato dos genitores utilizados nesta hibridação apresentarem média elevada para o caráter PMG e, possivelmente, pela maior contribuição de grãos primários e secundários em relação aos terciários (FLOSS et al., 2000), fundamentais para a obtenção de genótipos desejáveis.

Os caracteres NG/P, CV e EP apresentaram, em geral, coeficientes de correlação genética positivos e efeito direto negativo, sobre a variável principal (PG/P), evidenciando que a

pressão de seleção intensificada sobre estes caracteres poderá não proporcionar ganhos satisfatórios. Conseqüentemente, esta alta correlação genética permite estabelecer a hipótese que a mesma foi determinada por efeitos indiretos. Nesta situação, caracteres indiretos devem ser considerados simultaneamente no processo de seleção, como tem sido sugerido por CRUZ & REGAZZI (1997). Neste sentido, efeitos indiretos positivos e de elevada magnitude, como os observados entre os caracteres NG/P e PP (0,7391) no cruzamento OR 2 x UPF 18 (Tabela 2), PMG e PP (0,9027), NG/P e NP/P (0,5050), CV e NP/P (0,4611), CV e PP (0,4089), EP e NP/P (0,5146) no cruzamento UPF 7 x CTC 5 (Tabela 3), NG/P e PP (0,7074) no cruzamento UPF 18 x CTC 5 (Tabela 4) e, PP x PMG (0,6131), NG/P x NP/P (0,3769), CV

e NP/P (0,3672), EP e NP/P (0,3935) no cruzamento OR 2 x UPF 7 (Tabela 5), foram os prováveis responsáveis pela baixa estimativa dos efeitos diretos, indicando essas variáveis como

determinantes do comportamento da variável básica, sendo portanto estes que devem ser levados em consideração na seleção objetivando otimizar o ganho genético para PG/P.

Tabela 4 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha sobre a produção de grãos de plantas individuais do cruzamento UPF 18 X CTC 5. FAEM/UFPeI, 2002.

Caracteres ¹	Vias de associação	Coeficientes de trilha		Coeficiente de correlação
		Efeito direto	Efeito indireto	
NP/P	Efeito direto sobre PG/P	0,3121		
	Efeito indireto via PP		0,4204	
	Efeito indireto via NGP		-0,0974	
	Efeito indireto via PMG		-0,0069	
	Efeito indireto via CV		0,0043	
	Efeito indireto via EP		0,0045	
	TOTAL (direto e indireto)			0,6372
PP	Efeito direto sobre PG/P	0,8787		
	Efeito indireto via NP/P		0,1493	
	Efeito indireto via NG/P		-0,2485	
	Efeito indireto via PMG		-0,0141	
	Efeito indireto via CV		0,0127	
	Efeito indireto via EP		0,0172	
	TOTAL (direto e indireto)			0,7955
NG/P	Efeito direto sobre PG/P	-0,3087		
	Efeito indireto via NP/P		0,0984	
	Efeito indireto via PP		0,7074	
	Efeito indireto via PMG		0,0095	
	Efeito indireto via CV		0,0169	
	Efeito indireto via EP		0,0216	
	TOTAL (direto e indireto)			0,5453
PMG	Efeito direto sobre PG/P	-0,0415		
	Efeito indireto via NP/P		0,0521	
	Efeito indireto via PP		0,2994	
	Efeito indireto via NG/P		0,0711	
	Efeito indireto via CV		-0,0109	
	Efeito indireto via EP		-0,0094	
	TOTAL (direto e indireto)			0,3607
CV	Efeito direto sobre PG/P	0,0693		
	Efeito indireto via NP/P		0,0194	
	Efeito indireto via PP		0,1618	
	Efeito indireto via NG/P		0,0754	
	Efeito indireto via PMG		0,0065	
	Efeito indireto via EP		0,0577	
	TOTAL (direto e indireto)			0,2395
EP	Efeito direto sobre PG/P	0,0948		
	Efeito indireto via NP/P		0,0150	
	Efeito indireto via PP		0,1602	
	Efeito indireto via NG/P		-0,0703	
	Efeito indireto via PMG		0,0041	
	Efeito indireto via CV		0,0422	
	TOTAL (direto e indireto)			0,2462
	Coeficiente de determinação		0,7545	
	Efeito da variável residual		0,4953	

¹PG/P= produção de grãos por plantas; NP/P= número de panículas por planta; PP= peso de panícula; NG/P= número de grãos por panícula; PMG= peso médio de grãos; CV= ciclo vegetativo; EP= estatura de planta.

Situação inversa e interessante pode ser observada na associação do caráter EP e PG/P. Estes caracteres revelaram correlação genética negativa (-0,052), apesar de não significativa, apenas para o cruzamento OR 2 x UPF 18 (Tabela 1). Nos demais cruzamentos as associações foram positivas e significativas. Entretanto, apenas para o referido cruzamento foi possível detectar efeito direto positivo e significativo da EP sobre PG/P. Neste sentido, uma explicação

lógica e plausível pode ser fornecida somente através do conhecimento das constituições genéticas utilizadas na hibridação. Neste caso, estatura similar entre os genitores e, provavelmente, a ausência de genes complementares, tenha sido responsável pela baixa variabilidade observada a campo. Desta forma, isto permite levar a ausência de relação linear entre os caracteres como o fator responsável pela falta de associação dos mesmos.

Tabela 5 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha sobre a produção de grãos de plantas individuais do cruzamento OR 2 X UPF 7. FAEM/UFPel, 2002.

Caracteres ¹	Vias de associação	Coeficientes de trilha		Coeficiente de correlação
		Efeito direto	Efeito indireto	
NP/P	Efeito direto sobre PG/P	0,4254		0,5820
	Efeito indireto via PP		0,0084	
	Efeito indireto via NGP		0,1589	
	Efeito indireto via PMG		-0,0392	
	Efeito indireto via CV		-0,1488	
	Efeito indireto via EP		0,1771	
	TOTAL (direto e indireto)			
PP	Efeito direto sobre PG/P	0,2055		0,7687
	Efeito indireto via NP/P		0,0174	
	Efeito indireto via NG/P		-0,0238	
	Efeito indireto via PMG		0,6131	
	Efeito indireto via CV		-0,0656	
	Efeito indireto via EP		0,0219	
	TOTAL (direto e indireto)			
NG/P	Efeito direto sobre PG/P	0,1794		0,4227
	Efeito indireto via NP/P		0,3769	
	Efeito indireto via PP		-0,0272	
	Efeito indireto via PMG		-0,1423	
	Efeito indireto via CV		-0,1411	
	Efeito indireto via EP		0,1771	
	TOTAL (direto e indireto)			
PMG	Efeito direto sobre PG/P	0,6341		0,7194
	Efeito indireto via NP/P		-0,0263	
	Efeito indireto via PP		0,1987	
	Efeito indireto via NG/P		-0,0402	
	Efeito indireto via CV		-0,0513	
	Efeito indireto via EP		0,0045	
	TOTAL (direto e indireto)			
CV	Efeito direto sobre PG/P	-0,1725		0,7915
	Efeito indireto via NP/P		0,3672	
	Efeito indireto via PP		0,0781	
	Efeito indireto via NG/P		0,1468	
	Efeito indireto via PMG		0,1888	
	Efeito indireto via EP		0,1828	
	TOTAL (direto e indireto)			
EP	Efeito direto sobre PG/P	0,1915		0,6251
	Efeito indireto via NP/P		0,3935	
	Efeito indireto via PP		0,0235	
	Efeito indireto via NG/P		0,1659	
	Efeito indireto via PMG		0,0150	
	Efeito indireto via CV		-0,1646	
	TOTAL (direto e indireto)			
	Coeficiente de determinação		0,9209	
	Efeito da variável residual		0,2811	

¹PG/P= produção de grãos por plantas; NP/P= número de panículas por planta; PP= peso de panícula; NG/P= número de grãos por panícula; PMG= peso médio de grãos; CV= ciclo vegetativo; EP= estatura de planta.

Os coeficientes de determinação do modelo da análise de trilha foram semelhantes a unidade, com estimativas de 0,9665 e 0,9209, respectivamente, para os cruzamentos OR 2 x UPF 7 (Tabela 3) e UPF 7 x CTC 5 (Tabela 4), indicando que as variações da PG/P são, na sua quase totalidade, explicadas pelo efeito dos caracteres analisados. Apesar das menores explicações detectadas para os cruzamentos OR 2 x UPF 18 (0,8948) e UPF 18 x CTC 5 (0,7545), estas possibilitam estimativas satisfatórias das variáveis analisadas. Além disso, todos os efeitos diretos e indiretos, detectados

como importantes na seleção, superaram o efeito da variável residual.

Pôde ser observado que as associações e os efeitos diretos e indiretos das variáveis analisadas apresentaram diferentes associações em relação às constituições genéticas analisadas. Essa inconsistência demonstra a necessidade de maior conhecimento das relações entre os principais genitores utilizados em hibridações em programas de melhoramento genético, a fim de possibilitar a escolha mais criteriosa de estratégias de seleção a serem empregadas, fundamentais para a otimização do ganho genético.

CONCLUSÃO

A concordância inexpressiva entre as estimativas de associação simples e efeito direto não fornecem subsídios para a utilização de correlações genética e fenotípica na identificação de associações herdáveis de grande interesse. Entretanto, os maiores efeitos diretos e indiretos detectam que os caracteres peso de panícula, número de panícula por planta e peso médio do grão podem ser utilizados com sucesso na seleção de plantas de elevada produtividade de grãos.

ABSTRACT

*There is rather agreement among plant breeders that associations among oat (*Avena sativa* L.) agronomic traits are very important to increase the use of indirect selection to improve grain yield. Partition of single correlation coefficients in direct and indirect effects over grain yield on an individual plant are considered basic to obtain genetic gains in segregant populations. This study was conducted to compare the effectiveness of genetic, phenotypic and environmental correlations and direct and indirect path analysis. Fifty F₃ oat lines from four different artificial crosses were individually tested in a completely randomized experimental design with six replications. For all populations, significant genotypic correlations and large direct and indirect effect showed that panicle weight, panicle number per plant and average grain weight could help to identify oat plants with large grain production, improving genetic gain efficiency.*

Key words: Avena sativa L., yield, early selection, quantitative traits, agronomic traits.

REFERÊNCIAS

- CAIERÃO, E.; CARVALHO, F.I.F.; PACHECO, M.T. et al. Seleção indireta em aveia para o incremento no rendimento de grãos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.31, n.32 p.231-236, 2001.
- CARVALHO, F.I.F.; SILVA, S.A.; KUREK, A.J. et al. **Estimativas e implicações da herdabilidade como estratégia de seleção.** Pelotas: Editora da UFPel, 2001. 99p.
- CARVALHO, L.P. de; CRUZ, C.D.; MORAES, C.F. Correlações genotípicas, fenotípicas e ambientais em algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch). *Revista Ceres*, v.41, n.236, p.407-418, 1994.
- CAVASSIM, J.E.; BORÉM, A. Correlações em seis populações de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Ceres*, Viçosa, v.45, n.262, p.555-566, 1998.
- CRUZ, C.D. Programa Genes: Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: Editora UFV, 2001. 648 p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1997. 390 p.
- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa.** Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1987, 279p.
- FASOULAS, A. **A new approach to breeding superior yielding varieties.** Aristotelian University. Thessaloniki, Greece, Pub. 3, 42p., 1973.
- FLOSS, E.L.; SOUZA, J.L.; FLOSS, L.G. Frequência de grãos terciários em genótipos de aveia branca. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 20., 2000, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: UFPEL, 2000. p.17-26.
- KUREK, A.J. **Estimativa da herança e correlações entre caracteres agrônômicos e de qualidade de grãos em aveia hexaplóide cultivada.** Pelotas, 2001, 87p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas.
- KYRIAKOU, D.T.; FASOULAS, A.C. Effects of competition and selection pressure on yield response in winter rye (*Secale cereale* L.). *Euphytica*, v.34, 883-895, 1985.
- LUNGU, D.M.; KALTSIKES, P.J.; LARTER, E.N. Honeycomb selection for yield in early generations of spring wheat. *Euphytica*, v.36, p.831-39, 1987.
- MORO G.L.; REIS, M.S.; SEDIYAMA, C.S. et al.. Correlações entre alguns caracteres agrônômicos em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Revista Ceres*, Viçosa, v.29, n.223, p. 225-232, 1992.
- NTANOS, D.A.; ROUPAKIAS, D.G. Comparative efficiency of two breeding methods for yield and quality in rice. *Crop Science*, v.41, p.345-350, 2001.
- PELTONEN-SAINIO, P. Morphological and physiological characters behind high-yielding ability of oats (*Avena sativa* L.), and their implications for breeding. *Fields Crops Researches*, Amsterdam, v.25, p.247-252. 1990.
- REDDY, C.R.; REDDY, M.V. Degree of genetic determination, correlation genotypic and phenotypic path analysis of cane and sugar yield in sugarcane. *Indian Journal Genetic*, v. 46, p. 550-557, 1986.
- SAADALLA, M.M. Response to early-generation for yield and yield components in wheat. *Cereal Research Communications*, v.22, n.3, 187-193, 1994.
- SANTOS, C.A.F.; REIS, M.S.; CRUZ, C.D. et al. Adequação de modelos no estudo do coeficiente de trilha dos componentes primários e secundários de progênes F₆ de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Revista Ceres*, v.42, n.240, p.111-121, 1995.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento.** Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, Washington, v.20, p.557-585, 1921.