

# IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERES ASSOCIADOS À ESTATURA DE PLANTA E TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO EM TRIGOS DUPLO-HAPLÓIDES SOB CULTIVO HIDROPÔNICO

## IDENTIFICATION OF CHARACTERS ASSOCIATED TO PLANT STATURE AND ALLUMINUM TOLERANCE IN DOUBLE HAPLOID WHEAT UNDER HYDROPONIC CULTURE

SILVA, José A.G. da<sup>1</sup>; CARVALHO, Fernando I. F. de<sup>2</sup>; OLIVEIRA, Antonio C.<sup>2</sup>; BENIN, Giovani<sup>1</sup>; LORENCETTI, Claudir<sup>1</sup>; MARTINS, Luiz F.<sup>3</sup>; VIEIRA, Eduardo A.<sup>1</sup>; HARTWIG, I.<sup>4</sup>; CARVALHO, Marcos F.<sup>5</sup>

### RESUMO

A interpretação da magnitude e direção de associações entre caracteres podem resultar em equívocos na estratégia de seleção, pois a correlação simples não identifica os efeitos diretos e indiretos de um grupo de caracteres em relação a um caráter considerado de maior importância, não permitindo constatar se há verdadeiras relações de causa e efeito. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de comparar estimativas de correlações fenotípicas, genéticas, de ambiente e parcial entre estatura de planta aferida a campo e caracteres indicativos da tolerância ao alumínio ( $Al^{3+}$ ) e insensibilidade ao ácido giberélico ( $AG_3$ ) medidos em laboratório. Ainda, desdobrar as correlações genéticas em efeitos diretos e indiretos pela análise de trilha de modo a verificar a confiabilidade das associações entre os caracteres estudados. Dezenove linhagens duplo-haplóides de trigo foram testadas em tanque de hidroponia e a campo em delineamento de blocos ao acaso com três repetições. A correlação parcial não assegura eficiência na seleção indireta, o que pode ser contornado com o uso da correlação genética. Entretanto, há necessidade de desdobramento das associações em efeitos diretos e indiretos e o comprimento da 2ª folha em laboratório evidencia alta associação com estatura de planta a campo.

Palavras-chave: seleção indireta, recrescimento de raiz, ácido giberélico e ginogênese.

### INTRODUÇÃO

As técnicas convencionais empregadas no melhoramento genético de plantas têm revelado dificuldades, principalmente em intensificar a pressão de seleção artificial por induzir a erros determinados por fatores como a alta frequência de heterozigotos, ação gênica (efeito não aditivo) e pela participação intensa do ambiente na manifestação do caráter desejado (DORNELLES, 1997; SILVA, 2003).

O método de haploidização tem permitido acelerar o processo de melhoramento varietal pela eliminação das gerações segregantes com alta frequência de heterozigotos, obtendo um expressivo ganho de tempo; além de aumentar a

eficiência de seleção, já que os efeitos de dominância e epistasia são drasticamente neutralizados (MORAES-FERNANDES, 1990).

A utilização de hidroponia para a identificação de genótipos tolerantes ao alumínio ( $Al^{3+}$ ) e insensíveis ao ácido giberélico ( $AG_3$ ) juntamente com a obtenção de duplo-haplóides pode favorecer a seleção visto que a variabilidade genética ocorre entre linhas e não entre indivíduos da mesma linha, inviabilizando os efeitos indesejáveis da ação gênica de dominância e epistasia.

A técnica para avaliar a tolerância a toxicidade ao  $Al^{3+}$  pode ser feita em laboratório através da medida do recrescimento de raiz após o tratamento com  $Al^{3+}$  e a identificação de plantas de estatura reduzida pela avaliação de insensibilidade ao  $AG_3$  aplicado de forma exógena em solução nutritiva, devido sua associação com o caráter estatura de planta (SILVA, 2003).

Segundo CARVALHO et al., (2001) para que o objetivo seja alcançado além de novas técnicas empregadas nos programas de melhoramento, grande importância deve ser conferida a estudos de caracteres correlacionados, possibilitando ao melhorista obter progressos mais rápidos em menor espaço de tempo do que a própria seleção direta do caráter desejado. Além disso, o conhecimento de correlação entre os caracteres, pode ser primordial quando se deseja fazer seleção simultânea de caracteres, ou quando um caráter de interesse revelar baixa herdabilidade, sendo de difícil identificação e resposta para obter ganho genético.

Entretanto, a interpretação da magnitude e direção de associações entre caracteres podem resultar em equívocos na estratégia de seleção (CRUZ & REGAZZI, 1997), ou seja, a correlação simples não provê informações a respeito dos efeitos diretos e indiretos de um grupo de caracteres em relação a um caráter considerado de maior importância, não possibilitando constatar se a correlação foi estabelecida por verdadeiras relações de causa e efeito.

<sup>1</sup> Eng. Agrº; estudante do Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Fitomelhoramento) em nível de Doutorado, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas(UFPel).

<sup>2</sup> Eng. Agrº; (Ph.D), prof. do Depto de Fitotecnia (Fitomelhoramento) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel).

<sup>3</sup> Eng. Agrº; estudante do Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Fitomelhoramento) em nível de mestrado, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel).

<sup>4</sup> Estudante do curso de Agronomia bolsista de iniciação científica CNPq/PIBIC da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel).

<sup>5</sup> Estudante do curso de Agronomia. Bolsista de iniciação científica FAPERGS da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel).

(Recebido para Publicação em 29/08/2003, Aprovado em 24/09/2004)

Com o intuito de entender melhor a associação entre caracteres, WRIGHT (1921) propôs um método denominado análise de trilha ("path analysis") que desdobra as correlações estimadas em efeitos diretos e indiretos de cada caráter sobre uma variável básica. Desse modo, a decomposição dos coeficientes de correlação através da análise de trilha permite avaliar se a correlação entre duas variáveis é de causa e efeito ou determinado pela influência de outras variáveis.

O objetivo do trabalho foi o de estimar correlações genética, fenotípica, de ambiente e parcial entre estatura de planta aferida a campo e caracteres indicativos da tolerância ao  $Al^{3+}$  e insensibilidade ao  $AG_3$  em cultivo hidropônico, de modo a desdobrar as correlações genéticas em efeitos diretos e indiretos pela análise de trilha, com a finalidade de assegurar confiabilidade nas associações entre os caracteres no processo de seleção.

MATERIAL E MÉTODOS

Em 2001 dezenove linhagens duplo-haplóides de trigo obtidas do cruzamento entre EMBRAPA 16 e TB 462 foram conduzidas em condições de campo no Centro Agropecuário da Palma localizado no município de Capão do Leão. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições, num espaçamento de 0,40 m entre fileiras de plantas e 0,20 m entre plantas dentro da fileira, com cada linha apresentando dois metros de comprimento e uma densidade de 10 plantas por linha.

No campo foi avaliado o caráter estatura de planta (EST), aferido com aproximadamente 21 dias após a antese e florescimento (FLOR) quando 70% das plantas na linha apresentavam espiga fora da folha bandeira.

A avaliação das linhagens duplo-haplóides quanto a toxicidade ao  $Al^{3+}$  foi conduzida no laboratório de Duplo-haplóides e Hidroponia pertencente ao Centro de Genômica e Fitomelhoramento da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

/UFPEl, utilizando a técnica descrita por CAMARGO & OLIVEIRA (1981) e adaptado por DORNELLES et al. (1997), incluindo a avaliação simultânea da estatura de planta com o uso do ácido giberélico. Além disso, foram incluídos no experimento as cultivares padrões BR35 (tolerante ao  $Al^{3+}$  e estatura intermediária), CEP 24 (reação intermediária ao  $Al^{3+}$  e estatura elevada), Anahuac (sensível ao  $Al^{3+}$  e estatura reduzida) e Sonora 64 (Sensível ao  $Al^{3+}$  e estatura reduzida).

As sementes germinadas com aproximadamente 2 mm de raiz foram transportadas para uma tela plástica adaptada à tampa de um recipiente de 5,5 L contendo solução nutritiva em pH 4±0,3. Os vasos foram levados a um tanque de metal contendo água e um sistema de aquecimento por resistência, para que ficassem em banho-maria a uma temperatura de 25° C e iluminação constante; além disso, os vasos foram ligados a um sistema de aeração para fornecer oxigênio as raízes. Ao completar 48 horas em solução nutritiva as tampas com as plântulas foram transferidas para solução nutritiva e  $Al^{3+}$  na concentração de 10 ppm, permanecendo por 48 horas e retornando as soluções nutritivas sem  $Al^{3+}$ , ficando por mais 72 horas. A avaliação dos caracteres para tolerância ao  $Al^{3+}$  tóxico foi feita pela medição do recrescimento da raiz (REC) com o auxílio de uma régua graduada, a partir do ponto de dano causado pela toxicidade do  $Al^{3+}$  na raiz principal.

Os caracteres indicativos da sensibilidade ao  $AG_3$  foram aferidos com o auxílio de uma régua e os resultados expressos em cm quanto a inserção da 1° folha (IPF), tomada a partir da base do colmo até o ponto de encontro de emergência da 1° folha; comprimento da 1° folha (CPF) e 2° folha (CSF) e estatura de plântula (ESTpl), medido da base até o ápice.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, comparação de médias pelo teste de SCOTT & KNOTT, correlações genéticas ( $r_G$ ), fenotípica ( $r_P$ ), de ambiente ( $r_E$ ) e parcial. As análises de correlação ( $r_G$ ,  $r_P$ ,  $r_E$ ) foram feitas segundo o modelo proposto por CRUZ & REGAZZI (1997), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Esquema da análise de variância dos caracteres X, Y e da soma X + Y, para o experimento em blocos casualizados com os produtos médios e suas respectivas esperanças

FV	GL	QM			E (QM)	PM	E (PM)
		X	Y	X + Y			
Blocos	r-1	-	-	-	-	-	-
Tratamento	g-1	QMTx	QMTy	QMTx+y	$\sigma^2 + r\sigma_g^2$	PMTxy	$\sigma_{xy} + r\sigma_{gxy}$
Resíduo	(r-1)(g-1)	QMRx	QMRy	QMRx+y	$\sigma^2$	PMRxy	$\sigma_{xy}$

GL= graus de liberdade; QM= quadrado médio; E(QM)= esperança do quadrado médio; PM= produto médio; E(PM)= esperança do produto médio.

Os produtos médios associados a tratamento e resíduos foram obtidos por meio de expressões:

$$PMT_{xy} = (QMT_{x+y} - QMT_x - QMT_y)/2 \quad \text{e}$$

$$PMR_{xy} = (QMR_{x+y} - QMR_x - QMR_y)/2$$

Com base nos resultados das análises incluídas na Tabela 1, estimou-se os coeficientes de correlação por meio das expressões descritas abaixo.

- Correlação fenotípica

$$r_P = \frac{PMT_{xy}}{\sqrt{QMT_x \cdot QMT_y}}$$

Onde:

$r_P$  = coeficiente fenotípico

$PMT_{xy}$  = é o produto médio do tratamento associado as variáveis X e Y.

$QMT_x$  = é o quadrado médio de tratamento da variável X obtido na análise de variância.

$QMT_y$  = é o quadrado médio de tratamento da variável Y, obtido na análise de variância.

- Correlação de ambiente

$$r_E = \frac{PMR_{xy}}{\sqrt{QMR_x \cdot QMR_y}}$$

Onde:

$r_E$  = coeficiente de ambiente

$PMR_{xy}$  = é o produto médio de resíduo associado as variáveis X e Y.

$QMR_x$  = é o quadrado médio de resíduo da variável X obtido na análise de variância.

$QMR_y$  = é o quadrado médio de resíduo da variável Y, obtido na análise de variância.

- Correlação genotípica

$$r_G = \frac{\hat{\sigma}_{gy}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{gx}^2 \cdot \hat{\sigma}_{gy}^2}}$$

sendo:  $\hat{\sigma}_{gx} = \frac{PMT_x - PMR_x}{r}$

$\hat{\sigma}_{gy} = \frac{PMT_y - PMR_y}{r}$

em que:

$r_G$  = coeficiente de correlação.

$\hat{\sigma}_{gy}$  = estimador da covariância genotípica entre os caracteres X e Y;

$\hat{\sigma}_{gx}, \hat{\sigma}_{gy}$  = estimadores das variâncias genotípicas dos caracteres X e Y, respectivamente.

Sendo X, Y e Z três variáveis aleatórias e  $r_{xy}$  a correlação simples entre X e Y que mede a associação entre X e Y que é determinada por várias causas, entre elas as variações em Z a correlação  $r_{xyz}$  denominada correlação

parcial entre X e Y quantifica a relação entre essas duas variáveis após removidos os efeitos de Z com base no fenótipo.

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

Após determinação das associações entre os caracteres foi realizado a análise dos coeficientes de trilha levando em consideração o modelo causal como forma de regressão padronizada. As análises para determinação das associações entre os caracteres e trilha foram realizadas pelo programa computacional GENES (CRUZ, 2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de variância para os diferentes caracteres testados tanto em laboratório como a campo, estão incluídos na Tabela 2, onde revelam significância para todos os caracteres, evidenciando que as 19 linhagens duplo-haplóides manifestam diferenças significativas.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para os caracteres recrescimento (REC), estatura de plântula (ESTpl), inserção da primeira folha (IPF), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), estatura de campo (EST) e florescimento a campo (FLOR) para as 19 linhagens de trigo duplo-haplóides, FAEM/UFPEL, 2003.

Fonte Variação	GL	REC	ESTpl	QML			QMC	
				IPF	CPF	CSF	EST	FLOR
Bloco	2	4,86	4,62	0,25	0,88	12,49	12,28	0,49
Linhagens DH	18	218,74**	81,58**	3,38**	6,77**	62,60**	856,5**	96,01**
Resíduo	36	7,82	3,52	0,23	0,83	3,36	16,91	2,69
CV (%)	-	8,98	9,98	13,59	11,20	12,14	5,00	1,94
Média	-	31,12	18,80	3,58	8,17	15,10	82,19	84,49
Dispersão	-	13,30	8,31	1,8	4,73	6,43	40	76
	-	53,20	29,22	5,75	13,0	24,71	110	97

\*\* Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F; DH – Duplo-haplóide; QML – Quadrado médio do experimento em laboratório; QMC – Quadrado médio do experimento a campo; GL= graus de liberdade; REC= retomada do crescimento de raiz; ESTpl= estatura de plântula; IPF= inserção da 1ª folha; CPF= comprimento da 1ª folha; CSF= comprimento da 2ª folha; EST= estatura de planta; FLOR= florescimento.

Os testes empregados possibilitaram detectar variabilidade genética entre linhas e permitiram a identificação de genótipos de diferentes estaturas a campo e em hidroponia e distintos níveis de tolerância ao Al<sup>3+</sup>. A linhagem DH6 expressou estatura de plântula reduzida (8,89 cm) quando comparada a DH 7 (17,80 cm) e a campo apresentaram valores médios de estatura de 45 e 83,33 cm, respectivamente. Além disso, evidenciaram os melhores desempenhos quanto ao recrescimento de raiz, superando a cultivar padrão tolerante (BR 35; Tabela 3).

Pode ser percebido que grande parte dos genótipos permaneceram na classe “c” para o caráter recrescimento de raiz, mesma classe da cultivar padrão BR 35 que é tolerante ao Al<sup>3+</sup>, indicando a possibilidade de serem utilizados como fontes de tolerância em hibridações artificiais nos programas de melhoramento genético de trigo.

Os caracteres medidos em laboratório como ESTpl, IPF, CPF e CSF que são prováveis indicadores de estatura de planta a campo, permitiram identificar distintos genótipos incluídos em diferentes classes; entretanto, ao analisar o caráter EST, este apresentou grande parte das constituições genéticas analisadas na classe “b”, o que pode indicar a não concordância de alguns caracteres como indicativo de estatura de planta. Desse modo, o estudo de correlações permitirá

inferir de forma eficiente o grau de associação existente entre cada um dos caracteres analisados tanto em campo como laboratório.

O caráter florescimento apresentou classes que variaram de “a” a “e” com dispersão de dias de emergência a floração variando de 76 a 97 dias, tendo as linhagens DH 14, DH 1, DH 4, DH 5 e DH 15 como as mais precoces, ao contrário dos genótipos DH 13, DH 12 e DH 19 que foram mais tardios.

Uma das críticas ao uso de duplo-haplóides segundo alguns autores, está no limitado número de oportunidades para que ocorra a formação de recombinantes (*crossing over*), principalmente quando obtido a partir de plantas F<sub>1</sub>, ao contrário de sucessivas autofecundações que proporcionam maior oportunidades para quebras de ligação. Entretanto, as linhagens apresentaram diferentes classes quanto aos caracteres estudados, originando diferentes constituições genéticas que apresentaram elevados níveis de tolerância ao Al<sup>3+</sup> e reduzida à intermediária estatura de planta, o que representa uma forte ferramenta para o melhoramento de modo a adequar de forma mais efetiva constituições genéticas em diferentes ambientes.

É possível verificar que os genótipos estudados evidenciaram diferentes valores para ESTpl, onde as

linhagens DH 6 e DH 3 apresentaram médias distintas variando de 8,89 cm e 27,79 cm, respectivamente. Para IPF e CPF a linhagem DH 3 evidenciou o maior valor médio para ambos os caracteres, apresentando mesma classe da cultivar padrão CEP 24 "a" de porte elevado. Entretanto, considerando o caráter IPF, valores reduzidos foram encontrados para o DH 6, DH 15, DH 8, DH 9 e DH 1, de mesma classe das cultivares Anahuac e Sonora 64 "d". Já, para o CPF, os menores valores

médios destacaram as cultivares DH 6, DH 19, DH 11, DH 8, DH 9 e DH 4 de classe "d"; entretanto, superiores as cultivares padrões Anahuac e Sonora 64 de classe "e". Para o CSF é possível discriminar os genótipos DH 18, DH 19 e DH 3 com elevados valores médios "a", ao contrário acontecendo para as linhagens DH 6, DH 1 e DH 4 com reduzidos valores.

Tabela 3 - Média dos caracteres recrescimento de raiz (REC), estatura de plântula (ESTpl), inserção da 1<sup>o</sup> folha (IPF), comprimento da 1<sup>o</sup> folha (CPF), comprimento da 2<sup>o</sup> folha (CSF), estatura de campo (EST) e florescimento a campo (FLOR) nas linhagens de trigo duplo-haplóides incluindo as cultivares padrão tolerantes e sensíveis ao Al<sup>3+</sup> e AG<sub>3</sub>, FAEM/UFPeI, 2003.

Genótipos	REC (mm)	ESTpl (cm)	IPF (cm)	CPF (cm)	CSF (cm)	EST (cm)	FLOR (dias)
DH 6	48,66 a	8,89 f	2,50 d	6,42 d	6,69 d	45 d	90,66 b
DH 7	44,96 a	17,08 c	3,07 c	7,91 c	14,21 c	83,33 b	84,00 d
<b>BR 35</b>	38,01 b	25,23 a	4,22 b	9,37 c	21,58 a	-	-
DH 18	36,80 b	24,79 a	4,64 b	8,20 c	21,82 a	88,33 b	84,33 d
DH 19	35,93 b	27,11 a	4,36 b	7,29 d	23,68 a	88,33 b	93,66 a
DH 12	35,86 b	26,56 a	4,61 b	10,37 b	18,44 b	98,33 a	95,00 a
DH 15	35,83 b	18,77 b	2,53 d	7,88 c	14,91 c	86,66 b	79,66 e
DH 11	35,46 b	15,48 c	3,03 c	6,94 d	12,43 c	88,33 b	86,00 c
<b>CEP 24</b>	35,20 b	20,03 b	4,93 a	12,08 a	14,74 c	-	-
DH 16	35,13 b	18,07 c	4,27 b	8,10 c	13,60 c	88,33 b	85,00 c
DH 17	33,93 b	17,14 c	2,78 c	8,37 c	14,36 c	88,33 b	79,33 e
DH 3	33,43 b	27,79 a	5,12 a	11,91 a	22,27 a	86,66 b	87,33 c
DH 8	31,56 c	17,21 c	2,31 d	6,66 d	14,56 c	91,66 b	79,00 e
DH 9	29,10 c	16,26 c	2,29 d	5,29 d	13,82 c	95 a	83,33 d
DH 2	26,13 d	15,93 c	3,06 c	8,41 c	12,87 c	73,33 c	88,00 c
DH 14	24,90 d	21,13 b	4,31 b	9,90 b	17,15 c	86,66 b	79,33 e
DH 1	23,70 d	11,02 e	2,55 d	7,97 c	7,47 d	48,33 d	78,00 e
DH 4	23,46 d	12,85 d	2,78 c	7,17 d	9,61 d	46,66 d	79,00 e
DH 5	23,26 d	19,51 b	3,52 c	9,22 c	15,33 c	86,66 b	77,00 e
DH 13	17,60 e	21,45 b	5,49 a	8,90 c	18,75 b	103,3 a	93,66 a
DH 10	15,66 e	20,21 b	4,91 a	8,25 c	14,96 c	83,33 b	81,66 d
<b>ANAHUAC</b>	1,556 f	6,01 f	1,76 d	2,57 e	4,05 e	-	-
<b>SONORA 64</b>	1,216 f	8,11 f	1,86 d	3,88 e	6,61 d	-	-

Média dos genótipos seguido de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade de erro; DH = Duplo-haplóide. BR35 (Tolerante ao Al<sup>3+</sup> estatura intermediária), CEP24 (intermediário ao Al<sup>3+</sup> e Alta), ANAHUAC (sensível ao Al<sup>3+</sup> e estatura baixa) e SONORA 64 (sensível e baixo)

Os coeficientes de correlação fenotípica, genética, de ambiente e parcial em geral apresentam valores positivos; porém, em sua maioria não significativos, analisados pelo teste T a 5% de probabilidade de erro e, indicando que grande parte dos caracteres que estão associados ao recrescimento de raiz não estão relacionados; entretanto, para as associações que indicam caracteres que determinam a estatura de planta em laboratório e a campo apresentaram adequada associação (Tabela 4).

O maior grau de associação foi detectado entre estatura de plântula e o comprimento da 2<sup>a</sup> folha ( $r_P=0,96$ ,  $r_G=0,98$  e  $r_p=0,91$ ), o que permite estabelecer uma alta concordância entre ambos as associações e parecer evidente a hipótese de que ESTpl pode ser empregada como mecanismo de seleção para a obtenção de plantas de porte reduzido, a partir do momento que representa uma forma mais fácil e eficaz de medida do que o comprimento da segunda folha. Entretanto, FEDERIZZI et al. (1988) e CANCI et al. (1997) verificaram que a diferença entre a inserção da primeira e segunda folha pode ser empregada como bom critério de avaliação da

sensibilidade ao ácido giberélico em trigo sob cultivo hidropônico.

Pode ser percebido que há uma elevada concordância na direção e magnitude entre  $r_P$  e  $r_G$  para os caracteres avaliados; além disso, a superioridade verificada da  $r_G$  em relação a  $r_P$  e  $r_E$ , o que é extremamente útil em programas de melhoramento de forma a distinguir e quantificar a correlação genética herdável entre os caracteres estudados.

Por outro lado, a Correlação parcial fenotípica ( $r_{pp}$ ) não apresentou concordância para a maioria das associações, o que nos permite deduzir ser um modelo matemático menos eficiente do que a correlação genética, de modo que a correlação parcial fenotípica permite eliminar o efeito de outras variáveis sobre as associações estudadas, mas não o efeito de ambiente, o que representa ser menos confiável na direção e grandeza das associações.

Resultado de grande importância também foi a associação existente entre estatura de plântula com a estatura de planta medida a campo ( $r_P= 0,70^*$ ,  $r_G=0,72^*$ ) e apresentando uma reduzida  $r_E=-0,06$ ; entretanto, evidenciou

$r_p$  de 0,21 demonstrando ocorrer diferenças relevantes entre as correlações o que pode induzir a erros na tomada de decisões no direcionamento da seleção indireta. Além disso, antes da prática de seleção indireta desses caracteres, é necessário também determinar a herdabilidade de cada caráter, isto porque segundo FALCONER (1987), além de elevada correlação genética que deve existir, o caráter secundário no qual a seleção será praticada deve possuir herdabilidade superior ao caráter principal.

Tabela 4 - Estimativa dos coeficientes de correlação fenotípica ( $r_p$ ), genética ( $r_G$ ) de ambiente ( $r_E$ ) e parcial ( $r_{pP}$ ) entre sete caracteres avaliados nas linhagens duplo-haplóides obtidas do cruzamento entre EMBRAPA 16 X TB 462, FAEM, UFPEI, 2003.

Associações	$r_p$	$r_G$	$r_E$	$r_{pP}$
REC X ESTpl	-0,05	-0,04	-0,18	0,003
REC X IPF	-0,28	-0,29	-0,18	-0,55*
REC X CPF	-0,18	-0,21	0,20	0,12
REC X CSF	-0,02	-0,03	0,13	0,12
REC X EST	-0,11	-0,12	0,05	-0,15
REC X FLOR	0,29	0,31	-0,34	0,53*
ESTpl X IPF	0,77*	0,78*	0,64*	0,04
ESTpl X CPF	0,62*	0,66*	0,20	0,57*
ESTpl X CSF	0,96*	0,99*	0,38	0,91*
ESTpl X EST	0,70*	0,72*	-0,06	0,21
ESTpl X FLOR	0,40	0,41	0,16	0,15
IPF X CPF	0,67*	0,75*	-0,12	0,42
IPF X CSF	0,72*	0,75*	0,20	0,14
IPF X EST	0,48*	0,51*	-0,08	-0,05
IPF X FLOR	0,49*	0,50*	0,20	0,58*
CPF X CSF	0,50*	0,53*	0,21	-0,49*
CPF X EST	0,26	0,29	-0,04	-0,23
CPF X FLOR	0,15	0,18	-0,28	-0,35
CSF X EST	0,71*	0,74*	-0,07	0,06
CSF X FLOR	0,38	0,40	-0,03	-0,17
EST X FLOR	0,23	0,24	0,08	0,01

REC (recrescimento de raiz), ESTpl (estatura de plântula), IPF (inserção da 1ª folha), CPF (comprimento da 1ª folha), CSF (comprimento da 2ª folha), EST (estatura de planta) e FLOR (florecimento)

\* Significativo a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t, a n-2 G.L.

O caráter inserção da primeira folha (IPF) apresentou significância na maioria das associações tanto na correlação fenotípica quanto genética, o mesmo não acontecendo para a correlação parcial fenotípica: IPF x ESTpl ( $r_p=0,77^*$ ;  $r_G=0,78^*$   $r_{pP}=0,04$ ), IPF x CPF ( $r_p=0,67^*$ ;  $r_G=0,75^*$   $r_{pP}=0,42$ ), IPF x CSF ( $r_p=0,72^*$ ;  $r_G=0,75^*$   $r_{pP}=0,14$ ), IPF x EST ( $r_p=0,48^*$ ;  $r_G=0,51^*$   $r_{pP}=-0,05$ ), IPF x FLOR ( $r_p=0,49^*$ ;  $r_G=0,50^*$   $r_{pP}=0,58^*$ ) e IPF x REC ( $r_p=-0,28$ ;  $r_G=0,29$   $r_{pP}=-0,58^*$ ). Além disso, na associação entre ESTpl x IPF, apesar da correlação fenotípica e genotípica serem positivas a correlação de ambiente foi elevada e significativa, indicando que num programa de melhoramento levando em consideração essa associação a seleção indireta deve ser realizada em ambientes uniformes.

Existe uma elevada correlação entre comprimento da segunda folha (CSF) com a estatura de plântula (ESTpl) a campo para os três métodos de correlação ( $r_p=0,96$ ,  $r_G=0,98$  e  $r_{pP}=0,91$ ) e a associação existente entre comprimento da segunda folha e estatura de planta a campo pode representar uma eficiente ferramenta de seleção indireta, evidenciando também uma elevada correlação fenotípica e genética ( $r_p=0,71$ ;  $r_G=0,74$ ); entretanto, comparando com a correlação

parcial fenotípica apresentou uma associação não significativa ( $r_{pP}=0,06$ ).

Tanto a correlação fenotípica quanto a genética poderiam ser utilizadas para obter os coeficientes de trilha (CARVALHO, 1994); entretanto, a correlação fenotípica apresenta causas genéticas e de ambiente; porém, só a genética envolve uma associação de natureza herdável, podendo ser utilizadas nos programas de melhoramento. Desse modo, somente estimativas de correlações genéticas entre os caracteres avaliados foram utilizadas para a obtenção dos coeficientes de trilha.

Na Tabela 5, estão inseridos os efeitos diretos e indiretos das estimativas de coeficientes de trilha dos componentes indicativos da insensibilidade ao ácido giberélico e tolerância ao  $Al^{3+}$  tóxico em cultivo hidropônico sobre a variável principal estatura de planta a campo (EST).

O desdobramento do coeficiente de trilha permitiu confirmar a elevada correlação existente entre CSF x EST ( $r_p=0,71^*$ ;  $r_G=0,74^*$   $r_{pP}=0,06$ ) através do mais alto efeito direto sobre EST que foi 0,94, revelando ser uma importante estratégia de seleção na identificação de genótipos de estatura reduzida; além disso, permitiu evidenciar a discrepância de associação obtida pela correlação parcial.

As associações obtidas na Tabela 4, utilizando o recrescimento de raiz (REC) evidenciaram falta de associação com os caracteres empregando a correlação genética e fenotípica: REC x ESTpl ( $r_p=-0,05$ ;  $r_G=-0,04$ ), REC x IPF ( $r_p=-0,28$ ;  $r_G=-0,29$ ), REC x CPF ( $r_p=-0,18$ ;  $r_G=-0,21$ ), REC x CSF ( $r_p=-0,02$ ;  $r_G=-0,03$ ), REC x EST ( $r_p=-0,11$ ;  $r_G=-0,12$ ), REC x FLOR ( $r_p=0,29$ ;  $r_G=-0,31$ ); entretanto, nas correlações parciais fenotípicas REC x IPF ( $r_{pP}=-0,55^*$ ) e REC x FLOR ( $r_{pP}=-0,53^*$ ). No entanto, ao verificar o desdobramento dessas correlações pela análise de trilha Tabela 5, é observado uma reduzida associação do recrescimento de raiz (REC) em seus efeitos diretos e indiretos com os caracteres EST (-0,158), ESTpl (0,001), IPF (0,036), CPF (0,028), CSF (-0,031) e FLOR (0,005).

O caráter estatura de plântula que apresentou elevada correlação genética com estatura de planta ( $r_G=0,72$ ) não evidenciou elevada associação em seu efeito direto com EST (-0,039), porém apresentou forte associação indireta com o caráter CSF (0,93), o mesmo acontecendo com IPF que expressou valores significativos quando associado com EST, entretanto, o efeito direto foi reduzido (-0,124) apresentando elevado efeito indireto com o caráter CSF (0,711), demonstrando que apesar das correlações apresentarem grau elevado de associação, nem sempre exprimem verdadeiras relações de causa e efeito, acarretando em prejuízos na seleção indireta.

O caráter CPF que evidenciou correlação genética significativa com o caráter CSF de 0,53 apresentou reduzido efeito direto sobre o caráter estatura; entretanto, elevado efeito indireto sobre o caráter CSF (0,50). Contudo, o caráter FLOR apresentou efeito direto e indireto reduzido em todas as associações.

Caracteres que apresentam, em geral coeficientes de correlação genética positivos e efeito direto negativo sobre a variável principal podem não evidenciar ganhos satisfatórios; entretanto, a alta associação genética permite estabelecer a hipótese que a mesma pode ser determinada por efeitos indiretos. Nesse sentido, efeitos indiretos positivos e de elevada magnitude, como os observados entre os caracteres ESTpl e CSF (0,93), IPF e CSF (0,71), CPF e CSF (0,50) foram os prováveis responsáveis pela baixa estimativa dos

efeitos diretos, indicando essas variáveis como determinantes do comportamento da variável básica.

Tabela 5 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha através de correlações genótípicas sobre os caracteres indicativos da estatura de planta recrescimento de raiz em 19 linhagens de trigo duplo-haplóides, FAEM/UFPeI, 2003

Caracteres <sup>1</sup>	Vias de associação	Coeficientes de trilha		Coeficiente de correlação
		Efeito direto	Efeito indireto	
REC	Efeito direto sobre EST	-0,158	-	-0,117
	Efeito indireto via ESTpl		0,001	
	Efeito indireto via IPF		0,036	
	Efeito indireto via CPF		0,028	
	Efeito indireto via CSF		-0,031	
	Efeito indireto via FLOR		0,005	
	TOTAL (direto e indireto)			
ESTpl	Efeito direto sobre EST	-0,039	-	0,728
	Efeito indireto via REC		0,007	
	Efeito indireto via IPF		-0,097	
	Efeito indireto via CPF		-0,087	
	Efeito indireto via CSF		0,938	
	Efeito indireto via FLOR		0,007	
	TOTAL (direto e indireto)			
IPF	Efeito direto sobre EST	-0,124	-	0,511
	Efeito indireto via REC		0,046	
	Efeito indireto via ESTpl		-0,031	
	Efeito indireto via CPF		-0,099	
	Efeito indireto via CSF		0,711	
	Efeito indireto via FLOR		0,008	
	TOTAL (direto e indireto)			
CPF	Efeito direto sobre EST	-0,131	-	0,28
	Efeito indireto via REC		0,034	
	Efeito indireto via ESTpl		-0,026	
	Efeito indireto via IPF		-0,094	
	Efeito indireto via CSF		0,502	
	Efeito indireto via FLOR		0,003	
	TOTAL (direto e indireto)			
CSF	Efeito direto sobre EST	0,94	-	0,749
	Efeito indireto via REC		0,005	
	Efeito indireto via ESTpl		-0,039	
	Efeito indireto via IPF		-0,094	
	Efeito indireto via CPF		-0,070	
	Efeito indireto via FLOR		0,006	
	TOTAL (direto e indireto)			
FLOR	Efeito direto sobre EST	0,173	-	0,242
	Efeito indireto via REC		-0,049	
	Efeito indireto via ESTpl		-0,016	
	Efeito indireto via IPF		-0,063	
	Efeito indireto via CPF		-0,023	
	Efeito indireto via CSF		0,377	
	TOTAL (direto e indireto)			
	Coeficiente de determinação		0,597	
	Efeito da variável residual		0,634	

REC= recrescimento de raiz, EST= estatura de planta, FLOR= florescimento, ESTpl= estatura de plântula, IPF= inserção da 1<sup>o</sup> folha, CPF= comprimento da 1<sup>o</sup> folha e CSF= comprimento da 2<sup>o</sup> folha.

Situação interessante foi observada para a associação entre CSF x EST que apresentou correlação genética de 0,74; entretanto, quando verificado seu efeito sobre a variável principal EST, apresentou efeito direto de 0,94, confirmando a elevada associação encontrada nas correlações; determinando CSF e EST como caráter mais efetivo e de maior associação e não ESTpl x CSF como verificado

anteriormente na Tabela de correlação ( $r_P=0,96$ ,  $r_G=0,98$  e  $r_p=0,91$ ).

Segundo BENIN et al., (2003) as associações e os efeitos diretos e indiretos das variáveis analisadas podem apresentar diferentes associações em relação as constituições genéticas analisadas, o que demonstra a necessidade de maior conhecimento das relações entre genitores utilizados em hibridações em programas de melhoramento genético, o que

pode possibilitar a escolha mais criteriosa de estratégias de seleção a serem empregadas, fundamentais para a otimização do ganho genético.

O coeficiente de determinação do modelo da análise de trilha indica que as variações da EST são 59% explicadas pelo efeito dos caracteres analisados, possibilitando estimativas satisfatórias das variáveis analisadas.

## CONCLUSÕES

Para seleção de plantas de baixa estatura o melhor indicativo é o comprimento da segunda folha em laboratório que evidencia uma alta correlação com o porte de planta a campo.

As correlações simples não expressam qualidade para a seleção indireta, havendo a necessidade de desdobramento das associações em efeitos diretos e indiretos.

A correlação parcial não assegura eficiência na seleção, sendo portanto, necessário o emprego da correlação genética.

## ABSTRACT

*Assumptions on the magnitude and direction of associations between characters may lead to errors on selection strategies, since a single correlation does not identify direct and indirect effects of a group of characters in relation to a given character of major importance, not allowing to confirm if there is a true relationship of cause and effect. This study was conducted aiming to compare estimates of phenotypic, genetic, environmental and partial correlations between plant stature measured on the field and  $Al^{3+}$  tolerance and  $AG_3$  insensibility measured in the laboratory. Furthermore, to partition the genetic correlation in direct and indirect effects through path analysis in order to verify the reliability of associations between the studied characters. Nineteen wheat double haploid lines were tested in hydroponics and in the field in randomized block design with three replication. The partial correlation does not assure efficiency in the indirect selection, what can be solved by using genetic correlation. However, there is the necessity of partitioning the associations in direct and indirect effects and the length of the second leaf in the lab indicates a high association with plant stature measured in the field.*

*Key word: indirect selection, root regrowth, gibberellic acid and gynogenesis.*

## REFERÊNCIAS

BENIN, G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; et al. Estimativas de correlações e coeficientes de trilha como

critérios de seleção para rendimento de grãos em aveia. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.9, p.09-16, 2003.

CAMARGO, DE O.C.E.; OLIVEIRA, O.F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, Campinas, v.40, p.21-23, 1981.

CANCI, P.C.; CARVALHO, F.I.F.; BARBOSA NETO, J.F. et al. Diferentes ambientes para a avaliação de sensibilidade ao ácido giberélico em genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.1, p.21-25, 1997.

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.

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.

DORNELLES, A.L.C.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C. et al. Avaliação simultânea para tolerância ao alumínio e sensibilidade ao ácido giberélico em trigo hexaplóide. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.9, p. 363-366, 1997.

FALCONER, D.S. **Introdução a genética quantitativa**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1987, 279 p.

FEDERIZZI, L.C.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, M.A.R. et al. Avaliação da resposta de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) de diferentes estaturas à aplicação de ácido giberélico nos estádios de plântula. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.18, n.2, p. 183-193, 1988.

MORAES-FERNANDES, M.I.B. Obtenção de plantas haplóides através da cultura de anteras. In: TORRES, A.C.; CALDAS, L.S. (Eds). **Técnicas e aplicações da cultura de tecidos de plantas**. Brasília: EMBRAPA-CNPq, 1990. p.311-332.

SILVA, J.A.G. **Produção de haplóides e obtenção de duplo-haplóides em trigo submetido a cultura hidropônica para seleção de caracteres de importância agrônômica**. Pelotas, 2003, 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Fitomelhoramento). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.20, p.557-585, 1921.