

# MELHORAMENTO GENÉTICO VEGETAL

## ANÁLISE DE TRILHA PARA OS COMPONENTES DE RENDIMENTO DE GRÃOS EM TRIGO <sup>(1)</sup>

SIMONE ALVES SILVA <sup>(2)</sup>; FERNANDO IRAJÁ FÉLIX DE CARVALHO <sup>(3)</sup>; JORGE LUÍS NEDEL <sup>(3)</sup>;  
PEDRO JACINTO CRUZ <sup>(2)</sup>; JOSÉ ANTÔNIO GONZÁLEZ DA SILVA <sup>(4)</sup>;  
VANDERLEI DA ROSA CAETANO <sup>(5)</sup>; IRINEU HARTWIG <sup>(5)</sup>; CÁSSIA DA SILVA SOUSA <sup>(6)</sup>

### RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito dos caracteres número de espiga por planta, número de grãos por espiga, massa média de grãos, tamanho da espiga e número de espiguetas por espiga sobre o rendimento de grãos, em trigo (*Triticum aestivum* L.) diferenciado quanto à presença e ausência do caráter “Stay-green”, através de seus coeficientes de correlação e sua decomposição por meio da análise de trilha. Foram utilizados sete genótipos, obtidos através de avanços de gerações de 1999 a 2001, utilizando duas épocas de semeadura por ano, na estação de verão e inverno, sob condições de campo e telado, na Universidade Federal de Pelotas, RS. O experimento foi desenvolvido em delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. A análise de trilha permite identificar o componente primário MMG, como o de maior potencial para seleção de constituições genéticas superiores para rendimento de grãos.

**Palavras-chave:** produtividade, enchimento de sementes, variabilidade.

### ABSTRACT

#### PATH ANALYSIS FOR THE YIELD COMPONENTS OF SEEDS IN WHEAT

The purpose of this work was to estimate the effect of the ear number per plant, number of seeds per ear, seed weight, size of the ear and spikiest number per ear in relation to the grain yield through its correlation coefficients and its decomposition by the path analysis. The genotypes were obtained through the advances generation in the years from 1999 to 2001, using two sowing dates per year, in the warm and cold season, in the field and in green-house conditions, at the Federal University of Pelotas, RS. The experiment was conducted as a randomized complete block design with five replications. The characters spikiest number for spike and hectoliter weight were identified by the path analysis, as being the one of high potentiality for selection of superior genetic constitutions for seed yield seeds.

**Key words:** productivity, seed filling, variability.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 29 de dezembro de 2003 e aceito em 29 de dezembro 2004.

<sup>(2)</sup> Departamento de Fitotecnia, Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia (AGR-UFBA), Campus Universitário, 94380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: sas@ufba.br; cruzpj@ig.com.br

<sup>(3)</sup> Departamento de Fitotecnia, UFPel. Caixa Postal 354, 96001-970 Pelotas, RS.

<sup>(4)</sup> Pesquisador da Embrapa Clima Temperado (EMBRAPA/CPACT). Pelotas, RS.

<sup>(5)</sup> Estudante de Graduação em Agronomia, Bolsista de Iniciação Científica do CNPq.

<sup>(6)</sup> Estudante de Graduação em Agronomia, Bolsista PET/SESu/MEC.

## 1. INTRODUÇÃO

O caráter “stay-green” tem sido utilizado como alternativa para promover redução da senescência em trigo (*Triticum aestivum* L.) em razão de maior permanência da área verde de folhas e colmos e, conseqüentemente, aumento no período de enchimento até a total formação dos grãos. O colmo e as folhas permanecem verdes até o completo enchimento dos grãos, que corresponde ao período da antese até a maturidade fisiológica, o que constitui estratégia eficiente na potencialização da disponibilidade de assimilados para a espiga e, conseqüentemente, na elevação do rendimento de grãos, principalmente o componente massa média do grão (SILVA et al., 2003).

O enchimento do grão começa nas espiguetas centrais e progride até as basais e distais da inflorescência (SLAFER et al., 1994; RODRIGUES, 2000). Nesse momento, a área foliar verde tem grande importância como tecido fotossintetizante ativo, proporcionando maior partição dos assimilados, no enchimento do grão.

O caráter “stay-green” tem sido objeto de estudo em diferentes espécies cultivadas, revelando correlações positivas com o rendimento de grãos e seus componentes (THOMAS e SMART, 1993; TENKAUANO et al., 1993; WALULU et al., 1994; e CUKADAR-OLMEDO e MILLER, 1997). Esse caráter foi utilizado por McBEEN et al. (1983) como alternativa para promover uma progressiva redução da senescência em sorgo, resultando em efetivo aumento funcional da área foliar, na duração da capacidade fotossintética das folhas e colmos, após a maturidade fisiológica, promovendo maior enchimento do produto final, que é o grão.

O rendimento de grãos de várias culturas tem sido descrito como produto de vários componentes de rendimento (DEWEY e LU, 1959; FRANCO e CARVALHO, 1989; NEDEL, 1994). Em cereais, com uma população de plantas constante, o rendimento de grãos pode simplesmente ser obtido pelo produto de três componentes principais: número de espigas por unidade de área, número de grãos por espiga e massa média do grão, e esses três componentes, até certo limite, variam independentemente um do outro.

FRANCO e CARVALHO (1989), trabalhando com trigo, relataram que o número de grãos por espiga foi o componente de rendimento mais influenciado pelo melhoramento genético do trigo. Para incrementar a produtividade, parece ser necessário que os programas de melhoramento genético devam se orientar no aproveitamento da importância relativa dos componentes de rendimento.

O conhecimento da correlação entre caracteres pode ser primordial quando o objetivo é a seleção simultânea de caracteres, ou quando um caráter de interesse revelar baixa herdabilidade, sendo de difícil identificação e resposta para obter ganho genético (SANTOS e VENCovsky, 1986). Ao selecionar um caráter de alta herdabilidade, de fácil aferição e identificação, e que evidencie alta correlação com o caráter desejado, o melhorista poderá obter progressos mais rápidos em relação ao uso de seleção direta (FALCONER e MACKEY, 1996).

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, que segundo CRUZ e REGAZZI (1997), é estabelecido pelo conhecimento prévio do pesquisador de sua importância e de possíveis inter-relações expressas em diagramas de trilha. O sucesso dessa análise reside basicamente na formulação do relacionamento de causa-efeito entre os caracteres.

Assim, os objetivos deste trabalho foram avaliar a influência dos componentes do rendimento na produção de grãos de plantas providas do caráter “stay-green” e de maturação sincronizada, estimar o efeito dos coeficientes de correlações entre o rendimento de grãos e seus componentes, assim como a decomposição dos coeficientes de correlação genética por meio da técnica de análise de trilha, possibilitando observar os efeitos diretos e indiretos de um caráter sobre o outro. Essa estratégia é de grande importância em otimização de ganho genético no melhoramento de plantas de trigo para o aumento da produtividade de grãos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os genótipos utilizados no trabalho foram obtidos através de avanços de gerações de 1999 a 2001, utilizando duas épocas de semeadura por ano, na estação de verão e inverno, sob condições de campo e telado. Por meio de autofecundação, até a geração  $F_6$ , foram obtidos genótipos com presença e ausência do caráter “stay-green”, sendo eles:  $F_6$ -SG e  $F_6$ -SZ, sendo consideradas linha isogênica desprovida do caráter, ambas na geração  $F_6$ ; foram realizados dois retrocruzamentos, até a geração  $F_6$ , obtendo os genótipos  $RC_1F_6$ -SG,  $RC_1F_6$ -SZ,  $RC_2F_6$ -SG e  $RC_2F_6$ -SZ para a presença e ausência do caráter “stay-green”; o genótipo-padrão CEP 27 foi empregado pelo seu elevado potencial produtivo.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com cinco repetições. A unidade experimental foi composta de três fileiras de 3 m de comprimento, utilizando uma densidade de semeadura de 160 sementes viáveis por m<sup>2</sup>. As dimensões para cada parcela foram de 3,0 x 0,9 m, com espaçamento de 0,3 m entre linhas. A semeadura foi efetuada manualmente e logo após a emergência das plântulas, foi realizada adubação conforme recomendações técnicas para a cultura (REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 1999).

O controle de invasoras foi efetuado por capinas manuais e aplicação de herbicida de pós-emergência; para o controle de moléstias da parte aérea, foi aplicado fungicida, além de inseticida para controle de insetos durante o alongamento do trigo e no início e fim da floração.

Foram avaliados os caracteres rendimento de grãos (REN), determinado por meio da colheita e pesagem dos grãos em uma área de três linhas centrais de cada parcela; o caráter número de espigas por planta (NEP), defini do pela contagem das espigas, em área de um metro linear no período da inflorescência; o número de grãos por espiga (NGE), o número de espiguetas por espiga (NEGE) e o tamanho da espiga (TES), obtidos pela média de dez espigas coletadas ao acaso, nas três linhas centrais, e a massa média de grão (MMG), estabelecida por meio da pesagem de cem grãos.

Para análise estatística, foram aplicados testes de variância dos dados para cada caráter avaliados, e estimadas as correlações fenotípicas, genotípicas e

de ambiente pelo método proposto por STEEL e TORRIE (1980) a 5% de significância pelo teste t, a n-2 G.L. Posteriormente os efeitos diretos e indiretos foram estimados pelo método de análise de trilha ou "path analysis", desenvolvido por WRIGHT (1921) e aperfeiçoado por LI (1981). Considerou-se o modelo causal, descrito por CRUZ e REGAZZI (1997) como análise de regressão padronizada, útil no desdobramento dos coeficientes de correlação em efeito direto e indireto, considerando os componentes primários como número de espiga por planta (NEP), número de grãos por espiga (NGE) e massa média de grão (MMG) e os componentes secundários como o tamanho da espiga (TES) e o número de espiguetas por espiga (NEGE), sendo TES como de relação de causa e efeito com os três componentes primários logaritimizadas e NEGE como variável explicativa da logaritmização de NGE e MMG. Como a relação entre as variáveis explicativas (NEP, NGE e MMG) e a variável básica é estruturalmente multiplicativa, os dados foram transformados para a escala Logarítmica (CRUZ e REGAZZI, 1997), sendo a equação de  $\log(Y) = \log(P1) + \log(P2) + \log(P3)$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreu diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre genótipos para os seis caracteres testados, demonstrando provável presença de variabilidade entre os genótipos avaliados. Os coeficientes de variação foram baixos, demonstrando pouca participação do erro experimental e, conseqüentemente, maior confiabilidade nos resultados (Tabela 1).

**Tabela 1.** Médias, coeficientes de variação e quadrado médios da análise de variância dos caracteres número de espigas por planta (NEP), número de grãos por espiga (NGE), massa média de grãos (MMG), tamanho da espiga (TES), número de espiguetas por espiga (NEGE) e rendimento de sementes (REN)

Fontes de Variação	G.L	Quadrado Médio					
		NEP	NSE	MMS	TES	NEGE	REN
		n.º		g	cm	n.º	kg ha <sup>-1</sup>
Bloco	4	2,36	13,26	26,57	0,20	0,28	3.769,33
Genótipo	6	0,62*	161,34*	82,53*	5,72*	2,95*	22.507,40*
Resíduo	24	0,12	28,96	2,01	0,17	0,15	4.425,10
Média	-	3,59	50,43	34,15	10,89	9,92	3.705,10
CV (%)	-	9,65	10,67	4,19	3,77	3,91	17,95

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

As estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica ( $r_p$ ), genotípicas ( $r_G$ ) e de ambiente ( $r_E$ ), para os caracteres avaliados (Tabela 2) possibilitou avaliar a magnitude e o direcionamento das influências de um caráter sobre o outro, dando um indicativo simples de associação entre os caracteres analisados. As correlações genéticas mostram ser, em sua maioria, superiores às correlações fenotípicas e as de ambiente. Essa superioridade é comentada por GONÇALVES et. al. (1996) como resultante dos efeitos modificadores do ambiente na associação dos caracteres genéticos. A maior correlação genética encontrada foi entre os caracteres MMG x NGE (-0,87). Esse fato evidenciou que esses caracteres encontram-se inversamente relacionados, visto que quanto menor o NGE, maior será a massa média de grãos (MMG).

Os coeficientes de correlação entre os NEP, MMG e REN com os caracteres NGE, TES e NEGE (Tabela 2), em sua maioria, foram negativos e significativos estatisticamente, o que demonstra haver associação inversa para a seleção de genótipos de alto rendimento. Quanto maior o número de grãos por espiga (NGE), maior o tamanho dessa espiga (TES) e maior o número de espiguetas por espiga (NEGE), determinará menor NEP, MMG e REN. Tais resultados

estão de acordo com os obtidos, analisando cada genótipo separadamente pela comparação de médias (Tabela 2); os genótipos com maior NGE, TES e NEGE obtiveram menor NEP, MMG e REN.

A análise de trilha proporciona um conhecimento detalhado das influências dos caracteres envolvidos em um diagrama previamente estabelecido, e justifica a existência de correlações positivas e negativas, de altas e baixas magnitudes entre os caracteres estudados. Assim, o desdobramento em efeitos diretos e indiretos dos coeficientes das correlações genéticas entre os caracteres em estudo, está inserido na Tabela 3. Entre os caracteres envolvidos no desdobramento das correlações, o caráter massa média de grãos (MMG) revelou ter alto efeito direto sobre o rendimento de grãos ( $r = 0,09$ ). Essa estimativa corresponde à magnitude do valor do coeficiente de correlação com o rendimento de grãos (0,78), os quais evidenciam magnitudes e sinais iguais, permitindo estabelecer a hipótese da verdadeira existência de uma associação entre esses caracteres. Segundo VENCOSKY e BARRIGA (1992) quando ocorre uma seleção direta sobre o referido caráter (MMG), será eficiente para melhorar o rendimento de grãos.

**Tabela 2.** Estimativa dos coeficientes de correlações fenotípicas ( $r_p$ ), genotípicas ( $r_G$ ) e de ambiente ( $r_E$ ) entre seis caracteres avaliados em sete genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.)

Caracteres		n.º		g		n.º	kg ha <sup>-1</sup>
		NEP	NGE	MMG	TES	NEGE	REN
NEP	$r_p$	1	0,92*	0,55*	-0,38*	-0,55*	0,52*
	$r_G$	1	-	0,59*	-0,46*	-0,65*	0,61*
	$r_E$	1	0,23	0,35	0,08	-0,00	0,22
NGE	$r_p$	-	1	-0,78*	0,61*	0,78*	-0,54*
	$r_G$	-	1	-0,87*	0,68*	0,85*	-0,77*
	$r_E$	-	1	0,19	-0,01	0,28*	0,42*
MMG	$r_p$	-	-	1	-0,53*	-0,96*	0,71*
	$r_G$	-	-	1	-0,54*	-	0,78*
	$r_E$	-	-	1	-0,04	0,12	0,54*
TES	$r_p$	-	-	-	1	0,51*	-0,38*
	$r_G$	-	-	-	1	0,51*	-0,44*
	$r_E$	-	-	-	1	0,61*	-0,05
NEGE	$r_p$	-	-	-	-	1	-0,68*
	$r_G$	-	-	-	-	1	-0,86*
	$r_E$	-	-	-	-	1	0,22

NEP = número de espigas por planta; NGE = número de grãos por espigas; MMG = massa média de grãos; TES = tamanho da espiga; REN = rendimento de grãos.

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Para o caráter número de espigas por planta (NEP), com coeficiente de correlação de 0,61 positivo e com efeito direto negativo (-0,04) sobre o rendimento de grãos, verifica-se que a pressão de seleção intensificada sobre o NEP poderá não proporcionar ganhos genéticos satisfatórios no rendimento; conseqüentemente, essa alta correlação genética permite formular a hipótese, a qual é causada principalmente pelos efeitos indiretos (Tabela 3). Nessa situação, caracteres causais indiretos e significativos, devem ser considerados simultaneamente no processo de seleção como sugerido por CRUZ e REGAZZI (1997).

Situação inversa é observada avaliando o caráter TES, de correlação pronunciadamente negativa

(-0,44), mas o efeito direto moderadamente positivo (0,01), indicando ausência de causa e efeito. Em tal circunstância, é necessário aplicar uma seleção restrita, como sugerido por VENCOSKY e BARRIGA (1992), a fim de eliminar os efeitos indiretos indesejáveis para aproveitar o efeito direto existente.

A correlação genética entre NEP e o REN foi relativamente alta e positiva (0,61). Entretanto, o efeito direto sobre o rendimento foi inexpressivo (-0,04). Certamente nessa situação, os efeitos indiretos positivos e altos, como o caráter NGE (0,34) e NEGE (0,27) contribuíram para a alta correlação entre os caracteres NEP e REN, sendo, portanto, os caracteres que devem ser simultaneamente considerados para seleção no caráter REN.

**Tabela 3.** Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de rendimento sobre o rendimento de sementes em linhas quase isogênicas de trigo “*stay-green*” e sincronizado, obtidas a partir dos dados transformados para a escala logarítmica

Caráter	Vias de associação	Coeficientes de trilha com colinearidade		Coeficiente de correlação
		Efeito direto	Efeito indireto	
NEP	Efeito direto sobre REN	-0,04	-	-
	Efeito indireto via NGE	-	0,34	-
	Efeito indireto via MMG	-	0,05	-
	Efeito indireto via TES	-	-0,01	-
	Efeito indireto via NEGE	-	0,27	-
	Total (direto e indireto)	-	-	0,61
NGE	Efeito direto sobre REN	-0,30	-	-
	Efeito indireto via NEP	-	0,05	-
	Efeito indireto via MMG	-	-0,08	-
	Efeito indireto via TES	-	0,01	-
	Efeito indireto via NEGE	-	-0,36	-
	Total (direto e indireto)	-	-	-0,77
MMG	Efeito direto sobre REN	0,09	-	-
	Efeito indireto via NEP	-	-0,03	-
	Efeito indireto via NGE	-	0,26	-
	Efeito indireto via TES	-	-0,01	-
	Efeito indireto via NEGE	-	0,43	-
	Total (direto e indireto)	-	-	0,78
TES	Efeito direto sobre REN	0,01	-	-
	Efeito indireto via NEP	-	0,02	-
	Efeito indireto via NGE	-	-0,20	-
	Efeito indireto via MMG	-	-0,05	-
	Efeito indireto via NEGE	-	-0,21	-
	Total (direto e indireto)	-	-	-0,44
NEGE	Efeito direto sobre REN	-0,42	-	-
	Efeito indireto via NEP	-	0,03	-
	Efeito indireto via NGE	-	-0,26	-
	Efeito indireto via MMG	-	-0,09	-
	Efeito indireto via TES	-	0,01	-
	Total (direto e indireto)	-	-	-0,86

#### 4. CONCLUSÕES

1. Existem diferenças entre os genótipos avaliados, demonstrando presença de variabilidade genética.

2. A maior correlação genética negativa encontrada foi entre os caracteres MMG X NGE, visto que, quanto menor o NGE maior será a MMG.

3. A análise de trilha permite identificar o componente primário MMG, como o de maior potencial para seleção de genótipos superiores para o rendimento de grãos.

#### REFERÊNCIAS

- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2 ed. Viçosa: UFV, 1997, 390p.
- CUKADAR-OLMEDO, B; MILLER, J.F. Inheritance of the stay-green trait in sunflower. **Crop Science**, Madison, v.37,p.150-153, 1997.
- DEWEY, D.R; LU, K.H. A correlation path coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. **Agronomy Journal**, Madison, v.51, p.515-518, 1959.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, J.F.C. **Introduction to Quantitative Genetics**. 4.ed. Malaysia: Lonman, 1996, 464p.
- FRANCO, F.A; CARVALHO, F.I.F. Estimativa do progresso genético no rendimento de grãos de trigo e sua associação com diferentes caracteres sob o efeito de variação no ambiente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, p.311-321, 1989.
- GONÇALVES, P.S; MARTINS, A.L.M; BORTOLLETO, N; TANZIZI, M.R. Estimates of genetics parameters and correlations of juvenile caracteres based on open pollinated of Hevea. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v.19, n.1, p.105-111, 1996.
- LI, C.C. **Path analysis: a primer**. 3 ed. Pacific Grove: Boxwood Press, 1981. 347p.
- McBEEN, G.G; WASKOM, R.M; MILLER, F.R; CREGLMAN, R.A. Effect of Senescence and nonsenescence on carbohydrates in sorghum during late kernel maturity states. **Crop Science**, Madison, v.23, p.372-376, 1983.
- NEDEL, J.L. Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançado entre 1940 a 1992. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.10, p.1565-1570, 1994.
- REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 31.,1999, Passo Fundo. Recomendações da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo. Passo Fundo, 1999. 89p.
- RODRIGUES, O. Manejo de Trigo: bases ecofisiológicas. In: CUNHA, G.R.; BACALTCHUK, B. **Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Assembléia Legislativa do Rio Grande do Sul, 2000. p.120-169. (Série Culturas- Trigo)
- SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. Correlação fenotípica e genética entre alguns caracteres agrônômicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Ciência e Prática**, São Paulo, v.10, n.3, p.265-272, 1986.
- SLAFER, G.A.; SATORRE, E.H. Increase in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: SLAFER, G.A. **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Decker, 1994. p.1-68.
- SILVA, S.A; CARVALHO, F.I.F; NEDEL, J.L; CRUZ, P.J; PESKE, S.T; SIMIONI, D; CARGNIN, A. Enchimento de sementes em linhas quase isogênicas de trigo com presença e ausência do caráter "stay-green" . **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.5, p.613-618, 2003.
- STEEL, R.G.D.; TORRIER, J.H. **Principles and procedures of statistics**. A biometrical approach. 2<sup>nd</sup> Ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 418p.
- TENKOUANO, A; MILLER, F.R; FREDRIKSEN, R.A; ROSENOW, D.T. Genetics of nonsenescence and charcoal rot resistance in sorghum. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v.85, p.644-648, 1993.
- THOMAS, H.; SMART, C.M. Crop that stay-green. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v.123, p.193-219, 1993.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- WALULU, R.S; ROSENOW, D.T; WESTER, D.B; NGUYEN, H.T. Inheritance of the stay-green trait in sorghum. **Crop Science**, Madison, v.34, p.970-972, 1994.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal Agriculture Research**, Collingwood, v.20, p.557-585, 1921.