

ANÁLISE DE TRILHA EM PÓS-COLHEITA DE TOMATE TIPO SALADA

PATH ANALYSIS OF POST HARVEST IN SALAD TOMATOES TYPE

Fábio Moreira Sobreira¹; Fabricio Moreira Sobreira²; Gustavo Sessa Fialho³; Carlos Felipe Barrera Sánchez⁴ e Frederico de Pina Matta⁵

Resumo. Este trabalho teve como objetivos demonstrar a viabilidade de utilizar análise de trilha na resistência pós-colheita em tomate tipo Salada (*Lycopersicon esculentum*), analisar as principais variáveis envolvidas e orientar a seleção de materiais para programas de melhoramento. Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados, com três repetições e dez frutos por parcela. Para análise dos dados adotou-se um diagrama causal ilustrativo considerando a resistência pós-colheita como variável básica e as variáveis explicativas: diâmetro médio dos frutos, diâmetro da cicatriz do pedúnculo, espessura do mesocarpo, teor de sólidos solúveis e pH. Realizaram-se as análises de variâncias, correlações genotípicas, diagnóstico de multicolinearidade e o desdobramento das correlações genotípicas por meio de análise de trilha. A análise de trilha direcionada a resistência pós-colheita mostrou-se eficiente, evidenciando que sua utilização não se restringe aos caracteres produtivos. O diâmetro da cicatriz do pedúnculo e o diâmetro médio do fruto são os caracteres que isoladamente mais explicaram as variações na resistência pós-colheita de tomates tipo Salada. Incrementos em resistência pós-colheita podem ser obtidos por meio de seleção indireta via diâmetro da cicatriz do pedúnculo. Este aumento será maior se dentre os frutos de menor diâmetro da cicatriz do pedúnculo forem selecionados os que apresentarem maior diâmetro médio do fruto.

Palavras chaves: Melhoramento, seleção indireta, pós-colheita, *Lycopersicon esculentum*.

Abstract. This study aimed to demonstrate the viability of using path analysis of post harvest resistance in salad tomatoes type (*Lycopersicon esculentum*), analyze the variables key involved and guide the selection of material for breeding programs. We applied a randomized complete block design, with three replications and ten fruits per plot. Data analysis adopted is a causal diagram illustrating the resistance considering post harvest as basic variable and the explicatory variables: fruit mean diameter, peduncle scar diameter, mesocarp thickness, soluble solids content and pH. We perform the variance analysis, genotypic correlations, the multicollinearity diagnosis, and the display of genotypic correlations through path analysis. Path analysis of post harvest it is efficient, suggesting that their use is not restricted to the productive characters. The peduncle scar diameter and the fruit mean diameter are the characters that more explained the variations of post harvest resistance in tomato salad type. Increases in post harvest resistance can be obtained through indirect selection by peduncle scar diameter. This increase will be higher if among the fruits with smaller peduncle scar diameter, the fruits with higher fruit mean diameter would be selected.

Key words: Breeding, indirect selection, post harvest, *Lycopersicon esculentum*.

Os tomates tipo salada (*Lycopersicon esculentum*), denominados comercialmente como tomates de "longa vida", apresentam genes mutantes que lhe conferem maior tempo de prateleira, sendo mais adequados ao transporte e comercialização (Della Vecchia e Koch, 2000). No entanto, tal manipulação genética resulta na degradação do sabor destes frutos (Moura *et al.*, 2005), sendo contrária as exigências dos consumidores por frutos mais saborosos (Marcos e Jorge, 2002). Por tanto, é necessário um estudo mais

avanzado das características dos frutos relacionadas com a resistência pós-colheita, para que estas sejam utilizadas no melhoramento da citada característica, sem causar perdas na qualidade organoléptica dos frutos. Tal resultado pode ser obtido utilizando genes que conferem a chamada longa-vida estrutural (Alvarenga, 2004).

O conhecimento da correlação entre caracteres é de relevada importância em programas de melhoramento,

¹ Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Genética e Melhoramento, Departamento de Biologia Geral da Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP.: 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. <fabiosobreira@yahoo.com>

² Engenheiro Agrônomo. Mestrando em Fitotecnia, Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, CEP.: 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil. <sobreirafm@bol.com.br>

³ Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Fitotecnia, Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP.: 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. <gsfialho@hotmail.com>

⁴ Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Genética e Melhoramento, Departamento de Biologia Geral da Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP.: 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. <feba286@hotmail.com>

⁵ Professor Adjunto, Departamento de Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUFES), Alto Universitário, s/n, Centro, CP 16, CEP.: 29500-000, Alegre, Espírito Santo, Brasil.

Recibido: Enero 20 de 2009; Aceptado: Junio 2 de 2009

especialmente se a seleção em um deles apresenta dificuldades, em função da baixa herdabilidade e/ou tenha problemas de mensuração e identificação (Cruz *et al.*, 2004). No entanto este estudo apenas informa sobre a associação entre caracteres, não determinando a relação de causa e efeito.

Wright (1921) propôs uma análise de trilha, para compreensão dessa associação, que desdobra as correlações genóticas em efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre uma variável básica. Para fins de melhoramento, é importante identificar dentre as características de alta correlação com a variável básica, aquelas de maior efeito direto em sentido favorável à seleção, de tal forma que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente (Severino *et al.*, 2002).

Este trabalho teve como objetivos demonstrar a viabilidade de utilizar análise de trilha para resistência pós-colheita em tomate tipo Salada, analisar as principais variáveis envolvidas e orientar a seleção de materiais para programas de melhoramento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), no município de Alegre – ES, durante o ano de 2006. Foram utilizados 18 acessos de tomate tipo Salada (*L. esculentum*) do banco de germoplasma do CCA-UFES. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições e dez frutos por parcela. As plantas foram conduzidas em casa de vegetação em vasos de 12 L e os tratamentos culturais foram realizados de acordo com Filgueira (2003). Os frutos foram colhidos no estágio maduro e imediatamente caracterizados com base em descritores morfoagronômicos propostos pelo International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 1996). A resistência pós-colheita foi avaliada em laboratório sob condição ambiente, com temperatura média de 26 °C e 65% de umidade relativa do ar, com base no método da aplanagem não destrutiva desenvolvido por Calbo e Nery (1995).

Realizou-se análise de variância para ventilar a existência de variabilidade genética, onde foram obtidas as estimativas de correlações genóticas e do coeficiente de determinação genotípico conforme Mode e Robinson (1959) e Vencovsky e Barriga (1992), respectivamente. O grau de multicolinearidade

da matriz $X'X$ foi avaliado segundo os critérios indicados por Montgomery e Peck (1981), estes se baseiam nos valores do determinante e do número de condição (NC = razão entre o maior e o menor autovalor) dessas matrizes. Buscando identificar as variáveis que contribuíram para o surgimento da multicolinearidade, efetuou-se a análise dos elementos dos autovetores associados aos autovalores descrita por Belsley *et al.* (1980) procedendo-se então ao descarte adequado destas e realizando-se os desdobramentos das correlações genóticas em efeitos diretos e indiretos por meio da análise de trilha.

Para análise dos dados adotou-se um diagrama causal ilustrativo considerando a variável resistência pós-colheita (RPC, kgf cm⁻²) como variável básica e as variáveis explicativas: diâmetro médio dos frutos (DMF, cm), diâmetro da cicatriz do pedúnculo (DCP, mm), espessura do mesocarpo (ESP, cm), teor de sólidos solúveis (TSS, °Brix) e pH (pH), conforme ilustrado na Figura 1. Nesta observa-se o inter-relacionamento das variáveis analisadas, onde a seta unidirecional indica efeito direto (coeficiente de trilha) de cada variável explicativa, enquanto a seta bidirecional representa a interdependência de duas variáveis explicativas, cuja magnitude é quantificada pela correlação genotípica.

Os resultados da análise de trilha foram interpretados seguindo as indicações de Vencovsky e Barriga (1992), ao se considerar que coeficientes de correlação e efeitos diretos (coeficientes de trilha) elevados indicam que estas variáveis independentes explicam parte da alteração da variável básica, e que coeficientes de correlação positivos ou negativos, mas com efeito direto de sinal diferente ou insignificante, indicam que variáveis que apresentam maiores efeitos indiretos têm que ser consideradas simultaneamente para que a alteração na variável básica seja explicada. As análises estatísticas foram realizadas segundo recomendações de Cruz *et al.* (2004), sendo processadas usando os recursos computacionais do programa GENES (Cruz, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferenças ($P \leq 0,01$) em todas as variáveis explicativas (Tabela 1), o que evidencia variação entre os tratamentos para cada variável analisada.

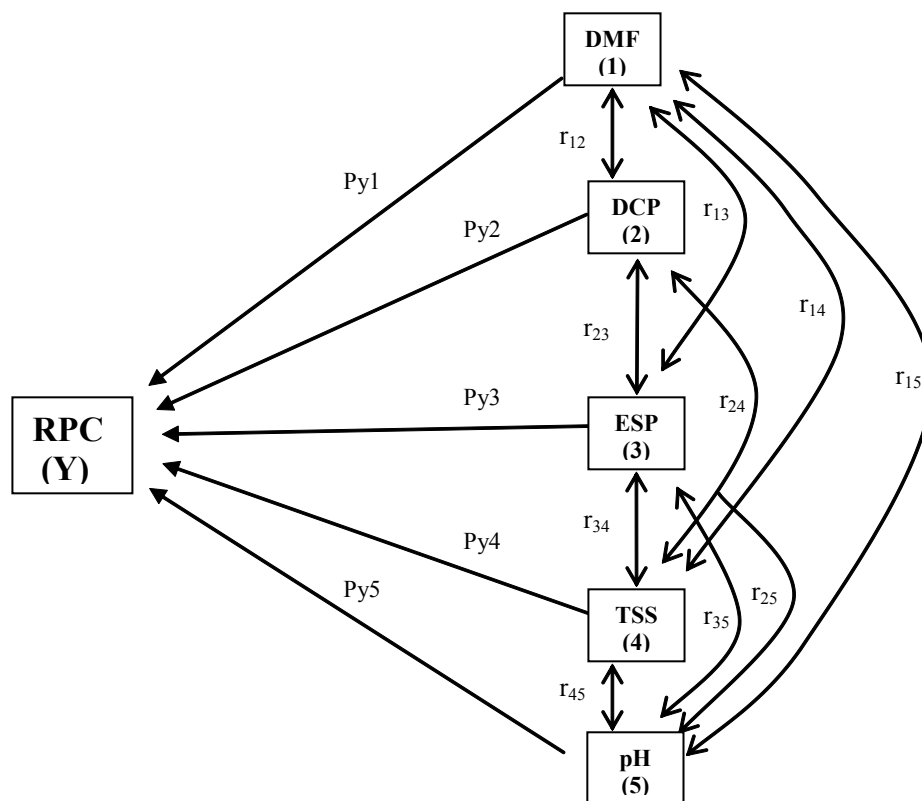


Figura 1. Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas diâmetro médio dos frutos, cm (1), diâmetro da cicatriz do pedúnculo, cm (2), espessura do mesocarpo, cm (3), teor de sólidos solúveis, °Brix (4) e pH (5) sobre a variável básica: a resistência pós-colheita dos frutos (y).

P_{yi} : efeito direto de cada um dos cinco caracteres explicativos sobre a variável básica.

r_{ij} : coeficiente de correlação genotípica entre os caracteres explicativos.

Tabela 1. Diâmetro médio dos frutos (DMF em cm), diâmetro da cicatriz do pedúnculo (DCP em mm), espessura do mesocarpo (ESP em mm), teor de sólidos solúveis (TSS em °Brix), pH (pH) e resistência pós-colheita (RPC em Kg f cm $^{-2}$) do tomate tipo salada. Alegre, ES, 2006.

FV	GL	Quadrados Médios					
		DMF	DCP	ESP	TSS	pH	RPC
Blocos	2	0,555	1,146	2,075	0,768	0,027	0,001
Genótipo	17	5,449 **	39,889 **	5,390 **	1,201 **	0,046 **	0,013 **
Resíduo	34	0,570	2,3856	0,4331	0,3833	0,0183	0,005
Média		4,43	7,40	5,14	2,30	4,40	0,58
CV (%)		17,05	20,86	12,80	26,91	3,07	12,57

**significativo a $P \leq 0,01$ pelo teste F.

O diagnóstico da multicolinearidade da matriz de correlações genotípicas indicou $NC < 100$, caracterizada

como multicolinearidade fraca, não constituindo-se um problema para a análise de trilha.

Os efeitos das variáveis explicativas sobre a variável básica são apresentados na Tabela 2. O coeficiente de determinação do modelo da análise de trilha R^2 (0,766) indica que as variáveis explicativas utilizadas explicam grande parte das variações na variável básica RPC.

Para o caráter DMF, com coeficiente de correlação negativo de -0,111 e elevado efeito direto positivo (1,266) sobre a RPC, verifica-se que apesar do alto efeito direto apresentado a pressão de seleção intensificada sobre o DMF poderá não proporcionar ganhos genéticos satisfatórios na RPC, pois essa correlação genética é causada principalmente pelos efeitos indiretos, não sendo observada a

relação de causa-efeito. Nesse caso, caracteres causais indiretos e significativos, devem ser considerados simultaneamente no processo de seleção como sugerido por Cruz e Regazzi (1997). Dentre os efeitos indiretos, destaca-se o elevado efeito negativo da variável DCP (-1,490) sobre a variável básica. Evidenciando que a seleção indireta por meio da variável DMF somente será eficiente em aumentar a RPC se considerar concomitantemente os efeitos indiretos via DCP. Dessa forma, para se obter maior incremento na RPC, a seleção indireta via DMF deverá ser realizada sobre frutos de maior diâmetro médio, seguida da seleção dos frutos que apresentarem menor DCP.

Tabela 2. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas (diâmetro médio dos frutos-DMF), diâmetro da cicatriz do pedúnculo-DCP, espessura do mesocarpo-ESP, teor de sólidos solúveis TSS e pH) sobre a variável básica, resistência pós-colheita ($\text{kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$) em genótipos de tomate obtidos a partir dos dados com diferentes tipos de colinearidade. Alegre, ES, 2006.

Variável	Efeito	Estimativa
DMF (cm)	Direto sobre RPC	1,266
	Indireto via DCP	-1,490
	Indireto via ESP	-0,057
	Indireto via TSS	0,266
	Indireto via pH	-0,096
	Correlação Fenotípica (Total)	-0,111
DCP (mm)	Direto sobre RPC	-1,650
	Indireto via DMF	1,143
	Indireto via ESP	-0,048
	Indireto via TSS	0,180
	Indireto via pH	-0,077
	Correlação Fenotípica (Total)	-0,452
ESP (mm)	Direto sobre RPC	-0,112
	Indireto via DMF	0,652
	Indireto via DCP	-0,715
	Indireto via TSS	0,392
	Indireto via pH	-0,148
	Correlação Fenotípica (Total)	0,069
TSS (°Brix)	Direto sobre RPC	-0,489
	Indireto via DMF	-0,689
	Indireto via DCP	0,608
	Indireto via ESP	0,089
	Indireto via pH	0,128
	Correlação Fenotípica (Total)	-0,351
pH	Direto sobre RPC	-0,188
	Indireto via DMF	0,646
	Indireto via DCP	-0,681
	Indireto via ESP	-0,088
	Indireto via TSS	0,333
	Correlação Fenotípica (Total)	0,022
Coeficiente de Determinação	0,766	
Efeito da Variável Residual	0,483	

Em relação à variável DCP observa-se correlação negativa de -0,452, associada a um elevado efeito direto negativo sobre a variável básica (-1,650), indicando sua utilidade quando se pratica a seleção indireta para RPC. Esse resultado demonstra que a seleção indireta para menores valores de DCP acarretará em maiores valores de RPC, corroborando com os resultados obtidos por Freitas *et al.* (1999), que ao estudarem características de conservação pós-colheita de frutos de tomateiro, observaram que o menor diâmetro da cicatriz do pedúnculo correlaciona-se com maior resistência pós-colheita.

Entre os efeitos indiretos, destaca-se o elevado efeito da variável DMF (1,143) sobre a RPC. Em tal circunstância, é necessário aplicar uma seleção restrita, como sugerido por Vencovsky e Barriga (1992), a fim de eliminar os efeitos indiretos indesejáveis para aproveitar o efeito direto existente. Dessa forma a seleção truncada na variável DCP será menos eficiente em promover o melhoramento para a variável básica RPC que a seleção restrita, pois a restrição possibilitará a seleção dos frutos de menor DCP, e dentro destes a seleção dos acessos de maior DMF, eliminando a influencia do efeito indireto indesejável sobre a variável básica e conseqüentemente proporcionando maior incremento da RPC.

A variável ESP apresenta correlação nula 0,069 e efeito direto negativo de reduzida magnitude (-0,112) sobre a variável básica. Não se recomenda para seleção indireta, a utilização de variáveis que apresentem baixos valores de correlação e efeito direto sobre a variável básica, sendo descartada dessa forma a utilização da variável ESP para a seleção indireta visando incrementos em RPC.

Considerando a variável TSS, observa-se correlação negativa de -0,351 e efeito direto negativo sobre a RPC (-0,489). Não sendo recomendada sua utilização devido aos baixos valores de correlação e efeito direto.

O não apresenta pH correlação (0,022) e tem efeito direto negativo (-0,188) sobre a variável básica, demonstrando ausência de relação causa-efeito. Conforme enfatizado, não se recomenda para seleção indireta a utilização de variáveis que apresentem baixos valores de correlação e efeito direto sobre a variável básica, por tanto a variável pH não é indicada para a seleção indireta com objetivo de aumentos em RPC.

A análise de trilha apontou o DCP e o DMF como variáveis a serem utilizadas quando o objetivo é a obtenção de incrementos indiretos na variável básica RPC, por meio de seleção indireta. Devido aos maiores valores de correlação e efeito direto apresentados pela variável DCP, esta deve ser priorizada; devendo ser realizada a seleção dos acessos de menor DCP, e dentro destes aos que apresentem maior DMF.

Na literatura, não foi encontrado nenhum trabalho com análise de trilha aplicada a pós-colheita em tomate tipo Salada, evidenciando a importância desta pesquisa. A maioria dos trabalhos está relacionada à produtividade de diversas culturas (Tavares *et al.*, 1999; Coimbra *et al.*, 2004; Marchezan *et al.*, 2005; Lopes *et al.*, 2007; Hidayatullah *et al.*, 2008), não considerando outras atenção a outras variáveis básicas como a pós-colheita, assim como os componentes de rendimento. Outras variáveis básicas devem ser consideradas, devido à relevância que possuem e utilidade dessa análise na seleção indireta de materiais, Falconer e Mackay (1996).

CONCLUSÕES

A análise de trilha direcionada a resistência pós-colheita mostrou-se eficiente, evidenciando que a sua utilização não se restringe aos caracteres produtivos.

O diâmetro da cicatriz do pedúnculo e o diâmetro médio do fruto são os caracteres que isoladamente explicaram as variações na resistência pós-colheita de tomates tipo Salada.

Incrementos em resistência pós-colheita podem ser obtidos por meio de seleção indireta via diâmetro da cicatriz do pedúnculo. Este aumento será maior se dentre os frutos de menor diâmetro da cicatriz do pedúnculo forem selecionados os que apresentarem maior diâmetro médio do fruto.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarenga, M.A.R. 2004. Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Editora UFLA, Lavras. 400 p.
- Belsley, D.A., E. Kuh and R.E. Welch. 1980. Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity. John Wiley and Sons, New York. 292 p.
- Calbo, A.G. e A.A. Nery. 1995. Medida de firmeza em

hortaliças pela técnica de aplanção. *Horticultura Brasileira* 13(1): 14-18.

Coimbra, J.L.M., A.F. Guidolin, M.L. de Almeida, L. Sangoi, M. Ender e A. Meroto Júnior. 2004. Análise de trilha dos componentes do rendimento de grãos em genótipos de canola. *Ciência Rural* 34(5): 1421-1428.

Cruz, C.D. e A.J. Regazzi. 1997. Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Universidad Federal de Vicosa-UFV, Viçosa. 390 p.

Cruz, C.D. 2001. Programa genes: versão windows: aplicativo computacional em genética e estatística. Universidad Federal de Vicosa-UFV, Viçosa. 648 p.

Cruz, C.D., A.J. Regazzi e P.C.S. Carneiro. 2004. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. pp. 223-375. Universidad Federal de Vicosa-UFV, Viçosa.

Della Vecchia, P.T. e P.S. Koch. 2000. Tomates longa vida: o que são, como foram desenvolvidos?. *Horticultura Brasileira* 18(1): 3-4.

Falconer, D.S. and T.F.C Mackay. 1996. Introduction to quantitative genetics. Fourth edition. Longman, England. 464 p.

Filgueira, F.A.R. 2003. Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2 ed. Universidad Federal de Vicosa-UFV, Viçosa. 412 p.

Freitas, J.A., W.R. Maluf, A.A. Gomes e S.M. Azevedo. 1999. Efeitos dos alelos ALC, OGC e HP sobre as características de maturação e conservação pós-colheita de frutos de tomateiro. *Ciência e Agrotecnologia* 23(3): 569-577.

Hidayatullah, H., A. Shakeel, G. Abdul and M. Tariq. 2008. Path coefficient analysis of yield component in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Pakistan Journal of Botany* 40(2): 627-635.

IPGRI. 1996. Descriptors for tomato (*Lycopersicon* spp.). International Plant Genetic Resources Institute. Roma, Italy. 47 p.

Lopes, S.J., A. Dal'Colúcio, L. Storck, H.P. Damo, B. Brun e V.J. dos Santos. 2007. Relações de causas e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. *Ciência Rural* 37(6): 1536-1542.

Marchezan, E., T.N. Martin, F.M. dos Santos e E.R. Camargo. 2005. Análise de coeficiente de trilha para os componentes de produção em arroz. *Ciência Rural*. 35(5):1027-1033.

Marcos, S.K. e J.T. Jorge. 2002. Desenvolvimento de tomate de mesa, com o uso do método QFD (Desdobramento da Função Qualidade), comercializado em um supermercado. *Horticultura Brasileira* 20(3): 490-496.

Mode, J.C. and H.F. Robinson. 1959. Pleiotropism and the genetic variance and covariance. *Biometrics* 15(4): 518-537.

Montgomery, D.C. and E.A. Peck. 1981. Introduction to linear regression analysis. John Wiley and Sons, New York. 504 p.

Moura, M.L., F.L. Finger, G.P. Mizobutsi e H.L. Galvão. 2005. Fisiologia do amadurecimento na planta do tomate 'Santa Clara' e do mutante 'Firme'. *Horticultura Brasileira* 23(1): 81-85.

Severino, L.S., N.S. Sakiyama, A.A. Pereira, G.V.M. Miranda, L. Zambolim e U.V. Barros. 2002. Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. "Catimor"). *Acta Scientiarum* 24(5):1467-1471.

Tavares, M., A.M.T. Melo, W.B. Scivittaro. 1999. Efeitos diretos e indiretos e correlações canônicas para caracteres relacionados com a produção de pimentão. *Bragantia* 58(1): 41-47.

Vencovsky, R. e P. Barriga. 1992. Genética biométrica no fitomelhoramento. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto. 496 p.

Wright, S. 1921. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research* 20(7): 557-585.