



Correlações fenotípicas e análise de trilha em caracteres morfoagronômicos de mamoeiro

Phenotypic correlations and path analysis in morphological characteristics of the papaya

Clemilton Alves da Silva^{2*}, Edilson Romais Schimldt³, Omar Schimldt⁴, Rodrigo Sobreira Alexandre⁵, Laercio Francisco Cattaneo⁶, Jeferson Pereira Ferreira⁷, Adriel Lima Nascimento⁸

Resumo: A estimativa da correlação entre caracteres é de extrema importância para o melhoramento, pois mede o grau de associação entre características e possibilita avaliar o quanto a alteração em um caráter pode afetar os demais. Entretanto, a quantificação e interpretação da magnitude desta não permite o desdobramento das correlações simples nos seus efeitos diretos e indiretos. Objetivou-se com este trabalho obter estimativas de correlações fenotípicas, genotípicas e análise de trilha entre características morfoagronômicas de mamoeiro. Foram avaliadas quinze variáveis morfoagronômicas em 59 acessos do Banco Ativo de Germoplasma da Caliman Agrícola S.A., dispostos em delineamento em blocos casualizados com duas repetições. Inicialmente, realizou-se a análise de trilha considerando um único diagrama causal, a variável principal em função de dois componentes primários. Posteriormente, realizou-se a análise de trilha considerando dois diagramas causais, variável principal em função dos componentes primários e esses em função de componentes secundários. Os componentes primários da produção por planta foram número e massa de frutos. As correlações fenotípicas foram superiores às genotípicas, demonstrando facilidade na seleção baseada no fenótipo. Não houve correlação significativa entre os caracteres avaliados e a variável produção por planta. Os componentes primários número e massa de fruto explicam quase que totalmente as variações ocorridas na produção por planta. Espessura menor de polpa de fruto foi o componente secundário que apresentou maiores efeitos diretos e indiretos sobre a variável primária massa de fruto.

Palavras-chave: *Carica papaya* L.. Melhoramento de plantas. Seleção.

Abstract: Estimating the correlation between characteristics is extremely important for breeding, as it measures the degree of association between characteristics, and makes it possible to evaluate how much a change in one characteristic can affect the others. However, quantifying and interpreting this value does not allow breakdown of the simple correlations of direct and indirect effects. The aim of this work was to obtain estimates of phenotypic and genotypic correlations, and path analysis between morpho-agronomic characteristics in the papaya. Fifteen morpho-agronomic variables were evaluated in 59 accessions from the Active Germplasm Bank of Caliman Agrícola SA, arranged in a randomised block design with two replications. Initially, path analysis was performed, considering a single causal diagram, the main variable as a function of two primary components. Path analysis was then carried out considering two causal diagrams, the main variable as a function of the primary components, and those as a function of secondary components. The primary production components per plant were the number and weight of the fruit. Phenotypic correlation was higher than genotypic correlation, demonstrating the ease of selection based on phenotype. There was no significant correlation between the characteristics under evaluation and production per plant. The primary components, number and weight of fruit, almost completely explain changes in production per plant. The lesser thickness of the fruit pulp was the secondary component with greater direct and indirect effects on the primary variable of fruit weight.

Key words: *Carica papaya* L. Plant Breeding. Selection.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 21/09/2015 e aprovado em 13/08/2016

¹Parte da dissertação do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGAT-CEUNES/UFES)

²Engenheiro Agrônomo. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/ Universidade Federal do Espírito Santo, clemiltonalves@gmail.com

³Engenheiro Agrônomo, Doutor. Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo. edilsonschimldt@ceunes.ufes.br

⁴Engenheiro Agrônomo, Doutor. Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo. omar-schimldt@ig.com.br

⁵Engenheiro Agrônomo, Doutor. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira – DCFM Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - CCAE. rodrigossobreiraalexandre@gmail.com

⁶Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural Linhares, Espírito Santo, Brasil. lfcattaneo@hotmail.com

⁷Engenheiro Agrônomo. Cooperativa Agrária de Cafeicultores de São Gabriel – Espírito Santo. jeferson.p.ferreira@hotmail.com

⁸Engenheiro Agrônomo. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/ Universidade Federal do Espírito Santo. adriel_aln@outlook.com

INTRODUÇÃO

A cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) é caracterizada por ser de base genética estreita, limitando os números de cultivares disponível nas áreas produtoras, além de ser suscetível a uma série de doenças e pragas. Nesse contexto, trabalhos de melhoramento se tornam fundamentais para manutenção do potencial agrônomo da cultura. Estudos que proporcionam informações sobre a relação entre as variáveis morfoagronômicas no mamoeiro facilitam a seleção de genótipos superiores, de forma a atender as exigências dos mercados nacionais e internacionais.

O conhecimento das correlações tem papel fundamental ao medir o grau de associação entre variáveis e possibilitar avaliar o quanto a alteração em uma variável pode afetar as demais. Se a seleção de uma variável é dificultada pela baixa herdabilidade ou por problemas de mensuração e identificação, esse tipo de conhecimento se torna importante nas diferentes etapas dos programas de melhoramento (CRUZ *et al.*, 2012).

As correlações entre duas variáveis têm duas causas: a genética, resultante de ligação gênica ou do pleiotropismo, e a causa ambiental. O ambiente torna-se causa de correlação quando dois caracteres são influenciados pelas mesmas diferenças de condições ambientais (FALCONER, 1981).

Variáveis correlacionadas positivamente indicam que ambas são beneficiadas ou prejudicadas pelas mesmas causas de variações ambientais, e correlações com valores negativos indicam que o ambiente favorece um caráter em detrimento do outro. A associação entre duas variáveis diretamente observadas é a correlação fenotípica (FALCONER, 1981).

O uso de correlação se torna importante, pois, através do conhecimento da magnitude do desempenho de uma variável, pode-se avaliar a influência sobre outra, que seja de interesse do melhorista. No entanto, esse coeficiente pode ocasionar alguns equívocos nas estratégias de seleção, podendo não ser uma medida real de causa e efeito. Assim, um alto ou baixo coeficiente de correlação entre duas variáveis pode ser o resultado do efeito que uma terceira variável ou um grupo de variáveis têm sobre essas duas, não dando a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos desses fatores (CRUZ *et al.*, 2012).

Para melhor compreender a relação existente entre variáveis, tem sido utilizada a metodologia de análise de trilha (“*path analysis*”), também denominada análise de caminhamento. Essa técnica permite obter informações a respeito dos efeitos diretos e indiretos de um grupo de caracteres em relação a um determinado caráter considerado de maior importância (variável básica) (CRUZ; CARNEIRO, 2012).

Assim, para fins de melhoramento, é importante identificar entre as variáveis de alta correlação com a

variável básica, aquelas que possuem maior efeito direto no sentido favorável à seleção, de tal forma que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente (SEVERINO *et al.*, 2002).

Estudos de correlações e análise de trilha têm sido utilizados em algumas culturas agrícolas, como o maracujá (NEGREIROS *et al.*, 2007), girassol (AMORIM *et al.*, 2008) e feijão (BARILI *et al.*, 2011). Apesar de importante, estudo dessa natureza tem sido pouco empregado na cultura do mamoeiro, mostrando a necessidade de melhor se compreender as relações entre variáveis agrônômicas na cultura, tendo em conta a sua importância na inserção do mercado de frutos no país. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho obter estimativas de correlações fenotípicas, genotípicas e análise de trilha entre variáveis morfoagronômicas em mamoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado entre maio de 2011 e janeiro de 2012, na Fazenda Santa Terezinha (Caliman Agrícola S. A.), localizada no município de Linhares, norte do Estado do Espírito Santo, cujas coordenadas geográficas são: latitude 19° 23' 28" S, longitude 40° 04' 20" e altitude de 33 m. A temperatura média anual é de 23,4 °C e pluviosidade média de 1.193 mm por ano. Foram avaliadas quinze características morfoagronômicas em 59 acessos de mamoeiro pertencente ao Banco Ativo de Germoplasma da Caliman Agrícola S.A. (Tabela 1).

O experimento foi disposto em delineamento em blocos casualizados, com duas repetições, contendo cinco plantas por parcela e espaçamento de 3 x 2 m. Os tratamentos culturais foram realizados seguindo a recomendação da cultura (MARTINS; COSTA, 2003).

Aos 240 dias após o plantio foram avaliadas, em uma amostra de cinco plantas hermafroditas por parcela, as seguintes variáveis: Altura de inserção da primeira flor (Apfl) - medida com auxílio de uma trena (centímetros), correspondendo à distância entre a superfície do solo, contígua ao colo da planta, e o ponto de inserção da primeira flor; Altura de inserção do primeiro fruto (Apfr) - medida com auxílio de uma trena (cm), correspondendo à distância entre a superfície do solo, contígua ao colo da planta, e o ponto de inserção do primeiro fruto; Altura da planta (Apl) - medida com auxílio de uma trena (cm), correspondendo à distância entre a superfície do solo, contígua ao colo da planta, e o ponto de inserção da folha mais nova; Diâmetro do caule (Dca) - avaliado à 20 cm do solo, utilizando-se um paquímetro (cm); Comprimento do pecíolo (Cp) - medido com auxílio de uma trena (cm), em cinco folhas medianas de cada planta; Teor de clorofila (Tchl) - medido com auxílio de um clorofilômetro portátil, realizada em três folhas de cada planta por acesso; número de frutos (Nfr) - medido pela

Tabela 1 - Relação dos acessos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) utilizados no estudo de diversidade genética, São Mateus, 2012

Table 1 - List of papaya accessions (*Carica papaya* L.) used in the study of genetic diversity, São Mateus, 2012

Grupo Solo	Grupo Formosa
Caliman MS	Costa Rica
Grampola	Taiwan ET
Diva	Tailândia
Sunrise Solo	Tainung 01
Caliman AM	Mamão Bené
Caliman GB	Maradol (Origem Mexico)
Caliman G	Maradol (Grande Limão)
Sunrise Solo 72/12	Sekati
Kapoho Solo Polpa Amarela	Sekati Macuco
Kapoho Solo Polpa Vermelha	Americano
Baixinho de Santa Amália	Golden Tipo Formosa
Baixinho Super	STA HEL III 12 A PLT 07
Mamão Roxo	STA HEL III 11 A PLT 08
São Mateus	STA HEL III 50 A PLT 09
Sunrise solo (Progênie Tainung)	STA HEL III 02 A PLT 01
Sunrise Solo TJ	STA HEL III 14 A PLT 05
Califlora 209	STA HEL III 15 A PLT 04
STZ 03-Pecíolo Curto	STA HEL III 04 A PLT 02
Waimalano	STA HEL III 12 A PLT 06
THB STZ-39	Papaya 42 Formosa
Sunrise Solo 783	Papaya 45 Formosa Roxo
Caliman SG	Papaya 46 Claro
STZ 51	STZ 63
STZ 23 Pedúnculo Longo	Incaper 39
Caliman Fruto Médio Verde	JS 12 (206)
Gran Golden	JS 11 (210)
Sunrise Solo Paulo Brunelle	Calimosa
Golden Robusto	B5 Geraldo
	Formosa Golden
	Formosa Brilhoso
	206/4

contagem de todos os frutos da planta com o padrão normal do acesso; Massa de frutos (Mfr) - medido em balança de precisão expresso em gramas, considerando apenas frutos comerciais; Comprimento de fruto (Cfr) - medido com paquímetro expresso em centímetros considerando duas casas decimais; Diâmetro da região mediana do fruto (Dfr) - medido com paquímetro (cm), considerando o maior diâmetro do fruto; Espessura menor da polpa do fruto (Eme) - medida realizada após o corte transversal do fruto na região

equatorial, utilizando régua (mm); Espessura maior da polpa do fruto (Ema) - medida realizada após corte transversal do fruto na região equatorial, utilizando régua (mm); Sólidos solúveis totais (SST), determinados em frutos 2/4 maduros, por leitura direta em refratômetro de bancada, e expresso em °Brix; Firmeza interna do fruto (Fifr) – determinada por uso de penetrômetro (*Fruit Pressure Tester*, Italy: model 53205) e expressa em Newton (N). Para isso, três pontos equidistantes foram medidos a aproximadamente 0,5 cm

sob a casca do fruto 1/4 maduro, utilizando a ponteira de 7,9 mm de diâmetro; Produção por planta (Prod.plt¹), determinada pelo produto entre números de fruto e massa média de fruto.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Posteriormente foram estimados os coeficientes de correlação genotípica (rg) e fenotípica (rf) com uso de análises de covariâncias, tendo-se combinado as quinze variáveis em todas as formas possíveis. As correlações foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos das variáveis de importância agrônoma para o mamoeiro (variáveis independentes) sobre produção por planta (variável básica), por meio da análise de trilha.

Inicialmente, realizou-se a análise de trilha considerando um único diagrama causal, a variável principal (produção por planta) em função de dois componentes primários (número de frutos e massa de frutos). Posteriormente, realizou-se a análise de trilha considerando dois diagramas causais, variável principal em função dos componentes primários e estas em função de componentes secundários. As variáveis, produção por planta e número e massa de frutos, foram transformadas para a escala logarítmica devido à existência de inter-relação entre elas, em razão do efeito multiplicativo. Os dados foram analisados utilizando-se os recursos computacionais do programa Genes (CRUZ, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As correlações fenotípicas foram superiores às genotípicas (Tabelas 2 e 3). As correlações fenotípicas foram selecionadas para serem utilizadas visto que geralmente se usa o fenótipo como base para a seleção. As variáveis que se correlacionam fenotipicamente apresentam valor prático de seleção visto que possuem alto componente genético em suas expressões fenotípicas, resultando na obtenção de ganhos via seleção visual (ANDRADE *et al.*, 2010; FERREIRA *et al.*, 2007).

Correlações positivas e significativas foram observadas entre altura de inserção da primeira flor e as variáveis altura de inserção de primeiro fruto (0,99), altura de planta (0,99), diâmetro de caule (0,67) e número de frutos (0,61) (Tabela 2). E correlações negativas e significativas entre a variável altura de inserção da primeira flor e as variáveis massa de fruto (-0,74) e comprimento de frutos (-0,77) (Tabelas 2 e 3).

De acordo com Nogueira *et al.* (2012), na interpretação de correlações, três aspectos devem ser considerados: a magnitude, a direção e a significância. Estimativa de coeficiente de correlação positiva indica a tendência de uma variável aumentar quando a outra também aumenta, e correlações negativas indicam tendência de uma variável aumentar enquanto a outra diminui.

Tabela 2 - Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (rf) e genotípica (rg) entre variáveis morfológicas e agrônomicas de mamoeiro (*Carica papaya* L.)

Table 2 - Estimates of the phenotypic (rf) and genotypic (rg) correlation coefficients between morphological and agronomical variables in the papaya (*Carica papaya* L.)

Variáveis		Apfr	Apl	Dca	Cp	Tchl	Nfr	Mfr
Apfl	rf	0,99**	0,99**	0,67**	-0,30	-0,42	0,61**	-0,74**
	rg	0,97	0,92	0,49	0,08	-0,01	0,21	-0,31
Apfr	rf		0,99**	0,67**	-0,26	-0,34	0,55*	-0,68**
	rg		0,98	0,49	0,11	0,15	0,16	-0,23
Apl	rf			0,66**	-0,33	-0,36	0,57**	-0,70**
	rg			0,44	-0,05	0,16	0,19	-0,27
Dca	rf				0,15	-0,00	0,24	-0,39
	rg				0,32	0,41	-0,02	0,01
Cp	rf					0,65**	-0,71**	0,63**
	rg					0,47	-0,46	0,45
Tchl	rf						-0,65**	0,74**
	rg						-0,27	0,53
Nfr	rf							-0,93**
	rg							-0,80

Altura de inserção de primeira flor (Apfl, cm); Altura de inserção de primeiro fruto (Apfr, cm); Altura de planta (Apl, cm); Diâmetro do caule (Dca, cm); Comprimento pecíolo (Cp, cm); Teor de clorofila (Tchl); Número de frutos (Nfr); Massa de frutos (Mfr, g). * e ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t.

Height of First flower insertion (Apfl, cm); Height of first fruit insertion (Apfr, cm); Plant height (Apl, cm); Stem diameter (Dca, cm); Length of petiole (Cp, cm); Chlorophyll content (Tchl); Number of fruit (Nfr); Weight of fruit (Mfr, g). * and ** Significant at 5 and 1% probability by t-test.

Tabela 3 - Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (rf) e genotípica (rg) entre variáveis morfológicas, físicas e físico-químicas em frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.)**Table 3** - Estimates of phenotypic (rf) and genotypic (rg) correlation coefficients between morphological, physical and physico-chemical variables in fruit of the papaya (*Carica papaya* L.)

Variáveis		Cfr	Dfr	Eme	Ema	Firf	SST	Prod plt ⁻¹
Apfl	rf	-0,77**	-0,68**	-0,74**	-0,71**	-0,71**	0,57*	-0,43
	rg	-0,39	-0,23	-0,27	-0,25	-0,36	0,24	-0,15
Apfr	rf	-0,73**	-0,63**	-0,70**	-0,66**	-0,69**	0,51*	-0,39
	rg	-0,32	-0,17	-0,22	-0,22	-0,39	0,15	-0,10
Apl	rf	-0,72**	-0,67**	-0,72**	-0,69**	-0,70**	0,53*	-0,40
	rg	-0,27	-0,27	-0,28	-0,25	-0,38	0,18	-0,12
Dca	rf	-0,51*	-0,33	-0,40	-0,34	-0,36	0,38	-0,40
	rg	-0,20	0,04	0,02	0,13	0,04	0,23	-0,02
Cp	rf	0,48*	0,68**	0,57*	0,62**	0,56*	-0,46	-0,14
	rg	0,16	0,51	0,30	0,43	0,24	0,02	-0,05
Tchl	rf	0,59*	0,79**	0,72**	0,76**	0,50*	-0,68**	0,32
	rg	0,30	0,57	0,47	0,56	0,17	-0,25	0,40
Nfr	rf	-0,87**	-0,91**	-0,90**	-0,91**	-0,92**	0,84**	0,10
	rg	-0,65	-0,73	-0,67	-0,68	-0,72	0,63	0,37
Mfr	rf	0,94**	0,99**	0,99**	0,99**	0,87**	-0,94**	0,27
	rg	0,79	0,93	0,92	0,91	0,63	-0,68	0,27
Cfr	rf		0,88**	0,93**	0,90**	0,87**	-0,89**	0,25
	rg		0,51	0,66	0,61	0,56	-0,58	0,19
Dfr	rf			0,98**	0,99**	0,82**	-0,93**	0,28
	rg			0,87	0,92	0,47	-0,64	0,26
Eme	rf				0,99**	0,85**	-0,93**	0,30
	rg				1,02	0,68	-0,68	0,35
Ema	rf					0,83**	-0,93**	0,29
	rg					0,54	-0,73	0,32
Fifr	rf						-0,77**	-0,05
	rg						-0,31	-0,18
SST	rf							-0,33
	rg							-0,05

Altura de inserção de primeira flor (Apfl, cm); Altura de inserção de primeiro fruto (Apfr, cm); Altura de planta (Apl, cm); Diâmetro do caule (Dca, cm); Comprimento pecíolo (Cp, cm); Teor de clorofila (Tchl); Comprimento de frutos (Cfr, cm); Diâmetro da região mediana do fruto (Dfr, cm); Espessura menor do fruto (Eme, mm); Espessura maior do fruto (Ema, mm); Firmeza interna de fruto (Firf, N); Sólidos solúveis totais (SST, °Brix); Número de frutos (Nfr); Massa de frutos (Mfr, g); Produção por planta (Prod plt⁻¹) * e ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t.

Height of first flower insertion (Apfl, cm); Height of first fruit insertion (Apfr, cm); Plant height (Apl, cm); Stem diameter (Dca, cm); Length of petiole (Cp, cm); Chlorophyll content (Tchl); Length of fruit (Cfr, cm); Mid region diameter of fruit (Dfr, cm); Smallest thickness of fruit (Eme, mm); Greatest thickness of fruit (Ema, mm); Internal firmness of fruit (Firf, N); Total soluble solids (SST, ° Brix); Number of fruit (Nfr); Weight of fruit (Mfr, g); Production per plant (Prod Plt-1). * and ** Significant at 5 and 1% probability by t-test.

A variável comprimento de pecíolo apresentou correlações positivas com teor de clorofila (0,65), massa de fruto (0,63), comprimento de fruto (0,48), diâmetro da região mediana do fruto (0,68), espessura menor de polpa de fruto (0,57), espessura maior de polpa de fruto (0,62) e firmeza

interna de fruto (0,56), e correlação negativa com número de fruto (-0,71) e sólidos solúveis totais (-0,46) (Tabelas 2 e 3).

Segundo Cruz e Carneiro (2012), quando um caráter correlaciona-se positivamente com alguns e negativamente com outros, há a indicação de se ter um cuidado adicional,

pois, ao selecionar um determinado caráter, podem-se provocar mudanças indesejáveis em outros. Esses resultados demonstram que se podem obter plantas com maiores massa, diâmetro e comprimento de fruto por meio da seleção indireta daquelas que apresentam maiores comprimento de pecíolo. No entanto, deve-se atentar para as correlações negativas existentes entre comprimento de pecíolo e sólidos solúveis totais. Nesse caso, embora se selecione plantas com maior massa de fruto, essas podem apresentar menores teores de açúcares nos frutos.

Ao analisar a associação entre número de frutos e sólidos solúveis totais (0,84), observou-se correlação positiva e significativa (Tabela 3), mostrando que o aumento no número de frutos por plantas resulta em maiores teores de açúcar por frutos.

A correlação entre massa de fruto e as demais variáveis relacionadas às avaliações em frutos foram positivas e significativas, exceto para sólidos solúveis totais (-0,94) (Tabela 3). Oliveira *et al.* (2010) também observaram correlação positiva, entre comprimento, diâmetro e espessura de polpa de fruto, e negativa com sólidos solúveis totais.

Não foi verificada correlação significativa entre as variáveis avaliadas e produção por planta (Tabela 3). Evidenciando que nesse trabalho as variáveis morfoagronômicas não podem ser utilizadas para seleção indireta de plantas mais produtivas. Resultados semelhantes aos encontrados por Silva *et al.* (2007).

Por meio da análise de trilha, com um diagrama causal, verificou-se que os componentes primários (número de fruto por planta e massa de fruto) resultaram em altas magnitudes dos efeitos diretos e indiretos sobre a produção por planta (Tabela 4).

Os efeitos diretos dos componentes primários sobre produção por planta foram superiores a unidade, para número de frutos (1,43) e massa de fruto (1,35) (Tabela 4). Os componentes de correlação podem atingir valores maiores ou menores que a unidade (VENCOVSKY; BARRIGA, 1993). Isso é possível porque os coeficientes de trilha são estimados com base em dados padronizados, portanto, foram obtidos do mesmo modo que os coeficientes de regressão. Os resultados encontrados corroboram com os resultados obtidos por Rani *et al.* (2008) e Rodrigues *et al.* (2010).

Os efeitos indiretos de número de frutos via massa de frutos, e vice e versa, sobre a produção por planta foram negativos, indicando que à medida que a planta apresenta um grande número de frutos haverá uma redução em sua massa. Isso se deve em função da relação fonte-dreno existente na planta. Pois quanto maior o número de frutos por planta maior será a concorrência por fotoassimilados, resultando em menor massa de fruto. Esses resultados foram semelhantes aos apresentados por Queiroga *et al.* (2008), com a cultura do melão, e por Oliveira *et al.* (2010), com a cultura do mamoeiro, nos quais a diminuição do número de frutos possibilitou o aumento da massa (tamanho).

Tabela 4 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos componentes primários número de frutos por plantas (NFR) e massa de fruto (MFR) sobre a variável básica produção por planta em acessos de mamoeiro (*Carica papaya* L.)

Table 4 - Estimates of the direct and indirect effects of the primary components, number of fruits per plant (NFR) and weight of fruit (MFR), on the basic variable, production per plant, in accessions of the papaya (*Carica papaya* L.)

Variáveis		Estimativa
NFR	Efeito direto sobre produção por planta	1,43
	Efeito indireto via massa de frutos	-1,00
Total		0,43
MFR	Efeito direto sobre produção por planta	1,35
	Efeito indireto via número de frutos	-1,06
Total		0,29
R ²		0,99
Efeito residual		0,01

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o número excessivo de frutos por planta resulta na redução do tamanho, causado pela menor relação entre folhas e frutos remanescentes na planta e um menor suprimento de água e nutrientes dirigidos a eles.

O coeficiente de determinação (0,99) e o efeito residual (0,01), demonstram que quase a totalidade da variável básica é explicada pelos componentes primários (Tabela 4). Esses resultados corroboram com os de Negreiros *et al.* (2007), que obtiveram coeficiente de determinação igual a 1,00 por meio de análise de trilha em maracujazeiro.

As correlações entre os componentes secundários morfológicos e produção por planta foram de baixa magnitude, sendo em grande parte negativas (Tabela 5), destacando-se: altura de inserção de primeira flor (-0,082), altura de inserção de primeiro fruto (-0,014), altura de planta (-0,037). Por outro lado, as correlações entre produção por planta e diâmetro do caule (0,038), comprimento do pecíolo (0,036) e teor de clorofila (0,327) foram positivas.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,186$), e o efeito residual (0,902), considerado alto, demonstraram que as variações ocorridas na variável básica, produção por planta, não foram totalmente explicadas pelas quatro variáveis secundárias aferidas.

Das observações realizadas entre os componentes secundários, verifica-se que teor de clorofila apresentou correlação fenotípica de média magnitude com produção por planta e elevado efeito direto sobre a variável básica, sugerindo que plantas que apresentam maior teor de clorofila têm maior atividade fotossintética, o que resultará em plantas mais produtivas.

A variável altura de inserção de primeiro fruto apresentou efeito direto sobre a produção por planta (0,366), no entanto, a correlação fenotípica foi negativa entre essas características. Isso mostra que os efeitos indiretos dos demais componentes secundários foram negativos e que os efeitos indiretos de altura de planta foram os de maiores contribuições para esse resultado.

Os efeitos das variáveis secundárias morfológicas sobre o componente primário número de frutos foram baixos, exceto para altura de inserção de primeira flor (0,886). Esse resultado demonstra que a seleção de plantas com maiores alturas na inserção de primeira flor resultará em plantas mais produtivas, tendo em vista que o efeito direto dessas características sobre o componente primário, número de fruto, foi positivo. A importância do conhecimento da relação entre os componentes secundários e primários reside no fato de que os primeiros podem ser de fácil mensuração, facilitando portando a seleção da variável principal.

Os efeitos dos componentes secundários sobre massa de fruto foram baixos e negativos, excetuando-se os

apresentados por comprimento de pecíolo (0,305) e teor de clorofila (0,406), sugerindo que a seleção de plantas mais produtivas pode ser realizada indiretamente via tais variáveis. Isso leva a inferir que plantas que apresentam maior teor de clorofila possibilitaram maiores atividades fotossintéticas, por conseguinte, maior distribuição dos fotoassimilados, resultando em maiores produtividades.

Os coeficientes de determinações dos componentes secundários morfológicos sobre os componentes primários foram baixos, sendo de 0,212 para número de frutos e 0,404 para massa de frutos, evidenciando que esses não explicam as variações ocorridas nos componentes primários número e massa de frutos.

As correlações entre os componentes secundários referentes a caracteres de frutos e a variável principal, produção por planta, não foram significativas e de baixa magnitude (Tabela 6). O efeito direto da característica comprimento de fruto sobre a variável principal foi de 0,177, indicando que a correlação existente se deve aos efeitos indiretos dos demais caracteres.

Tabela 5 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos componentes secundários morfológicos sobre as variáveis primárias e a variável principal em acessos de mamoeiro (*Carica papaya* L.)

Table 5 - Estimates of the direct and indirect effects of morphological secondary components on the primary variables and main variable in accessions of the papaya for (*Carica papaya* L.)

Variáveis		Nfr	Mfr	Prod.plt ⁻¹
Apfl	Efeito direto sobre	0,886	-0,203	-0,152
	Efeito indireto via Apfr	0,191	0,052	0,338
	Efeito indireto via Apl	-0,726	-0,119	-0,223
	Efeito indireto via Dca	0,359	-0,037	0,001
	Efeito indireto via Cp	-0,038	0,308	-0,013
	Efeito indireto via Tchl	0,000	-0,001	-0,001
Total		0,207	-0,279	-0,082
Apfr	Efeito direto	0,207	0,056	0,366
	Efeito indireto via Apfl	0,081	-0,188	-0,140
	Efeito indireto via Apl	-0,773	-0,127	0,270
	Efeito indireto via Dca	0,038	-0,385	0,001
	Efeito indireto via Cp	-0,498	0,039	-0,017
	Efeito indireto via Tchl	-0,018	0,524	0,0481
Total		0,185	-0,205	-0,014
Apl	Efeito direto	-0,083	-0,137	-0,291
	Efeito indireto via Apfl	0,077	-0,177	-0,132
	Efeito indireto via Apfr	0,193	0,052	0,340
	Efeito indireto via Dca	0,037	-0,037	0,001
	Efeito indireto via Cp	-0,010	0,008	-0,003
	Efeito indireto via Tchl	0,016	0,053	0,049
Total		0,198	-0,237	-0,037

Continua

Dca	Efeito direto	0,088	-0,088	0,002
	Efeito indireto via Apfl	0,037	-0,087	-0,065
	Efeito indireto via Apfr	0,090	0,024	0,159
	Efeito indireto via Apl	-0,035	-0,058	-0,124
	Efeito indireto via Cp	-0,132	0,123	-0,047
	Efeito indireto via Tchl	-0,037	0,123	0,113
Total		0,011	0,018	0,038
Cp	Efeito direto	-0,038	0,305	-0,138
	Efeito indireto via Apfl	0,008	-0,025	-0,115
	Efeito indireto via Apfr	0,026	0,073	0,473
	Efeito indireto via Apl	-0,002	-0,003	-0,007
	Efeito indireto via Dca	0,030	-0,302	0,001
	Efeito indireto via Tchl	-0,049	0,162	0,149
Total		-0,370	0,421	0,036
Tchl	Efeito direto	-0,122	0,406	0,372
	Efeito indireto via Apfl	-0,000	0,001	0,001
	Efeito indireto via Apfr	0,026	0,007	0,047
	Efeito indireto via Apl	-0,011	-0,018	-0,038
	Efeito indireto via Dca	0,268	-0,267	0,001
	Efeito indireto via Cp	-0,154	0,122	0,055
Total		-0,234	0,492	0,327
(R²)		0,212	0,404	0,186
Efeito residual		0,887	0,771	0,902

Altura de inserção de primeira flor (Apfl, cm); Altura de inserção de primeiro fruto (Apfr, cm); Altura de planta (Apl, cm); Diâmetro do caule (Dca, cm); Comprimento peciolo (Cp, cm); Teor de clorofila (Tchl); Número de frutos (Nfr); Massa de frutos (Mfr, g); Produção por planta (Prod plt-1) * e ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t.

Height of First flower insertion (Apfl, cm); Height of first fruit insertion (Apfr, cm); Plant height (Apl, cm); Stem diameter (Dca, cm); Length of petiole (Cp, cm); Chlorophyll content (Tchl); Number of fruit (Nfr); Weight of fruit (Mfr, g); Production per plant (Prod Plt-1). * and ** Significant at 5 and 1% probability by t-test.

Tabela 6 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias referentes a caracteres de frutos sobre as variáveis primárias e principal produção por planta em acessos de mamoeiro (*Carica papaya* L.)

Table 6 - Direct and indirect effects of the secondary variables relating to fruit characteristics on the primary and main variables, production per plant, in accessions of the (*Carica papaya* L.)

Variáveis	Nfr	Mfr	Prod.plt ⁻¹	
Cfr	Efeito direto	-0,188	0,327	0,177
	Efeito indireto via Dfr	-0,160	0,314	0,194
	Efeito indireto via Eme	0,171	0,158	0,455
	Efeito indireto via Ema	-0,184	-0,089	-0,383
	Efeito indireto via Firf	-0,163	0,016	-0,210
	Efeito indireto via SST	-0,020	0,003	-0,030
Total	-0,549	0,730	0,203	

Continua

Dfr	Efeito direto	-0,342	0,672	0,414
	Efeito indireto via Cfr	-0,088	0,153	0,083
	Efeito indireto via Eme	0,238	0,219	0,632
	Efeito indireto via Ema	-0,305	-0,148	-0,634
	Efeito indireto via Firf	0,139	0,014	-0,179
	Efeito indireto via SST	0,029	0,041	-0,036
Total		-0,666	0,914	0,279
Eme	Efeito direto	0,295	0,272	0,781
	Efeito indireto via Cfr	-0,109	0,191	0,103
	Efeito indireto via Dfr	-0,277	0,544	0,334
	Efeito indireto via EMA	-0,323	-0,157	-0,671
	Efeito indireto via Firf	-0,165	0,016	-0,213
	Efeito indireto via SST	-0,128	0,004	-0,035
Total		0,609	0,869	0,299
Ema	Efeito direto	-0,346	-0,168	-0,719
	Efeito indireto via Cfr	-0,100	0,174	0,094
	Efeito indireto via Dfr	-0,302	0,593	0,365
	Efeito indireto via Eme	0,275	0,254	0,730
	Efeito indireto via Firf	-0,138	0,014	-0,178
	Efeito indireto via SST	-0,030	0,041	-0,037
Total		-0,642	0,871	0,255
Firf	Efeito direto	-0,338	0,343	-0,435
	Efeito indireto via Cfr	-0,091	0,157	0,085
	Efeito indireto via Dfr	-0,141	0,276	0,170
	Efeito indireto via Eme	0,145	0,133	0,383
	Efeito indireto via Ema	-0,015	-0,689	-0,294
	Efeito indireto via SST	-0,149	0,002	-0,018
Total		-0,582	0,534	-0,109
SST	Efeito direto	0,510	-0,07	0,062
	Efeito indireto via Cfr	0,090	-0,156	-0,084
	Efeito indireto via Dfr	0,200	-0,392	-0,241
	Efeito indireto via Eme	-0,165	-0,152	-0,438
	Efeito indireto via Ema	0,203	0,099	0,423
	Efeito indireto via Firf	0,099	-0,010	0,127
Total		0,478	-0,618	-0,152
R²		0,595	0,965	0,239
Efeito Residual		0,635	0,186	0,872

Comprimento de frutos (Cfr, cm); Diâmetro da região mediana do fruto (Dfr, cm); Espessura menor do fruto (Eme, mm); Espessura maior do fruto (Ema, mm); Firmeza interna de fruto (Firf, N); Sólidos solúveis totais (SST, °Brix); Número de frutos (Nfr); Massa de frutos (Mfr, g); Produção por planta (Prod plt-1) * e ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t.

*Length of fruit (Cfr, cm); Mid region diameter of fruit (Dfr, cm); Smallest thickness of fruit (Eme, mm); Greatest thickness of fruit (Ema, mm); Internal firmness of fruit (Firf, N); Total soluble solids (SST, ° Brix); Number of fruit (Nfr); Weight of fruit (Mfr, g); Production per plant (Prod Plt-1). * and ** Significant at 5 and 1% probability by t-test.*

A variável diâmetro da região mediana do fruto apresentou correlação positiva (0,279) e efeito direto com produção por planta, demonstrando que a seleção da característica pode ser realizada de forma indireta. Segundo Cruz *et al.* (2012), caracteres que apresentam efeito direto no mesmo sentido da correlação com o caráter principal indicam presença de causa e efeito, sugerindo que o caráter auxiliar é o principal determinante das alterações no caráter básico.

Dos componentes secundários analisados, observou-se que espessura maior de polpa de fruto (-0,719) apresentou efeito direto e negativo sobre a produção por planta, embora a correlação entre ambos tenha sido positiva (0,255), evidenciando nesse caso que não há sucesso no processo de seleção indireta. De acordo com Cruz *et al.* (2012), caracteres que apresentam efeito direto em sentido contrário à correlação com a variável principal indicam ausência de causa e efeito, sugerindo que o caráter auxiliar não é o principal determinante das alterações na variável básica, existindo outros que poderão proporcionar maior ganho de seleção.

Em situações iguais a essa, sugere-se que o uso de fatores causais indiretos seja considerado simultaneamente no processo de seleção. Nesse contexto, a seleção indireta pode ser realizada via espessura menor de polpa de fruto visto que, das variáveis morfológicas secundárias, foi a que apresentou maior efeito direto e indireto sobre a variável básica.

As variáveis secundárias apresentaram coeficiente de determinação de 0,239% e efeito residual de 0,872% (Tabela 6), evidenciando que essas variáveis não foram efetivas na determinação de produção por plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por Viera *et al.* (2007), que verificaram que os caracteres secundários morfológicos não foram efetivos na determinação da variação principal.

Os efeitos da associação entre os componentes secundários de frutos e o componente primário número de frutos foram negativos, destacando-se aqueles existentes entre diâmetro da região mediana do fruto (-0,666), espessura menor de polpa de fruto (-0,609) e espessura maior de polpa de fruto (-0,642), demonstrando que a

seleção baseada nesses caracteres resulta em menor número de fruto e, por conseguinte, menor produção por planta.

Ao se verificar a influência dos componentes secundários sobre massa de fruto, constatou-se que de maneira geral ocorreram efeitos diretos e positivos, correlações de média a alta magnitude, destacando-se os resultados apresentados pelas variáveis comprimento de fruto (0,327 e 0,730), diâmetro da região mediana de fruto (0,672 e 0,914) e espessura menor de polpa de fruto (0,272 e 0,839) (Tabela 6). Esses resultados demonstram que a seleção truncada seria realizada com êxito, facilitando a obtenção de plantas mais produtivas com bases nas variáveis de fácil mensuração, tais como comprimento de fruto e diâmetro da região mediana de fruto.

Os coeficientes de determinação apresentados pela associação entre os componentes secundários e os componentes primários devem ser destacados. Observou-se que os componentes secundários explicam apenas 59% das alterações ocorrida no componente primário número de fruto e 96% das variações de massa de frutos.

CONCLUSÕES

As correlações fenotípicas foram de magnitudes superiores às genotípicas;

Não houve correlação significativa entre as variáveis agrônomicas avaliadas e a variável principal produção por planta;

As características número e massa de fruto são as principais determinantes das variações ocorridas sobre a produção por planta;

A espessura menor de polpa de fruto apresentou maiores efeitos diretos e indiretos sobre a massa de fruto.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo apoio financeiro no desenvolvimento da pesquisa e a Caliman Agrícola pelo suporte técnico.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

AMORIM, E. P.; RAMOS, N. P.; UNGARO, M. R.; KIIHL, G. A. M. Correlações e análise de trilha em girassol. **Bragantia**, v. 67, p. 307-316, 2008.

ANDRADE, F. A.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FEIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010.

BARILI, L. D.; VALE, N. M.; MORAIS, P. P. P.; BALDISSERA, J. N. C.; ALMEIDA, C. B.; ROCHA, F.; VALENTINI, G.; BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, L. J. M.; GUIDOLIN, A. F. Correlação fenotípica entre componentes do rendimento de grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1263-1274, 2011.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no**

- melhoramento vegetal.** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2004. 142p.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio.** 2. ed. Lavras: UFLA, 2005, 785p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1.512p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: Editora UFV, 2012. v. 2. 514p.
- CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35 p. 271-276, 2013.
- FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa.** Tradução de Silva, M. A. & Silva, J. C. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: Imprensa Universitária, 1981. 279p.
- FERREIRA, F. M. BARROS, W. S.; SILVA, F. L.; BARBOSA, M. H. P.; CRUZ, C. D.; BASTOS, I. T. Relações fenotípicas e genotípicas entre componentes de produção em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 605-610, 2007.
- MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. S. **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção.** Vitória: Incaper, 2003. 497p.
- NEGREIROS, J. R. S.; ÁLVARES, V. S.; BRUCKNER, C. H.; MORGAD, M. A. D. O.; CRUZ, C. D. Relação entre características físicas e o rendimento de polpa de maracujá-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 546-549, 2007.
- NOGUEIRA, A. P.; SEDIYAMA, Y.; SOUZA, L. B.; HAMAWAKI, O. T.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, D. G. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012.
- OLIVEIRA, E. J.; LIMA, D. S.; LUCEMA, R. S.; MOTTA, T. B. N.; DANTAS, J. L. J. Correlações genéticas e análise de trilha para número de frutos comerciais por planta em mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 855-862, 2010.
- QUEIROGA, R. C. F.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R. Produtividade e qualidade de frutos de meloeiro variando o número de frutos e de folhas por planta. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 209-215, 2008.
- RANI, C. I.; VEERARAGAVATHATHAM, D.; SANJUTHA, S. Studies on correlation and path coefficient analysis on yield attributes in root knot nematode resistant F1 hybrids of tomato. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 4, p. 287-295, 2008.
- RODRIGUES, G. B.; MARIN, B. G.; SILVA, D. J. H.; MATTEDI, A. P.; ALMEIDA, V. S. Análise de trilha de componentes de produção primários e secundários em tomateiro do grupo Salada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 155-162, 2010.
- SEVERINO, L. S.; SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; MIRANDA, G. V.; ZAMBOLIM, L.; BARROS, U. V. Associações da produtividade com outras características agrônômicas de café (*Coffea arabica* L. "Catimor"). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1467-1471, 2002.
- SILVA, F. F.; PEREIRA, M. G.; RAMOS, H. C. C.; DAMASCENO JUNIOR, P. C.; PEREIRA, T. N. S.; IDE, C. D. Genotypic correlations of morphoagronomic traits in papaya and implications for genetic breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 7, p. 345-352, 2007.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1993, 496p.
- VIEIRA, E. A.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; MARTINS, L. F.; BENIN, G.; SILVA, J. A. G.; COIMBRA J.; MARTINS, A. F.; CARVALHO, M. F.; RIBEIRO, G. Análise de trilha entre os componentes primários e secundários do rendimento de grãos em trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, p. 169-174, 2007.