

ANÁLISE DE TRILHA PARA CARACTERES RELACIONADOS AO CRESCIMENTO DE MUDAS DE PEPINEIRO

Tiago Olivoto¹, Velci Queiróz de Souza², Ivan Ricardo Carvalho³, Maicon Nardino³, Diego Nicolau Follmann⁴.

¹Eng. Agr., Mestrando em Agronomia, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de Santa Maria *Campus* Frederico Westphalen - RS
tiagoolivoto@gmail.com

²Professor da Universidade Federal de Santa Maria *Campus* Frederico Westphalen - RS.

³Eng. Agr., Doutorando em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas.

⁴Eng. Agr., Doutorando em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria.

Recebido em 31/03/2015 – Aprovado em 15/05/2015 – Publicado em 01/06/2015

RESUMO

A área foliar expressa importância na determinação do potencial produtivo das culturas, sendo determinante na absorção de radiação fotossinteticamente ativa. O objetivo deste trabalho foi revelar as associações fenotípicas entre caracteres relacionados ao crescimento e seus desdobramentos em efeitos diretos e indiretos visando uma estimativa não destrutiva de plântulas de pepineiro híbrido Japonês com maior área foliar. Os experimentos foram realizados no ano agrícola de 2014 em Frederico Westphalen – RS. As mudas de pepineiro híbrido Japonês foram cultivadas em ambiente controlado e natural e avaliadas diariamente por trinta dias. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados em esquema fatorial, sendo: dois (ambientes) x trinta (períodos de avaliação) com cinco repetições. Em cada período de avaliação foram utilizadas cinco plântulas de cada ambiente, mensurando os seguintes caracteres: número de folhas, diâmetro do colo, altura de planta, comprimento da raiz, matéria verde da parte aérea, matéria verde da raiz, área foliar, matéria seca da parte aérea e matéria seca da raiz. Após a obtenção dos dados, realizou-se a análise de variância conjunta, verificando a interação entre os fatores, após aplicou-se a análise de trilha fenotípica individual para cada ambiente. O ambiente de cultivo é decisivo para a expressão da magnitude e o sentido das associações para a área foliar em pepineiro híbrido japonês. No ambiente natural os caracteres que mais contribuem à área foliar são a matéria verde da parte aérea, diâmetro do colo e altura de planta. Em ambiente controlado os caracteres mais associados à área foliar são a matéria verde da parte aérea, matéria seca da parte aérea, altura de planta e comprimento da raiz.

PALAVRAS-CHAVE: área foliar, *Cucumis sativus*, efeitos diretos e indiretos

PATH ANALYSIS FOR CHARACTER RELATED TO THE CUCUMBER SEEDLINGS GROWTH

ABSTRACT

The leaf area expressed importance in determining the yield potential of crops, being determinant in the photosynthetically active radiation absorption. The objective of this study was to reveal the phenotypic associations between traits related to growth and

its developments in direct and indirect effects aiming a non-destructive estimate of cucumber hybrid Japanese seedlings with greater leaf area. The experiment was conducted in the year 2014 in Frederico Westphalen - RS. The seedlings of cucumber hybrid Japanese were grown in a controlled environment and natural environment and evaluated for thirty days. The experimental design was randomized blocks arranged in factorial design, being two (environments) x thirty (evaluation periods), arranged in five replications. In each evaluation period were used five seedlings of each environment, measuring the following traits: number of leaves, stem diameter, seedling height, root length, green matter of shoots, green matter of root, leaf area, dry matter of shoot and dry matter of root. After obtaining the data was held on individual phenotypic path analysis for each environment. The cultivation environment is critical for the expression of the magnitude and the direction of the associations for the leaf area in Japanese hybrid cucumber. In the natural environment the traits that contributed most to leaf area are the green matter of shoots, stem diameter and plant height. In controlled environment most associated traits to leaf area are green matter of shoot, shoot dry weight, plant height and root length.

KEYWORDS: *Cucumis sativus*, effects direct in indirect, leaf area.

INTRODUÇÃO

O pepineiro (*Cucumis sativus*) caracteriza-se como uma hortaliça pertencente à família das cucurbitáceas. A cultura apresenta para o Brasil importância social e econômica, por ser apreciada e consumida em todo o país (CARVALHO et al., 2013). Segundo o IBGE (2006), a produção aproxima-se de 215 mil de toneladas anuais, contribuindo com um montante de R\$ 112 milhões de reais à atividade hortícola Brasileira.

Fatores abióticos como, a temperatura do ar e radiação solar podem influenciar o desenvolvimento da cultura, onde períodos quentes do ano a radiação apresenta-se com maior intensidade, assim a faixa de temperatura ótima para a cultura é facilmente ultrapassada (ANDRIOLO, 1999). Pesquisas revelam que a temperatura ótima para o pepineiro é 25°C (SALATA et al., 2012).

A interação plantas com o ambiente de cultivo determina a produtividade das culturas. Desta forma, a estrutura da planta, o formato das folhas e a magnitude da área foliar, estão diretamente ligados à taxa fotossintética, acúmulo de fotoassimilados e evapotranspiração (BLANCO & FOLEGATTI, 2003). A área foliar caracteriza-se como determinante para o crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura. Sendo a área foliar responsável por interceptar energia luminosa e metabolicamente transformar em energia química, processo este, crucial na determinação do potencial produtivo das culturas (TAIZ & ZEIGER, 2013). Aumentos na absorção de CO₂, aliado a otimização da interceptação de luz, e incremento da taxa fotossintética são revelados para plântulas com maior área foliar, (KERBAUY, 2008).

Embora a área foliar expresse importância na produção de mudas, muitos dos métodos utilizados para sua determinação são inadequados, por serem destrutivos e por necessitarem de equipamentos sofisticados (SEVERINO et al., 2004). As estimativas da área foliar por meio de métodos indiretos não destrutivos foram utilizados para culturas como alface (GUO & SUN, 2001), tomate e pepino (BLANCO & FOLEGATTI, 2003), girassol (MALDANER et al., 2009) e feijão (FILHO et al., 2015). Além de métodos indiretos, existe a necessidade de compreender quais

caracteres morfológicos estão associados à área foliar, revelando, quais destes caracteres são determinantes para o incremento de área fotossinteticamente ativa, para potencializar o crescimento e desenvolvimento do vegetal.

Estas associações fenotípicas podem ser elucidadas por meio da análise de trilha desenvolvida por WRIGHT (1921), a qual revela a capacidade de desdobrar os coeficientes de correlação de Pearson, determinando os efeitos diretos e indiretos e revelando as associações de causa e efeitos sobre o caráter dependente (CRUZ et al., 2012).

Esta técnica tem sido empregada com sucesso em pesquisas de Carvalho et al. (1999), com pimentão (CAIERÃO et al., 2001), com aveia, (COIMBRA et al., 2005), com canola e (SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2009), com batata, comprovando a eficácia da análise de trilha no auxílio da seleção indireta para o melhoramento vegetal.

Diante dos benefícios do uso da análise de trilha para elucidar quais caracteres estão envolvidos na expressão do caráter dependente, este trabalho teve por objetivo revelar as associações fenotípicas entre caracteres de crescimento de mudas de pepineiro híbrido Japonês submetidas aos efeitos de ambiente controlado e natural, e seus desdobramentos em efeitos diretos e indiretos para uma estimativa não destrutiva de plântulas com maior área foliar.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no período de 22/08/2014 a 30/09/2014, nas dependências do Laboratório de Melhoramento Genético e Produção de Plantas da Universidade Federal de Santa Maria *Campus* de Frederico Westphalen – RS, onde as coordenadas correspondem à latitude de 27°23'44,47" S e longitude de 53°25'45,91" O, com altitude de 418 metros. Segundo Köppen (1923), o clima caracteriza-se como Cfa subtropical úmido, com precipitações bem distribuídas ao longo do ano e temperatura média no mês mais quente do ano igual ou superior a 22°C.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados em esquema fatorial, sendo: dois (ambientes) x trinta (períodos de avaliação) com cinco repetições. Os ambientes de cultivo foram denominados como ambiente controlado e ambiente natural. O ambiente controlado caracterizou-se como uma câmara de crescimento acondicionada, em fotoperíodo de 12 horas (h), temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, e radiação de $120 \text{ W m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ fornecida por lâmpadas brancas fluorescentes. O ambiente natural, as mudas foram expostas à fotoperíodo de 12 h, amplitude térmica de 7,5°C e 25,5°C, radiação de $45 \text{ W m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $330 \text{ W m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, conforme dados da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET nº 86951. De acordo com os dados meteorológicos, observou-se (Figura 1) oscilações na temperatura e radiação solar nas condições do ambiente natural (linha contínua), quando comparada às condições mantidas na câmara de crescimento (linha tracejada).

A obtenção das mudas foi realizada por meio de sementes de pepineiro híbrido Japonês *Hokushin*. Na semeadura manual utilizaram-se três sementes por unidade experimental, para garantir o número de indivíduos necessários para aferição dos caracteres de interesse. As unidades experimentais caracterizaram-se em um recipiente de poliestireno numerado, com área útil interna de 200 cm^3 , fundo perfurado e contendo substrato comercial Plantmax Hortaliças HT®. O fornecimento de água para as mudas foi realizado diariamente, até o final dos períodos de

avaliação, com irrigação manual até a saturação do substrato. Após a emergência e consequentemente a emissão dos cotilédones, procedeu-se o raleio das plântulas, deixando apenas uma planta em cada unidade experimental, juntamente a este período iniciou-se as avaliações.

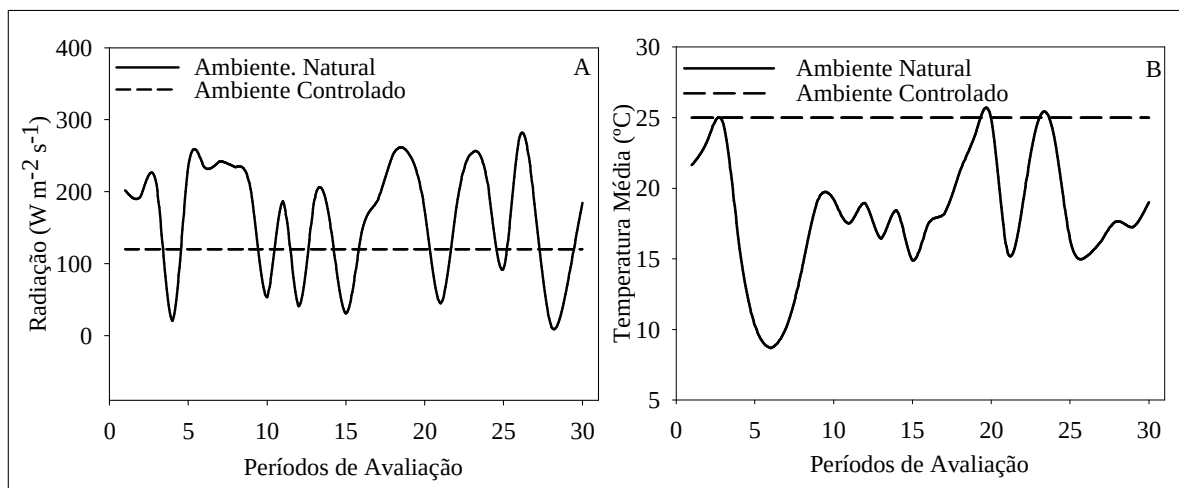


FIGURA 1: Gráfico A, mostra a magnitude da radiação ($\text{W m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nos ambientes de cultivo. Gráfico B demonstra a magnitude da temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) nos ambientes de cultivo. Frederico Westphalen, RS, 2015.

Os caracteres avaliados foram:

Número de folhas (NF): Foi realizada a contagem do número de folhas expandidas em cada planta, em unidades.

Diâmetro do colo (DC): Medida do diâmetro do colo da planta, aferida com um paquímetro digital, resultados em milímetros (mm).

Altura de planta (AP): Medida aferida do colo ao ápice da planta, obtida com uma régua graduada, resultados em centímetros (cm).

Comprimento de raiz (CR): Medida do colo ao ápice da raiz, obtida com uma régua graduada, resultados em cm.

Massa verde de parte aérea (MVPA): Procedeu-se a separação do sistema radicular e da parte aérea da planta, posteriormente aferiu-se a massa utilizando uma balança de precisão, resultados em gramas (g).

Massa verde da raiz (MVRA): Aferiu-se a massa do sistema radicular, utilizando uma balança de precisão, resultados em g.

Área foliar (AF): As folhas de cada planta foram destacadas manualmente, posteriormente aferiu-se a área foliar por meio do integrador Scanner de área foliar Modelo Li-cor 3000 C, resultados em cm^2 ;

Massa seca da raiz (MSRA): As raízes foram acomodadas em sacos de papel devidamente identificados, posteriormente encaminhados a estufa com temperatura de 75°C e ventilação forçada, sendo necessárias 72 horas até massa constante. Após aferiu-se a massa utilizando uma balança de precisão, resultados em g.

Massa seca da parte aérea (MSPA): A parte aérea das plantas foram acomodadas em sacos de papel devidamente identificados, posteriormente encaminhados a estufa com temperatura de 75°C e ventilação forçada, sendo necessárias 72 horas até massa constante. Após aferiu-se a massa utilizando uma balança de precisão, resultados em g.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância conjunta, ao revelar interação para todos os caracteres, confeccionou-se uma análise de trilha fenotípica para cada ambiente de cultivo, visando identificar se as associações entre os caracteres comportavam-se da mesma maneira, tanto no sentido como magnitude dos efeitos.

Para a realização das análises elencou-se a área foliar (Y) como caráter dependente, e os demais caracterizados como explicativos (X). Por ser Y um caráter complexo, que resulta da ação conjunta de outros caracteres, é possível estabelecer o seguinte modelo estatístico: $Y = \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$, sendo X_1, X_2, X_n as variáveis explicativas e Y a variável dependente.

Foram estimados os coeficientes de trilha, baseando-se no sistema de equações $X'X\beta = X'Y$ (LI, 1975), sendo;

$$X'Y = \begin{pmatrix} r_{1y} \\ r_{2y} \\ \vdots \\ r_{ny} \end{pmatrix}, X'X = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{12} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1n} & r_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \text{ e } \beta = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix}$$

Desta forma realizando a decomposição da correlação entre a variável dependente e as variáveis explicativas da seguinte forma (CRUZ et al., 2004):

$$\begin{aligned} r_{1y} &= p_1 + p_2 r_{12} + \dots + p_n r_{1n} \\ r_{2y} &= p_1 r_{12} + p_2 + \dots + p_n r_{2n} \\ &\vdots \\ r_{ny} &= p_1 r_{1n} + p_2 r_{2n} + \dots + p_n \end{aligned}$$

$$r_{iy} = p_i + \sum_{j \neq i}^n p_j r_{ij}$$

Em que:

r_{iy} : correlação entre a variável principal Y (área foliar) e a i-ésima variável explicativa;

p_i : medida do efeito direto da variável i sobre a variável principal;

$p_i r_{ij}$: medida do efeito indireto da variável i, via variável j, sobre a variável principal.

A determinação do diagrama de trilha é dada por:

$$R^2 = p_1 r_{1y} + p_2 r_{2y} + \dots + p_n r_{ny}.$$

Para a obtenção dos efeitos diretos e indiretos na análise de trilha, é necessário que a matriz $X'X$ esteja bem condicionada. Se o modelo de regressão apresentar multicolinearidade, tornando a matriz singular, com correlação entre as variáveis dependentes muito alta ou perfeita (1 a -1), é necessário tomar algumas providências. A primeira possibilidade é a exclusão das variáveis responsáveis pela multicolinearidade, realizando-se a análise com um grupo menor. A segunda se dá com a inclusão da constante K na matriz, quando a exclusão das variáveis não é de interesse do pesquisador (CRUZ & CARNEIRO, 2006; CRUZ et al., 2004). No presente trabalho, incluiu-se para cada análise de trilha a constante K na matriz $X'X$.

Neste modelo, adotaram-se procedimentos semelhantes à análise de regressão em crista, onde se admite que na presença de multicolinearidade, o estimador de mínimos quadrados obtido de $X'Y$, pode estar vinculado a variâncias muito elevadas. Este efeito adverso foi modificado com introdução da constante K na diagonal da matriz $X'X$. Desta forma, os coeficientes de trilha foram obtidos por: $(X'X + KI)^{-1} X'Y$. Segundo Cruz et al. (2004), os valores de K variam de 0 a 1 e devem ser os menores possíveis para onde a maioria dos coeficientes de trilha, vinculados

aos vários caracteres, estejam estabilizados.

Para a confecção das análises utilizou-se o software estatístico Genes (Cruz, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta revelou interação significativa entre ambientes de cultivo x períodos de avaliações das mudas para todos os caracteres avaliados, desta forma procederam-se uma análise de trilha fenotípica para cada ambiente de cultivo, visando identificar se o sentido e a magnitude dos efeitos mantinham-se nos diferentes ambientes.

Para o ambiente natural a massa verde da raiz (MVRA), revela efeito direto baixo e positivo sobre a área foliar. Efeitos indiretos baixos e positivos são evidenciados por meio dos caracteres MVPA, NF, DC e DC, em contrapartida, efeitos baixos e negativos com o CR (Tabela 1). Desta maneira, não somente a magnitude dos caracteres vinculados a raiz das mudas de pepineiro estão envolvidos na área foliar, mas há indícios que a fitomassa de parte aérea, número de folhas, estatura e diâmetro do colmo estão envolvidos na dinâmica deste caráter.

TABELA 1: Estimativa dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos de oito caracteres de crescimento sobre a área foliar (AF), oriundos de mudas de pepineiro híbrido Japonês cultivadas em ambiente natural. Frederico Westphalen, RS, 2015.

Efeitos	Caracteres explicativos							
	MVRA*	MVPA	MSRA	MSPA	NF	DC	AP	CR
Direto sobre AF	0,17	0,23	0,04	0,09	0,11	0,21	0,18	0,05
Indireto via MVRA	-	0,17	0,12	0,17	0,16	0,17	0,17	0,15
Indireto via MVPA	0,23	-	0,15	0,23	0,22	0,23	0,23	0,21
Indireto via MSRA	0,03	0,03	-	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02
Indireto via MSPA	0,09	0,09	0,06	-	0,08	0,09	0,09	0,08
Indireto via NF	0,10	0,10	0,05	0,10	-	0,10	0,10	0,09
Indireto via DC	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	-	0,20	0,18
Indireto via AP	0,17	0,18	0,11	0,17	0,17	0,17	-	0,17
Indireto via CR	-0,05	-0,05	-0,03	-0,05	0,04	0,04	0,05	-
Correlação Total (r)	0,98	0,99	0,62	0,98	0,94	0,97	0,97	0,88
Coeficiente de determinação	0,98							
Valor de K usado na análise	0,05							
Efeito da variável residual	0,13							

* **MVRA:** massa verde da raiz, **MVPA:** massa verde da parte aérea, **MSRA:** massa seca da raiz, **MSPA:** massa seca da parte aérea, **NF:** número de folhas, **DC:** diâmetro do Colo, **AP:** altura de planta, **CR:** comprimento da raiz.

A expressão dos caracteres podem estar ligados ao manejo empregado, desta forma, o plantio de mudas obtidas fora da época ideal para o transplante pode restringir o sistema radicular (ANDRIOLO, 1999) e, prejudicar o crescimento e a eficiência fotossintética da planta (NESMITH & DUVAL, 1998). A correlação total (r=0,99) apresenta-se alta e positiva. Correlações simples com magnitudes elevadas

podem causar erros de interpretação, sendo as respostas obtidas oriundas dos efeitos diretos ou indiretos de um ou mais caracteres (CRUZ et al, 2004).

O caráter massa verde da parte aérea (MVPA) expressa efeito direto com magnitude baixa e positiva ao caráter dependente (Tabela 1). Efeitos indiretos baixos e positivos são revelados com MVRA, NF, DC, AP. A correlação total ($r=0,99$) apresenta-se alta e positiva evidenciando que os efeitos diretos e indiretos são importantes de forma conjunta na expressão do caráter área foliar.

O número de folhas (NF) em ambiente natural (Tabela 1) evidencia efeito direto com baixo e positivo à AF, demonstrando a contribuição positiva para o aumento do caráter dependente. Pesquisas realizadas por Seabra Júnior et al. (2004), apresentam correlação significativa ($r=0,98$) entre o NF das mudas e a AF das plantas de pepineiro. Evidencia-se que as plântulas de pepineiro cultivadas em ambiente natural com maior DC, AP e MVPA, possibilitam incremento na AF. A correlação total ($r=0,94$) demonstra coeficiente de alta magnitude e sentido positivo.

Em condições naturais o caráter diâmetro do colo (DC) revela efeito direto baixo e positivo à área foliar (Tabela 1). Os resultados revelam que o maior crescimento secundário do caule das mudas está associado à magnitude de área foliar das plantas, há indícios indiretos que o crescimento primário e número de folhas estão associados ao caráter dependente. A correlação mostra-se alta e positiva ($r=0,97$) e comprova as relações de causa e efeito das variáveis.

A altura de planta (AP) expressa efeito direto baixo e positivo para ao caráter dependente. Indiretamente a MVRA, MVPA e DC contribuíram para a alta correlação total de Pearson ($r=0,97$). Estudos de COSTA et al. (2010), revelam que híbridos de pepineiro em termos de matéria seca, são dependentes do substrato, ambiente de cultivo, mas não faz referência à correlação do acúmulo de biomassa com a produtividade e área foliar. A estimativa indireta de mudas com magnitude superior de área foliar em ambiente natural, pode ser baseada em plantas que expressem acréscimos aos caracteres, diâmetro do colo, altura de planta, número de folhas, e biomassa verde nas raízes e parte aérea.

As estimativas fenotípicas de causa e efeito, na análise de trilha, mostraram-se confiáveis devido ao alto valor obtido no coeficiente de determinação ($R^2=0,98$) e baixos efeitos residuais (0,13). Desta forma, evidencia-se a importância de identificar as associações e efeitos diretos e indiretos entre o caráter explicativo e o parâmetro principal em pepino híbrido Japonês.

As plantas conduzidas em ambiente controlado apresentam características fenotípicas distintas das conduzidas em ambiente natural, e comprovam a influência do ambiente de cultivo na formação das mudas. O caráter massa verde da raiz (MVRA) revela efeito direto nulo. Estes resultados não revelam ausência de relação entre os caracteres, mais a ausência de linearidade na resposta para este ambiente de cultivo. Indiretamente observa-se (Tabela 2) efeitos baixos e positivos dos caracteres MVPA, MSPA, AP e CR. Plantas conduzidas em ambiente controlado revelam extrema dependência das estruturas vinculadas a parte área da planta, para evidenciar adequadas magnitudes em área foliar. A correlação total mostra-se ($r=0,87$) alta e positiva, assumindo que esta magnitude é dependente do desempenho dos caracteres explicativos.

A massa verde da parte aérea (MVPA) expressa efeito direto baixo e positivo, evidenciando que o acúmulo de massa verde na parte aérea contribui para o aumento da AF (Tabela 2). Aos efeitos indiretos observa-se que os caracteres MSPA, AP e CR revelam efeitos baixos e positivos, e a correlação total ($r=0,98$)

apresenta-se alta e positiva. A análise de trilha permite particionar os coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos, possibilitando quantificar a influência das variáveis independentes sobre o caráter dependente, neste caso a área foliar. O método de partição das correlações para estimativa da causa e efeitos e associações entre caracteres, também foi utilizada com sucesso em outras culturas, como a soja (NOGUEIRA et al., 2012) e (KAVALCO et al., 2014), pimentão (CARVALHO et al., 1999), feijão (KUREK et al., 2001) e trigo (OKUYAMA et al., 2004).

TABELA 2: Estimativa dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos de oito caracteres de crescimento sobre a área foliar (AF), oriundos de mudas de pepineiro híbrido Japonês cultivadas em ambiente controlado. Frederico Westphalen, RS, 2015.

Efeitos	Caracteres explicativos							
	MVRA*	MVPA	MSRA	MSPA	NF	DC	AP	CR
Direto sobre AF	0,01	0,18	0,07	0,15	0,07	0,10	0,16	0,25
Indireto via MVRA	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Indireto via MVPA	0,15	-	0,16	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17
Indireto via MSRA	0,07	0,06	-	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06
Indireto via MSPA	0,13	0,14	0,14	-	0,12	0,13	0,14	0,14
Indireto via NF	0,05	0,07	0,05	0,06	-	0,07	0,05	0,06
Indireto via DC	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	-	0,08	0,08
Indireto via AP	0,14	0,15	0,14	0,15	0,12	0,12	-	0,15
Indireto via CR	0,21	0,24	0,22	0,24	0,21	0,21	0,23	-
Correlação Total (r)	0,87	0,98	0,91	0,99	0,87	0,90	0,94	0,98
Coeficiente de determinação	0,98							
Valor de K usado na análise	0,07							
Efeito da variável residual	0,12							

***MVRA:** massa verde da raiz, **MVPA:** massa verde da parte aérea, **MSRA:** massa seca da raiz, **MSPA:** massa seca da parte aérea, **NF:** número de folhas, **DC:** diâmetro do Colo, **AP:** altura de planta, **CR:** comprimento da raiz.

Em ambiente controlado a massa seca da parte aérea (MSPA) expressa efeito direto sobre a variável dependente, afirmando a contribuição de tal variável para o aumento da área foliar (Tabela 2). Pesquisas de MONTEIRO et al. (2005), em algodoeiro também revelaram associação entre o acúmulo de biomassa nas plantas com a área foliar, sendo possível estimar a área foliar de plantas de algodoeiro com base na matéria seca das folhas obtendo erros inferiores a 2%, contudo o estudo foi realizado somente em um único ambiente. Efeitos indiretos são observados por meio dos caracteres MSPA, AP e CR. A correlação total evidencia coeficiente de alta magnitude e sentido positivo ($r=0,99$). Contudo, altas magnitudes da correlação total, podem ser atribuídas ao somatório dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres explicativos ao caráter principal (VENCOVSKY & BARRIGA, 1992).

O diâmetro do colo (DC) das plantas em ambiente controlado revela efeito direto baixo e positivo ao caráter dependente (Tabela 2). A correlação total ($r=0,90$) evidenciada na variável explicativa expressa alta magnitude e sentido positivo. Devido ao efeito direto do caráter dependente apresentar coeficiente baixo, a alta magnitude observada na correlação total é explicada pelos efeitos indiretos, onde o

aumento da AF está relacionado com a maior AP e CR, em consequência há acúmulo de biomassa verde e seca na parte aérea.

A altura de planta (AP) em ambiente controlado expressa efeito direto baixo e positivo ao caráter área foliar (Tabela 2). Avaliando o desenvolvimento de mudas de mamoeiro em diferentes ambientes de cultivo. ARAÚJO et al. (2006), evidenciaram que em ambiente protegido as mudas de mamoeiro sofrem relativo estiolamento, apresentando maior altura, porém não citam a relação entre esta com outros caracteres morfológicos. A correlação total de Pearson ($r=0,94$) evidencia-se alta e positiva. O comprimento de raiz (CR) das plantas conduzidas em ambiente controlado, expressa efeito direto baixo e positivo a área foliar (Tabela 2). A correlação total ($r=0,98$) evidencia-se alta e positiva.

O ambiente controlado permite revelar quais caracteres associam-se indiretamente à área foliar, desta forma, superioridade ao caráter principal é revelada em plantas com maior MVPA, MSPA, DC, AP e CR. Os resultados ressaltam que em ambiente controlado, com temperatura e fotoperíodo constantes, a plântula prioriza o crescimento da parte aérea, e a emissão de mais folhas, porém apresentam folhas de menor tamanho que as das plantas conduzidas no campo. Sendo assim, sua influência no aumento da área foliar é baixa. Os efeitos fenotípicos de associação entre os caracteres no ambiente controlado expressam alto coeficiente de determinação ($R^2=0,98$) que associado ao baixo efeito residual (0,12) comprovam as inter-relações entre os caracteres avaliados neste ambiente.

Ao comparar a magnitude e o sentido dos efeitos fenotípicos entre ambientes de cultivo, evidencia-se que todos os efeitos revelam modificações quanto às magnitudes. Quanto ao sentido das associações, os caracteres DC e AP mantiveram o sentido independente do ambiente, os caracteres beneficiados pelo ambiente natural que exercem influência direta sobre o incremento da área foliar foram MVPA, DC e AP, em contrapartida, os beneficiados pelo ambiente controlado foram MVPA, MSPA, AP e CR. Desta maneira, o conhecimento das associações é de suma importância para o entendimento de quais caracteres estão envolvidos na expressão da área foliar, mas para o melhor entendimento é necessário levar em consideração os efeitos abióticos do ambiente de cultivo.

CONCLUSÕES

O ambiente de cultivo é decisivo para a expressão da magnitude e o sentido das associações para a área foliar em pepineiro híbrido japonês.

No ambiente natural os caracteres que mais contribuem à área foliar são a massa verde da parte aérea, diâmetro do colo e altura de planta.

Em ambiente controlado os caracteres mais associados à área foliar são a massa verde da parte aérea, massa seca da parte aérea, altura de planta e comprimento da raiz.

REFERÊNCIAS

ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.

ARAUJO, J.R.G.; ARAÚJO JÚNIOR, M.M. MENEZES, R.H.N.; MARTINS, M.R.;

LEMOS, R.N.S.; CERQUEIRA, M.C.M. Efeito do recipiente e ambiente de cultivo sobre o desenvolvimento de mudas de mamoeiro cv Sunrise solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 526-529, 2006.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M.V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 666-669, 2003.

CAIERÃO, E.; CARVALHO, F.I.F.; PACHECO, M.T.; LORENCETTI, C.; MARCHIORO, V.S.; SILVA, J.G. Seleção indireta em aveia para o incremento no rendimento de grãos. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 231-236, 2001.

CARVALHO A.D.F; AMARO G.B.; LOPES J.F.; VILELA N.J.; FILHO M.M.; ANDRADE R. **A cultura do pepino**, 2013 (Circular Técnica 113).

CARVALHO, C.G.P.; OLIVEIRA, V.R.; CRUZ, C.D. CASALI, V.W. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 603-613, 1999.

COIMBRA, J.L.M.; BENIN, G.; VIEIRA, E.A. OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F.; GUIDOLIN, A.F.; SOARES, A.P. Consequências da multicolinearidade sobre a análise de trilha em canola. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 347-352, 2005.

COSTA, E.; LEAL, A.M.; GOMES, V.A.; MACHADO, D.; JARA, M.C. Biomassa de mudas de pepinos híbridos conduzidos sob ambientes protegidos. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 381-386, 2010.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas**. 2. Ed. Viçosa: UFV. 2006, 585p.

CRUZ, C.D. GENES a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35 n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C.D; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 3. Ed. Viçosa: UFV, 2004, 480p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 4. Ed. Viçosa: UFV, 2012, 514p.

FILHO, A.C.; TOEBE, M.; ALVES, B.M.; BURIN, C. Estimação da área foliar de feijão guandu por dimensões foliares. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, 2015.

GUO, D.P.; SUN, Y.Z. Estimation of leaf area of stem lettuce (*Lactuca sativa* var *angustana*) from linear measurements. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 71, n. 7, p. 483-486, 2001.

KAVALCO, S. A. F.; SOUZA, V. Q.; FOLLMANN, D. N.; CARVALHO, I. R.; NARDINO, M.; DEMARI, G. Desenvolvimento da soja com aplicações de hormônios em diferentes densidades de cultivo. **Revista Brasileira de Agropecuária**

Sustentável, v. 4, p. 112-116, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário**. Rio de Janeiro, p. 1-777, 2006.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Koogan, 2008. 431p.

KOPPEN, W. **Klimate der Erde**, 1923. 369p.

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F.; ASSMANN, I.; MARCHIORO, V. S.; CRUZ, P. J.; Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 1, p. 29-32, 2001.

MALDANER I.C.; HELDWEIN, A.B.; LOOSE, L.H.; LUCAS, D.D.P.; GUSE, F.I.; BORTOLUZZI, M.P. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1356-1361, 2009.

MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS, P.C.; CHIAVEGATO, E.J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A.V. PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 15-24, 2005.

NESMITH, D.S.; DUVAL, J.R. The Effect of Container Size. **Hort Technology**, v. 8, n. 4, p. 495-498, 1998.

NOGUEIRA, A.P.O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L.B.; HAMAWAKI, O.T.; CRUZ, C.D.; PEREIRA, D.G.; MATSUO, E. 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.

OKUYAMA, L. A.; FERERIZZI, L. C.; BARBOSA NETO, J. F. Correlation and path analysis of yield and its components and plant traits in wheat. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1701-1708, 2004.

SALATA, A.C.; BERTOLINI, E.V.; MAGRO, F.O.; CARDOSO, A.I.I.; WILCKEN, S.R.S. Enxertia e sua influência na produção de pepino e reprodução de *Meloidogyne javanicae* M. incognita. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 590-594, 2012.

SEABRA JÚNIOR, S.; GADUN, J.; CARDOSO, A.I.I. Produção de pepino em função da idade das mudas produzidas em recipientes com diferentes volumes de substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 610-613, 2004.

SEVERINO, S.; CARDOSO, G.D.; VALE, L.S. Do; SANTOS, J.W. Dos. Método para determinação da área foliar em mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras**, v. 8, n. 1, p. 753-762, 2004.

SILVA, G.O.; PEREIRA, A.S.; SOUZA, V.Q.; CARVALHO, F.F.I.; FRITSCH NETO, R. Correlação entre caráter fenotípicos e análise de trilha para aparência e rendimento em batata. **Revista Ceres**, v. 56, n. 1, p. 063-068, 2009.

SILVA, G.O.; PEREIRA, A.S.; SOUZA, V.Q.; CARVALHO, F.F.I.; FRITSCH NETO, R. Correlações entre caráter de aparência e rendimento e análise de trilha para aparência de batata em primeiras gerações de seleção. **Bragantia**, v. 66, n. 3, p. 381-388, 2007.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 954p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento, **Revista Brasileira de Genética**, 496. 1992.

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