

ESTIMAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DA ÁREA FOLIAR EM ABOBRINHA-ITALIANA

**Gustavo Sessa Fialho¹, Leandro Pin Dalví¹, Marcos Antônio Dell'Orto Morgado¹,
Vanessa Bicalho Corrêa², Emanuel Mareto Effgen², Karin Tesch Kuhlcamp²,
Anderson mathias holthz³**

¹Universidade Federal de Viçosa/UFV – Dept^o. Fitotecnia –36571-000 – Viçosa, MG – gsfialho@hotmail.com

²Universidade Federal do Espírito Santo-CCA - Dept^o. Produção Vegetal – 29500-000 –
Alegre, ES – nessa@hotmail.com

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Unidade Colatina, Campus
Itapina - 29709-910 - Colatina, ES - aholtz@insecta.ufv.br

Resumo- Métodos não destrutivos para se estimar a área foliar, rápidos, de fácil execução e que apresentem graus aceitáveis de precisão são úteis para se estudar o crescimento das plantas em condições de campo. Desta forma, estimou-se a área foliar de plantas de abobrinha-italiana através de modelos de regressão. As áreas foliares, mensuradas por meio de um integrador foliar, foram colocadas em função das dimensões foliares (comprimento-*C*, Largura-*L* e do produto-*CL*) das folhas que lhes deram origem. Diversos modelos foram gerados, todavia, apenas os três mais relevantes foram estudados, dentre os quais, o melhor estatisticamente foi eleito para análise de validação. Concluiu-se que a área foliar de abobrinha-italiana, cultivada a campo, pode ser predita com base na largura da folha (*L*) através do seguinte estimador: $(\overline{A}_L) = 47.3647 + 0.6211L^2$, que por sua vez, mostrou-se preciso, exato, simples, rápido e prático; sendo confiável em predizer esta importante variável agrônômica.

Palavras-chave: *Cucurbita pepo*, modelos de regressão, análise de crescimento, fisiologia

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias

Introdução

A abobrinha-italiana (*Cucurbita pepo*) é uma hortaliça de grande valor econômico principalmente na região sudeste. A cultura apresenta ciclo curto, sendo a colheita realizada entre 45 a 60 dias após o plantio (FILGUEIRA, 2003). As plantas apresentam folhas mosqueadas e sistema de crescimento vegetativo em forma de moita, distinguindo-se das demais abóboras também por possuírem hastes curtas e relativamente grossas (SOUSA et al., 2002).

No contexto da produção vegetal, a análise quantitativa do crescimento, que envolve o acúmulo de massa seca na planta como um todo, mantém correlação direta com sua área foliar fotossinteticamente ativa. Deste modo, Lima et al. (2008) afirmam que o conhecimento da área foliar é importante para o entendimento da fotossíntese, interceptação luminosa, uso da água e nutrientes e conseqüentemente do potencial produtivo, podendo ainda auxiliar na compreensão do processo de partição de assimilados.

Monteiro et al. (2005) relatam que a avaliação da área foliar deve ser usada na investigação da adaptação ecológica dos vegetais a novos ambientes, no entendimento da competição entre diferentes espécies, efeitos de manejo, tratos culturais e ataques de pragas e

doenças; fatores determinantes da produtividade agrícola.

Existem diversos métodos para a determinação da área foliar, porém os mais comuns além de caros baseiam-se em técnicas destrutivas restringindo-se aos laboratórios. Ainda segundo Lima et al. (2008), para a quantificação da área foliar via métodos destrutivos faz-se necessário um grande número de plantas nas parcelas experimentais, o que torna os ensaios demasiadamente grandes e muitas vezes impraticáveis.

Como alternativa viável aos métodos destrutivos, tem-se a estimativa indireta da área foliar, que pode ser acessada através de variáveis da folha que apresentem dependência linear com a superfície da mesma, servindo-se para tal das técnicas de interação numérica (equações de regressão). Neste sentido, a área foliar real é posta em função de uma ou mais variáveis dimensionais da folha objetivando-se encontrar uma equação preditora que seja simples, precisa, exata e rápida.

Os modelos mais comuns têm utilizado como variáveis independentes o comprimento da nervura principal, a largura máxima da folha e possíveis relações matemáticas existentes entre estas dimensões (OGA e FONSECA, 1994; LIMA et al. 2008).

O objetivo deste trabalho foi obter uma equação de regressão confiável (estimador), para prever a área foliar de plantas de abobrinha-italiana, cultivadas a campo, através de variáveis biométricas tomadas de seus limbos; comprimento (C), largura (L) e seu respectivo produto (CL). Visto que, trabalhos envolvendo esta espécie e o tema proposto, são raros na literatura específica.

Metodologia

- Coleta de material biológico e construção dos modelos de regressão

O estudo foi conduzido utilizando-se de plantas provenientes de um cultivo convencional, a campo, localizado na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) município de Alegre-ES (Latitude Sul 20° 45'48"; Longitude Oeste 41° 31'57"; Altitude 250 m).

Coletou-se aleatoriamente 10 plantas em fase de frutificação, aproximadamente aos 35 dias após o plantio, das quais se extraíram todos os limbos foliares isentos de deformidades, totalizando 100 limbos. Em laboratório, determinaram-se: 1) a área foliar de cada limbo (A_f em cm^2) através de um integrador foliar (modelo LI 3100 LICOR); 2) o comprimento ao longo da nervura principal de cada limbo (C em cm) e; 3) a largura máxima perpendicular a nervura principal da folha (L em cm).

Os modelos de regressão foram gerados a partir de 60 observações independentes dos referidos limbos (A_f como função linear de C, L e CL), sendo as outras 40 observações reservadas para o estudo de validação do modelo escolhido.

Os critérios estatísticos para a escolha do melhor modelo de regressão basearam-se: a) na análise de variância da regressão: teste-F significativo para a regressão ($\alpha=0,01$); b) teste-t de Student significativo para os parâmetros do modelo sob a hipótese: $H_0: \beta_i = 0$ vs. $H_1: \beta_i \neq 0$ ($\alpha=0,01$); c) coeficiente de determinação ajustado para os graus de liberdade (R_a^2); d) erro padrão das estimativas (EPE) e; e) padrão de dispersão dos resíduos (ANTUNES et al., 2008).

- Validação dos modelos

Netas fase lançaram-se mão das 40 observações independentes dos limbos foliares anteriormente reservadas; $n=40$.

Para verificar a exatidão do modelo escolhido na etapa anterior, inicialmente, ajustou-se um novo modelo de regressão linear simples sem interceptação (MRLSSI), relacionando-se os valores de área foliar mensurados pelo integrador de área foliar nas 40 observações ($A_{f_{obs}}$) com os

preditos pelo modelo de regressão adotado ($A_{f_{est}}$). Desta maneira:

$$Y_i = \beta X_i + \epsilon_i$$

em que: Y_i representa a área da i-ésima folha obtida pelo modelo de regressão escolhido - $A_{f_{est}}$; β , o coeficiente angular ou regressor; X_i corresponde à área da i-ésima folha observada - $A_{f_{obs}}$, e ϵ_i , ao erro aleatório associado a cada observação. O parâmetro β foi estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Para o MRLSSI, testou-se a hipótese: $H_0: \beta = 1$ vs. $H_1: \beta \neq 1$ ($\alpha=0,01$), que corresponde à equivalência entre as medidas de área foliar, preditas pela equação adotada e a observadas, mensurada em laboratório.

A existência de dependência linear entre valores observados e estimados no que tange sua magnitude e sentido foi investigada através da correlação de Pearson (r).

O erro inerente ao modelo escolhido foi avaliado como "erro relativo médio" (ERM%), média do valor das diferenças (em módulo) entre os valores de área foliar estimados e observados, expressa como porcentagem dos valores observados.

A verificação da concordância entre as estimativas do modelo escolhido e os valores de área foliar observados foi realizada executando-se a estatística (d) de Willmott, na qual os valores encontrados variam de "zero" (sem concordância) a "um" (concordância perfeita). O valor de (d) é calculado por meio da seguinte equação:

$$d = 1 - \frac{[(\sum_{i=1}^n (A_{f_{est}i} - A_{f_{obs}i})^2)]}{(\sum_{i=1}^n A_{f_{obs}i}^2)}$$

onde,

d = índice de concordância de Willmott; $A_{f_{est}}$ = área foliar estimada pelo modelo de regressão escolhido; $A_{f_{obs}}$ = área foliar observada e; $\overline{A_{f_{obs}}}$ = média geral das áreas foliares observadas (TAVARES-JÚNIOR et al., 2002; REIS et al., 2007; BEZERRA, 2009).

As análises estatísticas foram realizadas nos programas "SigmaPlot" (JANDEL SCIENTIFIC, 1986), "Table Curve 2D v5.0 trial" (JANDEL SCIENTIFIC, 1991) e "Genes" - aplicativo computacional em genética e estatística v. 1.0.0 (CRUZ, 2006).

Resultados

Diversos modelos lineares e não lineares entre as dimensões comprimento (C), largura (L) e a área foliar (A_f) foram ajustados para a determinação não destrutiva da área foliar de abobrinha-italiana (dados não exibidos). Todavia,

apresentam-se aqui, três modelos lineares polinomiais de ordem 1, 1,5 e 2; visto que no geral, melhor satisfizeram as estatísticas pré-estabelecidas. Desta maneira, optou-se por compará-los, elegendo dentre os tais o que seja

melhor estatisticamente para o fim a que se destina. Dois deles envolvendo separadamente (C e L) e o outro, o produto (CL) (Figura1 – A, B e C).

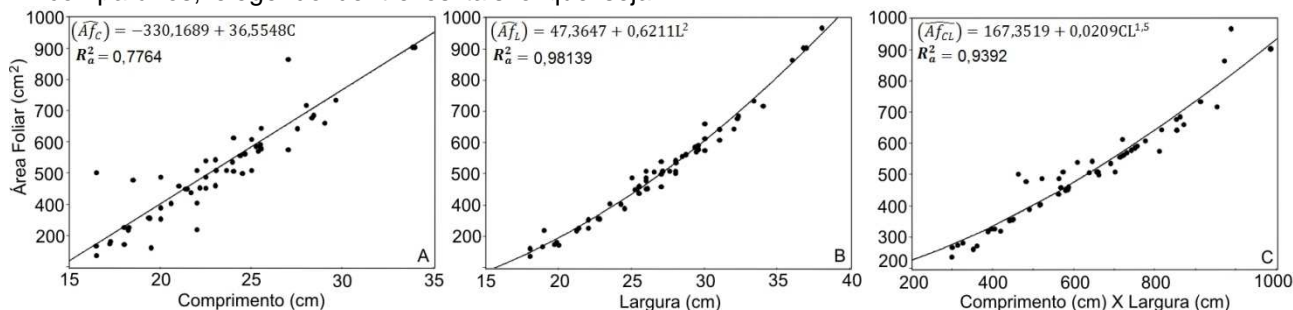


Figura 1 Relação entre a área foliar estimada e as dimensões foliares: A - comprimento (C); B – largura (L) e; C – produto (CL) para abobrinha-italiana usando modelos polinomiais de regressão.

O coeficiente de determinação ajustado para os graus de liberdade dos modelos testados foram: 98,14%, 93,92% e 77,64%; para os modelos, Af_L , Af_{CL} e Af_C , respectivamente (Fig.1; Tabela 1). Logo, Os modelos que usam L e CL para predizerem a área foliar em abobrinha-italiana são mais precisos (maiores R_a^2 e menores EPE).

Salienta-se ainda que, em Af_L a redução dos erros das estimativas (menor EPE), foi manifestada através de um incremento no F_{calc} e decréscimo na soma de quadrado residual (SQR) comparando-se com os demais modelos (Tabela 1).

Tabela 1 Modelos estatísticos, parâmetros da regressão, erro padrão das estimativas (EPE), coeficientes de determinação ajustados para os graus de liberdade (R_a^2), graus de liberdade do resíduo (g.l-R), soma de quadrados do resíduo (SQR), F-Calculado (F_{calc}) e estimadores da área foliar (Af) como funções das dimensões lineares das folhas de abobrinha-italiana (comprimento, C; largura, L)

Modelo	Parâmetros	EPE	R_a^2	g.l-R	SQR	F_{calc}	Estimador da Af
$Af_C = a_0 + a_1C + a_2C^2$	$\hat{a}_0 = -330,1689^{**}$ $\hat{a}_1 = 36,5548^{**}$	76,6076	0,7764	58	340386,900	210.58**	$(Af_C) = -330,1689 + 36,5548C$
$Af_L = a_0 + a_1L + a_2L^2$	$\hat{a}_0 = 47,3647^{**}$ $\hat{a}_1 = 0,6211^{**}$	22,1039	0,98139	58	28337,829	3168.11**	$(Af_L) = 47,3647 + 0,6211L^2$
$Af_{CL} = a_0 + a_1CL + a_2CL^{1.5}$	$\hat{a}_0 = 167,3519^{**}$ $\hat{a}_1 = 0,0209^{**}$	39,9287	0,9392	58	92469,644	930.66**	$(Af_{CL}) = 167,3519 + 0,0209CL^{1.5}$

**Parâmetros – significativo pelo teste-t ($\alpha = 0.01$); ** F_{calc} – significativo pelo teste F ($\alpha = 0.01$)

O padrão de distribuição dos resíduos ao longo das variáveis independentes dos modelos contrastados encontra-se na Figura 2 – A, B e C. Destaca-se que o melhor padrão foi obtido também para o modelo Af_L (Fig. 2-B), onde um comportamento de distribuição residual normal (erros homocedásticos) foi observado. Para os demais modelos além de clara heterocedasticidade residual, houve a presença de observações aberrantes, condenando a estimação dos parâmetros desses modelos via método dos mínimos quadrados ordinários, a menos que os dados passem por um correto tratamento prévio (ex. transformação de dados) (Fig. 2 – A, C).

Deste modo, guardando a maior simplicidade em conter apenas uma variável (Largura - L), menor EPE, maior R_a^2 , parâmetros da regressão significativos e um padrão normal de distribuição dos resíduos; o modelo escolhido foi: Af_L , linear polinomial de ordem 2 (Tabela 1), possuindo como estimador: $(Af_L) = 47,3647 + 0,6211L^2$.

A validação mostrou que o modelo escolhido é bastante confiável preciso e exato. Haja vista que, no modelo linear sem interceptação gerado o parâmetro β não diferiu da unidade pelo teste-t de Student ($\alpha = 0,01$) (Fig. 3).

Observou-se forte dependência linear entre os dados observados e estimados pelo modelo polinomial de ordem 2 através da coeficiente de correlação de Pearson ($\hat{\rho} = 0,9687$), sua magnitude foi próxima a unidade e os dados mostraram o mesmo sentido de variação (Fig. 3).

O erro relativo médio expresso em porcentagem dos dados observados foi da ordem de 5%, consideravelmente pequeno, reforçando a acurácia do modelo escolhido (Fig. 3).

A estatística (d) de Willmott revelou nítida concordância entre os dados observados de

estimados ($\hat{d} = 0,9816$), reafirmando os resultados das as estatísticas anteriormente executadas para o modelo testado (Fig. 3).

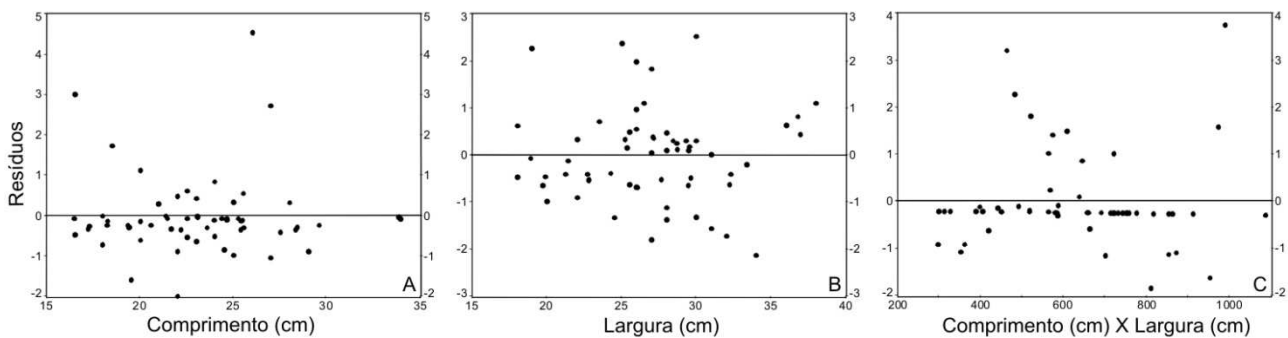


Figura 2 Análise de dispersão padrão dos resíduos para os respectivos modelos A - Af_C , B - Af_L e C - Af_{CL} .

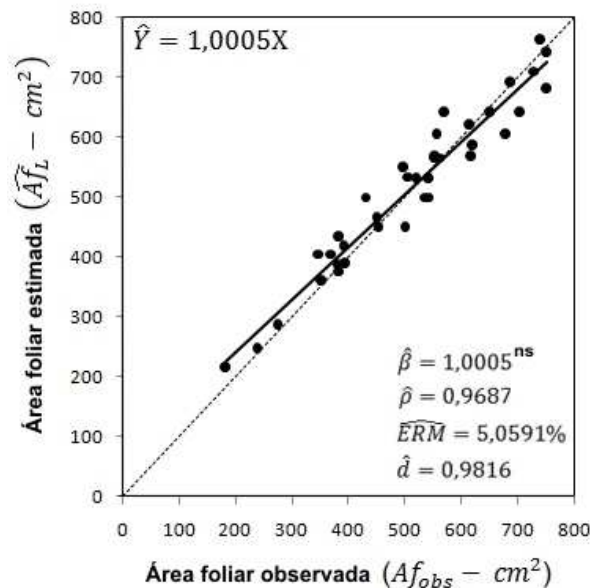


Figura 3 Relação entre área foliar observada e estimada usando o modelo linear polinomial de ordem 2 baseado apenas na largura da folha (L) (vide tabela 1). Encontram-se inseridas na figura os resultados das estatísticas utilizadas na validação do modelo: teste- t para o β sob a hipótese $\rightarrow H_0: \beta = 1$ vs. $H_1: \beta \neq 1$; coeficiente de correlação de Pearson ($\hat{\rho}$), erro relativo médio em porcentagem dos valores observados (ERM%) e índice de concordância de Willmott (\hat{d}). A linha pontilhada é a reta de equivalência 1:1. (ns) - não significativo pelo teste- t de Student ($\alpha=0,01$).

Discussão

A área foliar (Af) é variável chave para a maioria dos estudos agrônômicos e fisiológicos que envolvem o crescimento de plantas, interceptação luminosa, eficiência fotossintética, evapotranspiração e respostas a fertilizantes e irrigação (BLANCO e FOLEGATTI, 2005). Este fato é relevante, visto que, diferenças nas taxas fotossintéticas e transpiração podem afetar diretamente a qualidade e o rendimento de frutos de abobrinha-italiana (CARPES, 2006).

Diversos estudos envolvendo outras espécies vegetais corroboram com a idéia desenvolvida neste trabalho, estabelecendo relações reais entre a área foliar e as dimensões da folha, dentre elas, destacamos: abóbora (SILVA et al., 1998); meloeiro (NASCIMENTO et al., 2002); taboa (BIANCO et al., 2003); erva-de-touro (BIANCO et al., 2004); algodoeiro (MONTEIRO et al. 2005); caruru (CARVALHO e CHRISTOFFOLETI, 2007); antúrio (SILVA et al., 2008) e; café (ANTUNES et al. 2008).

Em abobrinha-italiana as análises de regressão mostraram que a maior parte da variação nos valores de área foliar foi explicada através das variáveis comprimento (C) e largura (L). Estimativas do erro padrão das estimativas (EPE) semelhantes às encontradas neste estudo

foram obtidas por Serdar e Demirsoy (2006), ao usarem modelos preditores da área foliar em castanheira em função das dimensões foliares. Para os referidos autores o menor EPE esteve relacionado ao modelo polinomial de ordem 2, estas informações acordam com o observado neste trabalho.

A opção pelo estimador $(\hat{A}_f/L) = 47.3647 + 0.6211L^2$ em detrimento dos demais mostrou-se correta, haja vista os resultados obtidos pelo mesmo durante sua validação. O pequeno erro relativo médio (ERM) de 5% observado pode ser explicado pela grande variabilidade no tamanho e forma das folhas utilizadas. O que não desmerece o modelo diante de seu perfeito ajuste, mostrado pelas demais estatísticas utilizadas para validar sua confiabilidade.

Desta maneira, $(\hat{A}_f/L) = 47.3647 + 0.6211L^2$ mostra-se: preciso, exato, simples, rápido e prático; corroborando com os resultados de Silva et al. (1998), que trabalhando com “abobora” (não especificaram a cultivar) concluíram ser o modelo polinomial de ordem 2, o melhor para estimar a área foliar com base nas dimensões foliares destas plantas cultivadas a campo.

Conclusão

A área foliar de abobrinha-italiana, cultivada a campo, pode ser predita com base na largura da folha (L) através do seguinte estimador: $(\hat{A}_f/L) = 47.3647 + 0.6211L^2$, que por sua vez, mostrou-se preciso, exato, simples, rápido e prático; sendo confiável em prever esta importante variável agrônômica.

Referências

- ANTUNES, Werner C.; POMPELLI, Marcelo F.; CARRETERO, Diego M.; DaMATTA, F. M. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*). **Ann. Appl. Biol.**, v. 153, p. 33-40, 2008.
- BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; CARVALHO, L. B. Estimativa da área foliar de *Tridax procumbens* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 247-250, 2004.
- BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; PITELLI, A. M. C. M. Estimativa da área foliar de *Typha latifolia* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 257-261, 2003.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Sci. Agric.**, v.62, p. 305-309, 2005.
- CARPES, R. H. Variabilidade da produção de frutos de abobrinha italiana em função do manejo. 2006. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS. 2006.
- CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Estimativa da área foliar de cinco espécies de do gênero *Amaranthus* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, v. 25, p. 317-324, 2007.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: Estatística experimental e matrizes**. Viçosa: UFV, 2006. 285p.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Oleicultura: Agrotecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 412p.
- JANDEL SCIENTIFIC. **SigmaPlot Scientific Graphing Software – User's Manual**. Jandel Scientific, San Rafael, CA, USA, 1986.
- JANDEL SCIENTIFIC. **Table Curve 2D Software: User's manual**. California: Jandel Scientific, 1991. 280p.
- LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; OLIVEIRA FILHO, A. F. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão caupi. **Caatinga**, v. 21, p. 120-127, 2008.
- MELO, S. B. de. Modelagem da irradiância solar global para a região de Mossoró-RN. 2009. 97p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2009.
- MODENESE-GORLA DA SILVA, S. H.; LIMA, J. D.; BENDINI, H. N.; NOMURA, E. S.; MORAES, W. S. Estimativa da área foliar do antúrio com o uso de funções de regressão. **Cienc. Rural**, v. 38, p. 10-15, 2008.
- MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS, P.C.; CHIAVEGATO, E.J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A.V.; PRELA, A. Estimativa da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v.64, n.1, p.15-24, 2005.
- NASCIMENTO, L. B.; FARIAS, C. H. A.; SILVA, M. C. C.; MEDEIROS, J. F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; NEGREIROS, M. Z. Estimativa da área foliar do meloeiro. **Hortic. bras.**, v. 20, n. 4, p. 555-558, 2002.

- OGA, F.M.; FONSECA, C.E.L. Um método rápido para estimar a área foliar de cagaiteira (*Eugenia dysenterica* D.C.) **Pesq. agropec. bras.**, v. 29, n.4, p.571-577, 1994.
- REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRI, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco. **Idesia**, v. 23, p. 1-10, 2007.
- SEDAR, Ü.; DEMIRSOY, H. Non-destructive leaf area estimation in chestnut. **Sci. Hortic.**, v.108, n.2, p.227-230, 2006.
- SILVA, N. F.; FERREIRA, F. A.; FONTES, P. C. R.; CARDOSO, A. A. Modelos para estimar a área foliar de abóbora por meio de medidas lineares. **Rev. ceres**, v. 45, n. 259, p. 287-291, 1998.
- SOUZA, M.F.; LÚCIO, A.D.; STORCK, L.; CARPES, R.H.; SANTOS, P.M.; SIQUEIRA, L.F. Tamanho da amostra para peso da massa de frutos, na cultura da abóbora italiana em estufa plástica. **R. bras. Agrociência**, v. 8, n. 2, p. 123-128, mai-ago, 2002.
- TAVARES-JÚNIOR, J. E.; FAVARIN, J. L.; DOURADO-NETO, D.; MAIA, A. H. N.; FAZUOLI, L. C.; BERNARDES, M. S. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas-SP, v. 61, p. 2, 2002.