

Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central

Joel L. Queiroga¹; Euclides D. U. Romano²; José R. P. Souza³; Édison Miglioranza³

¹UEL-CCA, Mestrando em Agronomia, UEL/CCA/Depto de Agronomia, C.P. 6001. CEP 86.051-990, Londrina-PR; E-mail: joel@uel.br

²Bc. Físico. Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), C.P. 481. CEP 86.047-902. Londrina-PR; E-mail: r.euclides@mailcity.com

³UEL-CCA, Prof. Dr. UEL/CCA/Depto. de Agronomia, C.P. 6001. CEP 86.051-990. Londrina-PR; E-mail: jose@uel.br; emiglior@uel.br

RESUMO

O experimento objetivou estabelecer um modelo matemático para estimar a área foliar de feijão-vagem de crescimento determinado por meio da largura máxima do folíolo central. As medidas foram realizadas em seis plantas (método não-destrutivo) e em quatro plantas (método destrutivo) aos 21, 30, 37, 44 e 51 dias após a emergência. A área foliar real foi determinada por meio do medidor "Area Meter" (modelo LICOR LI-3000). Os modelos matemáticos obtidos por regressão foram aplicados aos métodos destrutivos e não destrutivos, e comparados à área foliar estimada e a real. O modelo de potência ($AF = 0,1026 * L^{1,6871}$, $R^2=0,98$) estima a área foliar (AF) de plantas de feijão-vagem de crescimento determinado, portanto a largura máxima do folíolo central (L) pode ser usada para determinar a área foliar pelo método não-destrutivo.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., método não-destrutivo, medida linear.

ABSTRACT

Model to estimate the leaf area of snap bean

An experiment was conducted to establish a mathematical model based on the linear measurement of the maximum width of the central leaflet to estimate the leaf area of determinate type of snap bean. The measurements were made using the non-destructive method in six plants and the destructive method in four plants on the 21, 30, 37, 44 and 51 days after emergence. The area of each leaflet was obtained by using an area meter LICOR LI-3000 model. The models, obtained by regression, were tested in destructive and non-destructive methods comparing the estimated and the measured leaf area. The model $AF = 0.1026 * L^{1.6871}$ ($R^2=0.98$) was effective to estimate the leaf area (AF) of snap bean plants in non-destructive way showing that the maximum width of the central leaflet (L) estimates the real leaf area.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., non-destructive method, linear measure.

(Recebido para publicação em 27 de agosto de 2001 e aceito em 12 de setembro de 2002)

A produção de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) para o consumo humano é caracterizada em grande parte por cultivares com hábito de crescimento indeterminado. O desenvolvimento de novas cultivares de feijão-vagem com crescimento determinado e ciclo de desenvolvimento mais curto têm despertado interesse de pesquisas que avaliam as características de crescimento e produção desses materiais.

A busca de métodos fáceis de serem executados, rápidos e não-destrutivos que estimem a área foliar com precisão torna-se importante para avaliar o crescimento das plantas nas condições de campo. Estes métodos trazem como vantagem o fato de que as amostragens poderão ser executadas com as mesmas plantas durante o seu ciclo de desenvolvimento reduzindo o erro experimental associado com procedimentos de amostragens destrutivas (Silva *et al.*, 1998).

As equações matemáticas desenvolvidas para determinação da área foliar dos folíolos são obtidas por modelos de

regressão, baseados em medidas lineares. Davis (1940) observou que os folíolos laterais de folhas de feijoeiro apresentaram formato irregular quando comparados com o folíolo central. Logo, se espera maior correlação existente entre a área do folíolo central e as medidas de largura e comprimento dos folíolos centrais em relação aos folíolos laterais.

Benincasa *et al.* (1976) determinaram fatores de correção, os quais correlacionaram o produto comprimento-largura do folíolo de feijoeiro com a área foliar obtida com planímetro em diferentes intensidades de radiação solar e microclimas.

Zaffaroni (1981), verificou por análise de regressão múltipla, que a área foliar do feijão macassar (*Vigna unguiculata* L.) teve melhor correlação com a largura do que com o comprimento do folíolo. Resultados similares foram verificados para as espécies daninhas: *Amarantus retroflexus* L. (Bianco *et al.*, 1995), *Richardia brasiliensis* (Gomez

(Rosseto *et al.*, 1997) e *Raphanus raphanistrum* L. (Tofoli *et al.*, 1998).

Embora a equação com base no produto do comprimento pela largura da folha tenha apresentado as melhores estimativas de área foliar para *Curcubita pepo* L. e o maior coeficiente de determinação, os pesquisadores NeSmith (1992) e Silva *et al.* (1998) optaram pelo modelo baseado na medida linear de largura da folha como o mais apropriado, por que esta metodologia oferece maior facilidade na coleta dos dados e menor complexidade nos cálculos.

Bergamin Filho *et al.* (1997) utilizaram modelo matemático não-linear obtido pela relação existente entre a maior largura do folíolo central e a área total da folha para estimar a área foliar danificada por patógenos em feijoeiro.

O presente trabalho tem por objetivo estabelecer um modelo matemático baseado na medida linear do folíolo para estimar a área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) de crescimento determinado, uma vez que a área foliar

pode ser uma importante ferramenta na análise de crescimento e produtividade das plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, PR (Lat.:23°29'41,4"S, Long.: 51°12'5,5"W), durante os meses de outubro a novembro de 1999. Para tanto, utilizou-se a cultivar UEL-2 de feijão-vagem, de crescimento determinado, altura média de 40 cm, vagens retas com secção achatada e colheita em torno de 55 dias após a emergência (Athánázio *et al.*, 1998).

Segundo a classificação de Köppen o clima é do tipo Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa). A temperatura média foi de 21,6°C (mínima de 15°C e máxima de 28°C) e a umidade relativa do ar média foi de 53,9% (mínima de 39,8% e máxima de 94,7%). A radiação solar média semanal foi de 3.000 cal/cm².

Logo após o preparo do solo por meio de enxada rotativa foram realizadas, manualmente, as operações de abertura de sulcos, adubação e semeadura. Abriram-se vinte sulcos de 10 metros de comprimento cada um e espaçados entre si de 0,50m e com uma profundidade de 0,05m. A adubação química consistiu na aplicação de 700 kg/ha de fertilizante formulado 8-28-16 (N, P, K). Distribuíram-se 20 sementes por metro linear para posterior desbaste. O desbaste foi realizado aos nove dias após a emergência (DAE) deixando-se 10 plantas por metro linear. Aplicaram-se 200 kg/ha de uréia aos 10 DAE.

Realizaram-se irrigações por aspersão para manter uma lâmina de água de 30 ml semanalmente até o final do ciclo da cultura. Durante o período vegetativo do feijoeiro, foram realizadas pulverizações com inseticida para controle de vaquinhas (*Diabrotica speciosa*) e de fungicida para controle de oídio (*Erysiphe polygoni*).

O delineamento experimental utilizado foi blocos inteiramente casualizados, com cinco tratamentos (avaliações ao 21, 30, 37, 44 e 51 DAE). Cada planta avaliada correspondeu a uma parcela (Pimentel Gomes, 1973) e

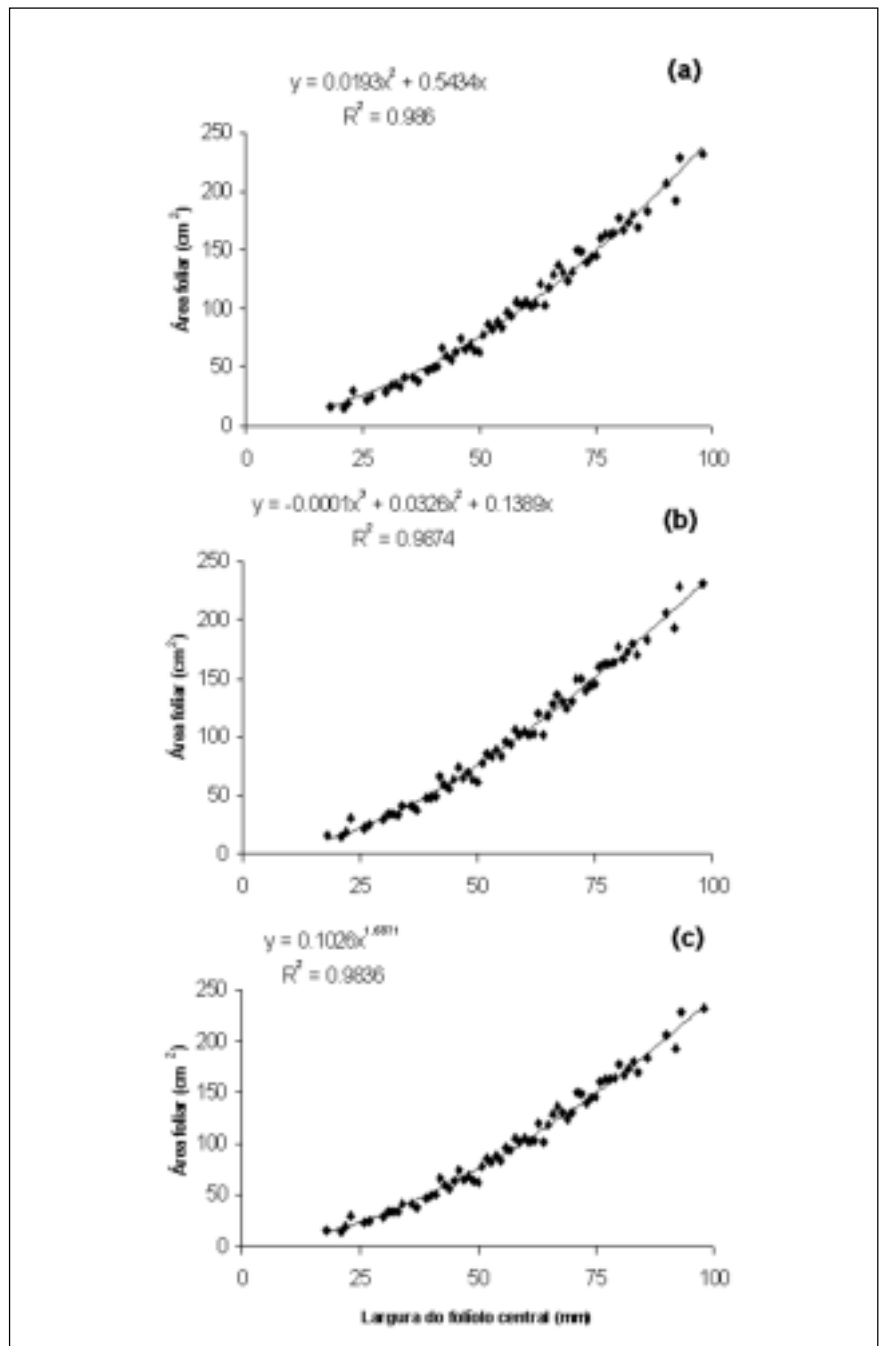


Figura 1. Curvas de regressão não-linear (a-quadrática, b-cúbica e c-potência) obtidas entre a largura máxima do folíolo central e a área foliar total da folha, utilizando o medidor de área foliar, em plantas de feijão-vagem. Londrina, UEL, 1999.

cada trifólio, a uma repetição. As avaliações iniciaram-se com o aparecimento dos primeiros trifólios e estenderam-se até a colheita das vagens.

Foram marcadas seis plantas no campo, por meio do uso de fita plástica semanalmente, as larguras máximas de todos os folíolos centrais das seis plantas foram medidas com régua graduada com precisão de 1mm. No mesmo momento, coletaram-se quatro plantas ao

caso para medir a largura máxima dos folíolos centrais com régua e determinar a área foliar de todos os folíolos por meio do medidor "Area Meter" (Licor Inc., Lincon, Nebraska, US), modelo LICOR LI-3000, com média de três leituras.

Com as medidas obtidas no laboratório, larguras máximas do folíolo central e áreas foliares pelo "Area Meter", foram estabelecidas regressões testando-se os modelos linear e não-linear:

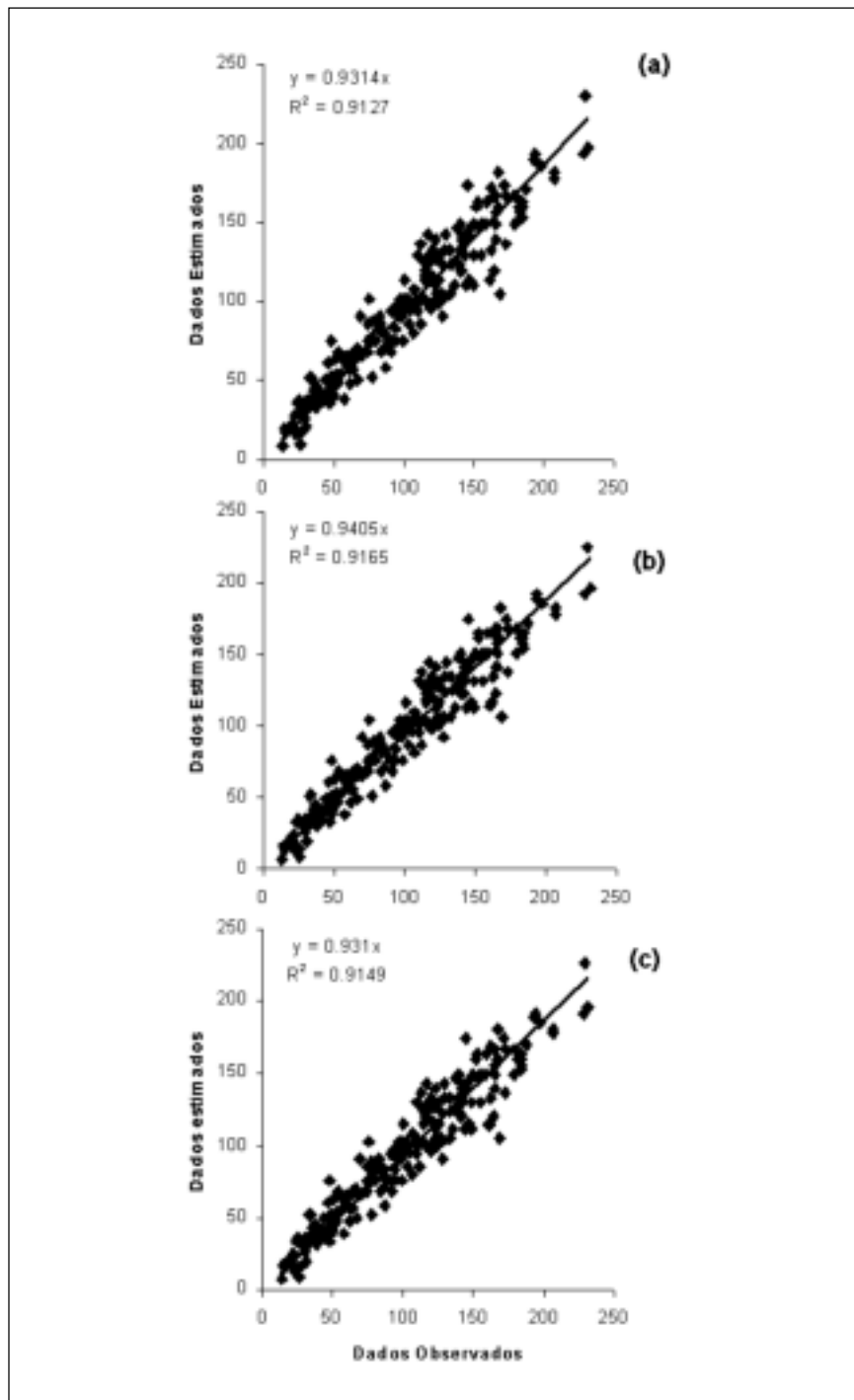


Figura 2. Gráficos de correlação entre os valores de área foliar obtidos pelo “Area Meter” (observados) e os estimados pelos modelos (a-quadrática, b-cúbica e c-potência). Londrina, UEL, 1999.

logarítmico, quadrático, cúbico e potência. O modelo de regressão adotado para a obtenção das equações linear, quadrática e cúbica foi o da regressão interceptando a origem. Segundo Lakitan (1989), este é o modelo apropriado para estimar a área foliar, pois apresenta coeficiente de ajuste significativo e bases geométricas aceitáveis.

A partir dos dados de área, obtidos pelo “Área Meter”, de folíolos centrais e laterais foram calculados seus valores em percentuais, e estes transformados por $\arcsen(\text{raiz}(X)/100)$ para verificar se cada folíolo correspondia a um terço da área real da folha por meio da realização da análise de variância e comparação das médias

pelo teste de Tukey a 5% (Pimentel Gomes, 1973).

Os modelos obtidos foram utilizados para estimar a área foliar das plantas coletadas a partir das medidas de largura máxima dos folíolos centrais obtidas no laboratório. A área foliar estimada pelos modelos foi comparada com a área foliar determinada pelo “Área Meter”, com o auxílio da análise de variância e a comparação das médias pelo teste de Tukey a 5%. Foram estimadas correlações, considerando o intercepto na origem ($a=0$), entre os valores de área foliar obtidos pelo “Area Meter” e os estimados pelos modelos (Bussab, 1986) para verificar o ajuste dos modelos com todos os folíolos (repetições) de plantas de feijão-vagem.

A área foliar das plantas marcadas no campo foram estimadas e comparadas à área foliar medida pelo “Area Meter” das plantas coletadas na mesma época para confirmar a precisão dos modelos para o método não-destrutivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelos matemáticos estimaram a área do trifólio, variável dependente, a partir de medidas de largura do folíolo central, variável independente, associados por regressão. A regressão linear foi $AF = 1,8923 L$ ($R^2 = 0,8630$) e as regressões não-lineares foram logarítmica ($AF = 131,13 \ln(L) - 418,91$ com $R^2 = 0,8782$), quadrática ($AF = 0,0193 L^2 + 0,5434L$ com $R^2 = 0,9860$), cúbica ($AF = -0,0001 L^3 + 0,0326 L^2 + 0,1389 L$ com $R^2 = 0,9874$) e potência ($AF = 0,1026 L^{1,6871}$ com $R^2 = 0,9836$).

Os modelos não-lineares (quadrático, cúbico e potência) revelaram valores de R^2 superiores aos obtidos pelas regressões linear e logarítmica.

Valores semelhantes ao encontrado para os modelos não-linear ($R^2 = 0,98$) foram obtidos por Bianco *et al.* (1995) e Rosseto *et al.* (1997) para *Amaranthus retroflexus* L. e *Richardia brasiliensis* (Gomez), respectivamente. No entanto, as melhores estimativas de área foliar foram obtidas pelos modelos lineares que envolveram o produto do comprimento pela largura. Tofoli *et al.* (1998) trabalharam com a espécie *Raphanus raphanistrum* L. detectando maior va-

Tabela 1. Comparação da área foliar de feijão-vagem obtida pelo medidor “Area Meter” com o modelo matemático em cinco épocas de avaliação pelo método não-destrutivo. Londrina, 1999.

Avaliação (DAE)	Medidor "Area Meter"	Modelo		
		Quadrático	Cúbico	Potência
21	401,08 B1	529,08 B	333,87 B	330,46 B
30	761,23 B	1429,53 A	916,34 B	908,77 B
37	1244,72 B	1908,52 A	1238,06 B	1226,79 B
44	1548,73 B	1886,01 A	1341,42 A	1394,17 B
51	2107,38 B	2409,92 A	1447,32 A	1433,68 A
Média	1212,63 B	1632,61 A	1055,40 B	1058,77 B
CV%		36,16	31,31	31,12

¹ Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

lor de coeficiente de determinação ($R^2=0,79$), porém inferior ao encontrado neste experimento.

Zaffaroni (1981) utilizou também o coeficiente de determinação ($R^2>0,94$) como parâmetro para a escolha dos modelos linear e logarítmico como estimativa de área foliar do feijão macassar (*Vigna unguiculata* L.).

A relação linear encontrada por Ajayi (1990) entre o logaritmo da área foliar e o logaritmo do produto do comprimento pela largura máxima da folha apresentou coeficientes de determinação com valor de 0,99 para *Amaranthus caudatus* L. e *Vernonia amygdalina*.

Equações para estimativa de área foliar de feijoeiro “Goiano Precoce” com base no produto do comprimento pela largura máxima da folha foram definidas por Voltan *et al.* (1991) e apresentaram coeficientes de determinação diferentes para as folhas rugosas ($R^2=0,97$) e lisas ($R^2=0,99$).

A precisão de equações para estimativa de área foliar, dentre as várias possibilidades ou de combinações entre parâmetros dimensionais e modelos de regressão, relaciona-se não só com o formato da folha, mas também com a sua variação durante o crescimento da planta. Vale ressaltar, que a variação do formato da folha é uma característica da espécie e está associada às condições ambientais de crescimento, como foi observado em *Lycopersicon esculentum* (Dumas, 1990), *Hancornia speciosa* (Gom.) (Dafonseca & Conde, 1994) e *Curcubita pepo* L. (Silva *et al.*, 1998).

Os modelos testados apresentaram $R^2 = 0,98$, que sugerem que 98% da

riação total da área foliar foi explicada pela sua relação com a largura das folhas, valor superior a $R^2=0,95$ do modelo de potência utilizado em plantas de feijoeiro por Bergamin Filho *et al.* (1997). Portanto, a largura máxima do folíolo central mostrou-se eficaz para estimar a área foliar de plantas de feijão-vagem de crescimento determinado, cultivar UEL 2.

As avaliações de área foliar variaram entre 35,018 a 35,438 cm² para os folíolos centrais, e entre 35,140 a 35,783 cm² para os folíolos laterais. A análise dos dados de área foliar dos folíolos centrais e laterais medidos pelo “Area Meter”, indicou que os folíolos avaliados nas quatro épocas não apresentaram diferenças significativas e cada folíolo correspondia a um terço da área real da folha. Este fator foi considerado para estimar a área foliar das plantas quando as folhas não tinham os três folíolos. Lakitan (1989) comparou os trifolios centrais e laterais pela correlação entre a área foliar estimada e a real, e verificou para as cultivares Bush Blue Lake, Luna e Midnight de *Phaseolus vulgaris*, o mesmo valor de $R^2=0,99$.

As áreas foliares estimadas das plantas pelo modelo quadrático, cúbico e potência (Figura 1), não apresentaram diferenças significativas com relação à área foliar determinada pelo medidor nas cinco épocas avaliadas do método destrutivo.

As correlações entre os valores de área foliar obtido pelo “Area Meter” e os estimados pelos modelos (Figura 2) apresentaram coeficientes angulares próximos de 1 (=0,9) e coeficientes de

correlação iguais a 0,91. Estes coeficientes de ajuste dos modelos demonstram que os valores estimados corresponderam aos observados.

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 1, o modelo quadrático não foi preciso suficiente para estimar a área foliar das plantas marcadas a campo (método não-destrutivo), pois as médias estimadas apresentaram diferenças significativas com relação à área foliar obtida pelo medidor para todas as épocas, exceção feita aos 21 DAE. Embora as médias do modelo cúbico e potência não apresentassem diferenças significativas pelo teste F, o modelo de potência Área Foliar = 0,1026 Largura^{1,6871} (Figura 1c) apresentou o menor coeficiente de variação (CV%=31,12). Desta maneira, este modelo mostrou maior precisão para estimar a área foliar durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de feijão-vagem, UEL 2 (Figura 2).

LITERATURA CITADA

- AJAYI, N. O. Rapid determination of leaf area in ovate vegetable leaves by linear measurements. *The Journal of Horticultural Science*, Ashford, v.65, n.1, p.1-5, fev. 1990.
- ATHANÁZIO, J. C.; TAKAHASHI, L. S. A. ; ENDO, R. M.; SILVA, G. L. da. “UEL-2”: cultivar de feijão-de-vagem tipo manteiga de crescimento determinado. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.16, n.1, p.91, mai. 1998.
- BENINCASA, M. M. P.; BENINCASA, M.; LATANZE, R. J. e JUNQUETTI, M. T. G. Método não destrutivo para estimativa de área foliar de *Phaseolus vulgaris* L. (feijoeiro). *Cientifica*, Jaboticabal, v.4, n.1, p.43-48, 1976.
- BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; PAVANI, M. C. M. D.; SILVA, R. C. Estimativa da área foliar de plantas daninhas. XIII - *Amaranthus retroflexus* L. *Revista Ecosystema*, Espírito Santo do Pinhal, v.20, p.5-9, out. 1995.

- BERGAMIN FILHO, A.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.; GODOY, C.V.; AMORIM, L.; BERGER, R. D.; HAU, B. Angular leaf spot of *Phaseolus beans*: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. *Phytopathology*, St Paul, v.87, n.5, p.506-515, mai. 1997.
- BUSSAB, W. O. Análise de variância e de regressão. São Paulo: Atual, 3ª ed., 1986. 147p.
- DAFONSECA, C.E.L.; CONDE, R. D. C. Estimativa da área foliar em mudas de mangabeira *Hancornia speciosa* (Gom.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, n.4, p.593-599, abr. 1994.
- DAVIS, J. F. The relationship between leaf area and yield of the field bean with a statistical study of methods for determining leaf area. *Journal of the American Society of Agronomy*, Washington, v.32, n.5, p.323-329, mai. 1940.
- DUMAS, Y. Interrelation of linear measurements and total leaf area or dry matter production in young Tomato plants. *Advances in Horticultural Science*, Firenze, v.4, n.3, p.172-176, 1990.
- LAKITAN, B. Empirical model for estimating leaf area in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, Fort Collins, v.32, p.19-21, 1989.
- NeSMITH, D. S. Estimating summer squash leaf area nondestructively. *Hortscience*, Alexandria, v.27, n.1, p.77, jan. 1992.
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. São Paulo: Nobel, 1973. 430p.
- ROSSETO, R. R.; PITELLI, R. L. C. M.; PITELLI, R. A. Estimativa da área foliar de plantas daninhas: Poiaia branca. *Planta Daninha*, Londrina, v.15, n.1, p.25-29, jan-jun. 1997.
- 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. *Revista Ceres*, Viçosa, v.45, n.259, p.287-291, mai-jun. 1998.
- TOFOLI, G. R.; BIANCO, S.; PAVANI, M. C. M. D.; SILVA, R. C. Estimativa da área foliar de plantas daninhas (*Raphanus raphanistrum* L.). *Revista Ecosistema*, Espírito Santo do Pinhal, v.23, p.5-7, dez. 1998.
- VOLTAN, R. B. Q.; WUTKE, E. B; BULISANI, E. A.; AMBROSANO, E. J.; SORDI, G.; PEREIRA, J. C. V. N. A. Comparação da morfologia de folhas lisas e rugosas de plantas de feijoeiro. *Bragantia*, Campinas, v.50, n.1, p.1-15, 1991.
- ZAFFARONI, E. Estimativa da área foliar em feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) a partir de medidas dos folíolos. *Agropecuária Técnica*, Areia, v.2, n.1, p.80-85, jan-jun. 1981.