

---

## **MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR DE FEIJÃO CAUPI**

*Carlos José Gonçalves de Souza Lima*

Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando(a) em Agronomia, Deptº Ciências Ambientais, UFERSA, Caixa Postal 137, CEP 59625-900 Mossoró – RN. E-mail: kj.gon@bol.com.br

*Francisco de Assis de Oliveira*

Engº Agrº Mestrando em Irrigação e drenagem, Bolsista Capes, UFERSA, Mossoró – RN - E-mail: tihikaoamigao@bol.com.br

*José Francismar de Medeiros*

Bolsista de Pesquisa CNPq, Engº Agrº, D.Sc., Deptº Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró – RN E-mail: jfmedeir@ufersa.edu.br

*Mychelle Karla Teixeira de Oliveira*

Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando(a) em Agronomia, Deptº Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró – RN E-mail: mychellecarla.oliveira@bol.com.br

*Antônio Francelino de Oliveira Filho*

Graduando em Agronomia, Deptº Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró –RN E-mail: kj.gon@bol.com.br

**Resumo** - As medidas de área foliar por métodos não destrutivos permitem avaliar o crescimento de determinadas plantas durante todo o ciclo. O experimento objetivou estabelecer um modelo matemático para estimar a área foliar do feijão-caupi, através de medidas máximas de comprimento e largura do folíolo. As medidas foram realizadas em folíolos coletados de plantas cultivadas em vasos. A área foliar real foi determinada através de um integrador foliar (modelo LI 3100 LICOR) e na escolha dos modelos foram avaliados os tipos: linear e potencial, com medidas do comprimento (C), largura (L), produto CxL e soma C+L. Os modelos matemáticos obtidos por regressão foram aplicados aos métodos destrutivos e não destrutivos, e comparados à área foliar estimada e a real. Medidas de área foliar do feijão caupi podem ser estimadas a partir de equações potencial e linear com boa precisão. As equações envolvem duas medidas biométricas, para a soma e o produto, apresentam melhor ajuste na equação potencial. Medidas de área foliar a partir de modelos matemáticos, por ser métodos não destrutivos, permitem análise de crescimento de vegetais com um reduzido número plantas. A área foliar pode ser estimada pelas equações:  $AF = \Sigma(0,9915(CxL)^{0,9134})$  e  $AF = \Sigma(0,6597(CxL) + 2,1745)$ .

**Palavras chave:** *Vigna unguiculata* L. Walp, análise de crescimento, fisiologia.

## **MODELS MATHEMATICAL FOR ESTIMATE OF LEAF AREA OF COWPEA**

**Abstract** - The measures of leaf area for methods no destructive to evaluate the growth certain plants during the whole cycle. The experiment aimed at to establish a mathematical model to esteem the leaf area of cowpea, through measures maximum of length and width of the foliole. The measures were accomplished in collected leaflets of plants cultivated in vases. The real leaf area was certain through a leaf integrator (model LI 3100 LICOR.) and in the choice of the models they were appraised the types: lineal and potential, with measures of the length (L), width (W), product LxW and it adds L+W. The mathematical models obtained by regression were applied to the destructive methods and no destructive, and compared to the dear leaf area and too real. Measures of leaf area of cowpea can be dear starting from equations potential and lineal with good precision. The equations that involve two measured biometrics, for adds and the product, present better adjustment in the potential equation. Measures of leaf area starting from mathematical models, for being a method no destructive, they allow analysis of growth of vegetables with reduced number plants. The leaf area cowpea can be dear for the equations:  $LA = \Sigma(0.9915(LxW)^{0.9134})$  and  $LA = \Sigma(0.6597(LxW) + 2.1745)$ .

**Key Words:** *Vigna unguiculata* L. Walp, growth analysis, physiology.

## INTRODUÇÃO

O conhecimento da área foliar é fundamental no estudo do desenvolvimento das plantas, sendo talvez o mais importante parâmetro (BIANCO et al., 1983). O primeiro passo para se estudar o crescimento das plantas é conhecer características do crescimento e desenvolvimento da planta. Dentre essas características, o conhecimento da área foliar é um importante parâmetro para o entendimento da fotossíntese, interceptação luminosa, uso da água e nutrientes e o potencial produtivo. Neste contexto, torna-se fundamental o conhecimento da área foliar para ajudar o entendimento do processo de partição de assimilados e na determinação do número de folhas ideal nas condições climáticas do Brasil.

Uma vez que área foliar é uma característica difícil de ser mensurada, pois requer equipamentos caros ou técnicas destrutivas, torna-se muito importante à determinação de uma equação que possa estimar a área foliar das plantas a partir de valores, que podem ser obtidos de forma não-destrutiva.

Vários são os métodos que podem ser utilizados para determinar a área foliar das plantas em condições de campo ou laboratório, os quais diferem quanto à complexidade e precisão, sendo estes métodos mais utilizados que os destrutivos, que geralmente, são mais trabalhosos, por isso demandam tempo e mão-de-obra que nem sempre são disponíveis ao pesquisador (SGARBI JÚNIOR, 1982). Outro ponto negativo a ser computado à avaliação de área foliar pelo método destrutivo é que se torna necessário um grande número de plantas na parcela para sua quantificação em diferentes épocas do período de cultivo.

A adoção de um método não-destrutivo na estimativa da área foliar permite acompanhar o crescimento e a expansão foliar da mesma planta até o final do ciclo ou do experimento, além de ser rápido e preciso (MARSHALL, 1968).

A área foliar pode ser estimada utilizando parâmetros dimensionais de folhas, os quais apresentam boas correlações com a superfície foliar por meio de equações de regressão entre a área foliar real e os parâmetros dimensionais lineares das folhas. Pela facilidade e por ser não-destrutivo, os modelos mais utilizados são os que usam comprimento da nervura principal, a largura máxima e as relações entre essas medidas. Marcolini et al. (2004) sugerem estimar a área foliar da couve-flor com equação linear a partir de medidas da largura da folha. De acordo com Monteiro et al. (2005) a área foliar do algodoeiro pode ser estimada com boa exatidão e excelente

precisão a partir da medida das dimensões de suas folhas, com erros em torno de 10%. Tivelli et al. (1997) estabeleceram como metodologia para estimativa da área foliar do pimentão, a medição da largura das folhas.

Funções de regressão são equações que demonstram a relação existente entre dois conjuntos de valores, isto é, através de uma base de dados, procuram estimar valores de uma variável Y, correspondente ao valor conhecido de uma variável X. O grau de relação entre as variáveis é chamado correlação, e é representado por um coeficiente que varia de -1 a 1. Se todos os valores das variáveis satisfazem exatamente uma equação, diz-se que elas estão perfeitamente correlacionadas (SPIEGEL, 1994).

O objetivo deste trabalho foi determinar uma equação que permita estimar a área foliar do feijoeiro caupi a partir de medidas de dimensões de comprimento e largura dos folíolos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados folíolos de plantas de feijão caupi cultivadas em casa de vegetação, com cobertura tipo sombrite com 50% de sombreamento, no Departamento de Ciências Vegetais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada nas coordenadas geográficas de 5° 11' 31" de latitude Sul e 37° 20' 40" de longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 18 m. O clima da região, na classificação de Köppen, é do tipo BSwh', (quente e seco), com precipitação pluviométrica bastante irregular, média anual de 673,9 mm; temperatura de 27°C e umidade relativa do ar média de 68,9% (CARMO FILHO & OLIVEIRA, 1995).

Foram semeadas cinco sementes de feijão caupi, var. 'Quarentinha', de ciclo precoce e hábito de crescimento determinado, sendo realizado o desbaste aos 6 dias após a semeadura, deixando-se as duas plantas mais vigorosas. As plantas foram cultivadas em vasos pré-moldados com capacidade de 3 dm<sup>3</sup>, distribuídos num delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,13; 2,94; 3,5 e 5,0 dS.m<sup>-1</sup>), sendo cada unidade experimental representada por uma planta/vaso. Os vasos foram preenchidos com substrato formado a partir de uma mistura de solo com 30% de composto orgânico. O solo utilizado neste trabalho foi uma amostra da camada de 0–20 cm de um Argissolo Vermelho Amarelo de textura arenosa. O solo foi tamizado em malha de 2 mm e

analisado quimicamente, cuja análise apresentou as seguintes características: pH = 6,9;  $CE_{1:2} = 0,7$   $dS.m^{-1}$ ;  $Ca^{2+} = 4,1$ ;  $Mg^{2+} = 2,0$ ;  $K^{+} = 0,27$ ;  $Na^{+} = 0,11$ ;  $Al^{3+} = 0,05$ ;  $cmol_c dm^{-3}$  e  $P = 35,61$   $mg dm^{-3}$ .

As irrigações foram realizadas diariamente com água proveniente da rede de abastecimento do campus da UFERSA até ser efetuado o desbaste, a partir deste, a água utilizada na irrigação apresentava diferentes níveis de sais de acordo com os tratamentos estudados. Os níveis de salinidades avaliados foram obtidos pela mistura de duas fontes de água, provenientes de poços localizados no campus da UFERSA, apresentando as condutividades elétricas de 0,5 e 5,0  $dS.m^{-1}$ . As proporções corresponderam a 1:0, 2:1, 1:1, 1:2 e 0:1, para as águas das fontes 1 e 2 respectivamente.

Aos 40 dias após a semeadura, as plantas foram coletadas e transportadas para o laboratório de Irrigação e Drenagem do Departamento de Ciências Ambientais da UFERSA.

O limbo foliar foi separado do caule e pecíolos, sendo os folíolos numerados de 1 a n, iniciando com as folhas do ápice até a base caulinar da planta. As medidas biométricas utilizadas para estimativas das equações, foram o comprimento da nervura principal (C) e a largura máxima de cada folíolo (L), sendo estas, obtidas com régua milimetrada, em seguida a área folicular (AF) de cada folíolo foi obtida de forma direta, através de um integrador de área foliar LI 3100 da LICOR. Foram avaliados oito modelos teóricos, com equações dos tipos potencial e linear, quanto à precisão para estimar a área foliar a partir das medidas de largura ou comprimento de cada folíolo (Tabela 1).

Na escolha das melhores equações, consideraram-se os seguintes critérios:

- Coeficiente de correlação ( $R^2 > 0,95$ ).
- Relação entre área foliar observada com integrador foliar e a área foliar estimada pelos modelos avaliados (AFO/AFE).

Tabela 1. Modelos de equações para estimativa da área foliar do feijão caupi

Modelos*	Potencial	Linear
Largura (L)	$AF = \sum (\alpha L^\beta)$	$AF = \sum (\alpha L + \beta)$
Comprimento (C)	$AF = \sum (\alpha C^\beta)$	$AF = \sum (\alpha C + \beta)$
Produto (L.C)	$AF = \sum (\alpha (C.L)^\beta)$	$AF = \sum (\alpha (C.L) + \beta)$
Soma (L+C)	$AF = \sum (\alpha (C+L)^\beta)$	$AF = \sum (\alpha (C+L) + \beta)$

\* L – Largura, C – Comprimento, AF – Área foliar,  $\alpha$  e  $\beta$  – são parâmetros a serem estimados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor de  $R^2$  variou de 0,9022 a 0,9555 para as equações tipo linear, sendo o menor valor correspondente ao modelo em que se utilizou o comprimento dos folíolos (C) e o maior valor correspondendo ao modelo baseado no produto entre o comprimento e a largura (CxL) dos folíolos. Nas equações do tipo potencial foi encontrado valor de  $R^2$  variando de 0,9254 a 0,9635, para os modelos que utilizaram o comprimento e o produto das dimensões, respectivamente. Analisando a relação AFO/AFE, pode-se verificar que todos os modelos propostos apresentaram resultados próximos à unidade, de forma que todos possibilitam estimar a área foliar com satisfatória correlação entre a estimada e a observada pelo método padrão. No entanto, pode-se verificar para as equações do tipo linear, com exceção do modelo que utiliza o produto das dimensões, os demais tendem a subestimar o valor da área foliar de plantas de caupi. Para as equações do tipo potencial, independente dos modelos propostos, todos apresentaram área foliar próximo da estimada (Tabela 2).

A Figura 1A, ilustra a regressão do tipo potencial para estimar a área foliar de cada folíolo

e a largura deste, pode-se observar um valor do coeficiente de correlação satisfatório ( $R^2=0,946$ ). Na Figura 1B está representada a relação entre a área foliar estimada e a observada pelo método padrão. Verifica-se que os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  aproximam-se da unidade, demonstrando assim que o modelo proposto apresenta uma boa estimativa da área foliar. Resultado semelhante foi encontrado por Bergamin Filho et al. (1997), que estimaram área foliar com base em medidas de largura e encontraram melhor ajuste na equação potencial, com  $R^2=0,95$ . No entanto, Queiroga et al. (2003) testaram os modelos logarítmico, quadrático e potencial para estimativa da área folicular de feijão vagem, e constataram que a equação potencial apresentou o menor coeficiente de correlação. Considerando a área foliar estimada com equação do tipo linear, pode-se observar valor inferior do coeficiente de correlação (Figura 1C), apresentando assim valores estimados com menor precisão em comparação com a equação potencial. Para a relação AFO/AFE (Figura 1D), verifica-se um baixo coeficiente de correlação e um elevado coeficiente angular, de forma que os valores estimados mostram-se distantes dos valores obtidos pelo método padrão.

Tabela 2. Coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e relação entre área foliar observada com integrador foliar e a área foliar estimada pelos modelos avaliados (AFO/AFE), para estimação da área de folíolos de feijão caupi.

Modelos adotados*	$R^2$	AFO/AFE
----- Equação Potencial -----		
$AF = \Sigma (\alpha L^\beta)**$	0,9460	1,01
$AF = \Sigma (\alpha C^\beta)$	0,9254	1,02
$AF = \Sigma (\alpha (C.L)^\beta)$	0,9635	1,01
$AF = \Sigma (\alpha (C+L)^\beta)$	0,9613	1,01
----- Equação Linear -----		
$AF = \Sigma (\alpha L + \beta)$	0,9131	1,16
$AF = \Sigma (\alpha C + \beta)$	0,9022	1,20
$AF = \Sigma (\alpha (C.L) + \beta)$	0,9555	0,99
$AF = \Sigma (\alpha (C+L) + \beta)$	0,9360	1,09

\* L – Largura, C – Comprimento, AF – Área foliar,  $\alpha$  e  $\beta$  - são parâmetros a serem estimados.

\*\* Os parâmetros entre parênteses representam medidas referentes à área folicular.

Analisando o comportamento dos modelos propostos com medida de comprimento dos folíolos (Figuras 1E, 1F, 1G e 1H), pode-se observar que ambas equações apresentaram coeficiente de correlação satisfatório ( $R^2 > 0,90$ ), sendo que a equação de melhor ajuste foi do tipo potencial, entretanto, inferiores aos encontrados nos modelos que utilizam medidas de largura. Verifica-se ainda que a relação AFO/AFE apresenta valores superestimados da área foliar, principalmente para equação do tipo linear. Nascimento et al. (2002) trabalhando com meloeiro, constataram melhor ajuste para modelo potencial, verificaram ainda que medidas de largura apresentam melhor correlação, em comparação com medidas de comprimento. 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.

Foram avaliadas ainda medidas conjuntas de largura e comprimento, sendo estudadas como variável independente o produto (CxL) e a soma (C+L) dessas medidas (Figura 2). Para a área foliar estimada a partir do produto entre largura e comprimento (Figura 2A), observa-se que as equações, potencial e linear, apresentam satisfatório coeficiente de correlação ( $R^2 > 0,95$ ).

Analisando-se a relação AFO/AFE, verifica-se que a área foliar estimada pela equação potencial apresentou um perfeito ajuste, com elevado  $R^2$  (Figura 2B). Benincasa et al. (1976) constataram que a área foliar do feijoeiro, *Phaseolus vulgaris* L., pode ser estimada por qualquer uma dessas medidas biométricas, enquanto que Zaffaroni (1981) encontrou melhor correlação para equação logarítmica, utilizando na equação o produto das dimensões.

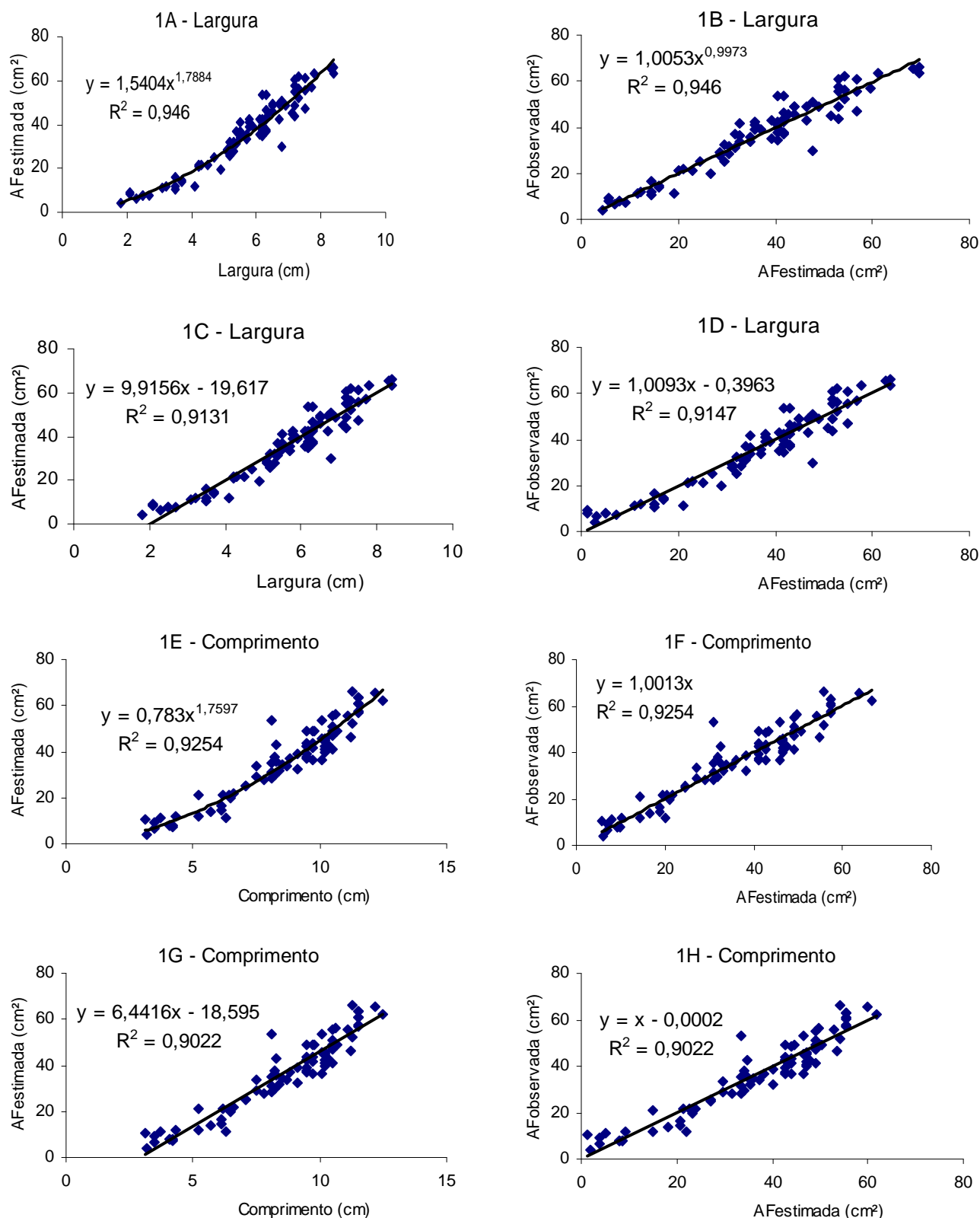


Figura 1. Equações de regressão para estimativa da área foliar e a relação entre a área foliar observa e a estimada obtida por diferentes modelos, utilizando a largura (1A, 1B, 1C, 1D) e comprimento (1E, 1F, 1G e 1H) de folíolos de feijão caupi.

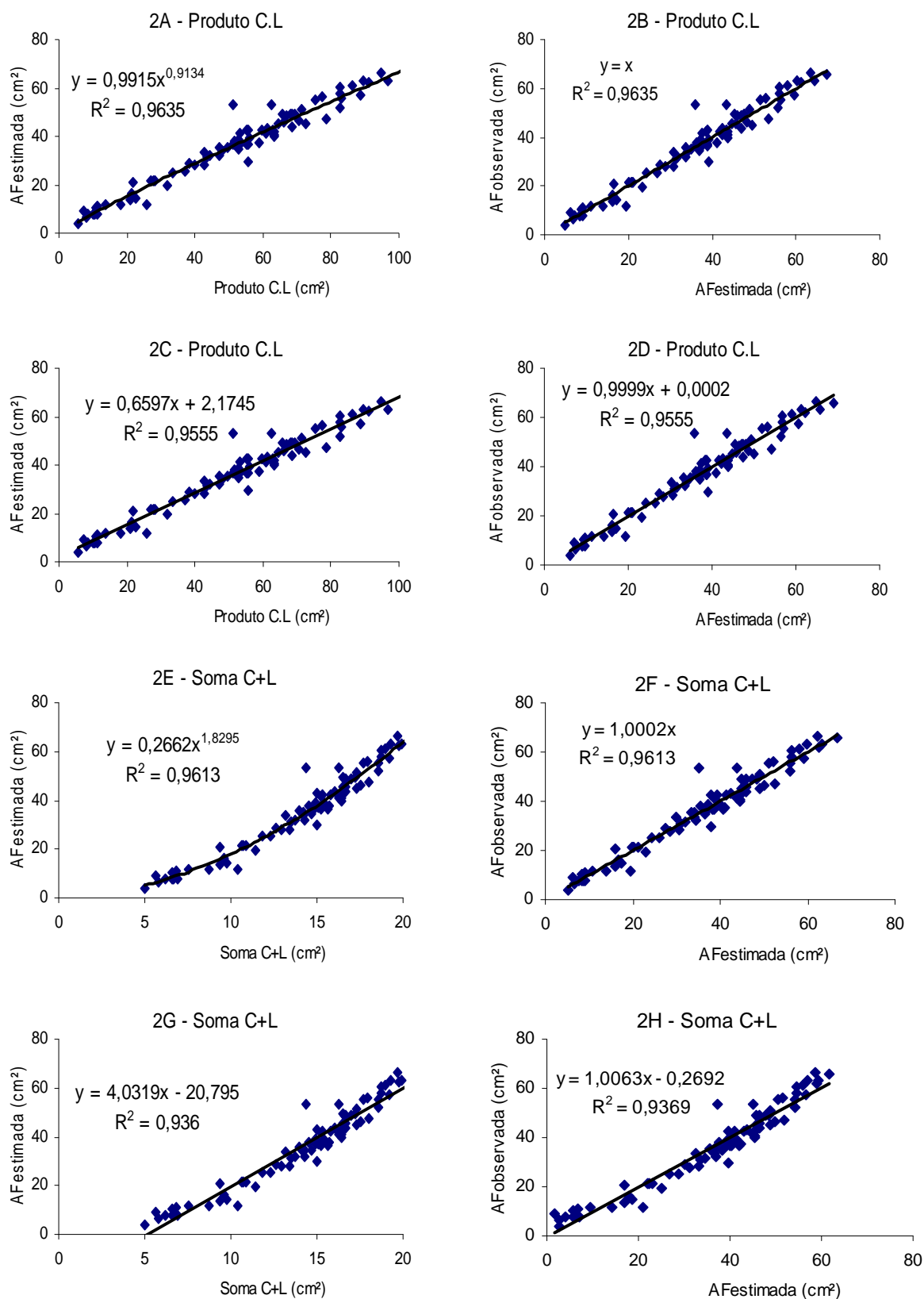


Figura 2. Equação de regressão para estimativa da área e a relação entre a área foliar observada e a estimada obtida por diferentes modelos, utilizando produto (2A, 2B, 2C, 2D) e soma (2E, 2F, 2G e 2H) entre a largura máxima e o comprimento de folíolos de feijão caupi.

Analisando de forma geral as equações e os modelos propostos, constatou-se uma maior correlação para os valores estimados pela equação potencial. Com relação às medidas biométricas utilizadas, os melhores resultados foram obtidos a partir de medidas do produto e da soma entre largura máxima e comprimento. Segundo Silva et al. (2002), estimativas da área foliar de plantas de gergelim são mais precisas quando se usam ambas as dimensões de comprimento e largura do limbo.

Strik & Proctor (1985) observaram que o produto do comprimento pela largura dos mesmos, como variável independente na equação de regressão, mostrou-se superior na capacidade de predição e na precisão, quando comparada ao uso do comprimento ou largura. Pires et al. (1999) também trabalhando com morangueiro, verificaram que para a estimativa da área foliar total são necessárias medidas do comprimento e da largura dos folíolos, em amostra representativa, além da contabilização do número de folhas.

## CONCLUSÕES

Medidas de área foliar de feijão caupi podem ser estimadas a partir de equações potencial e linear com boa precisão.

As equações que utilizam medidas envolvendo duas medidas biométricas, para a soma e o produto, apresentam melhor ajuste na potencial.

Medidas de área foliar a partir de modelos matemáticos, por ser um método não destrutivo, permitem análise de crescimento de vegetais utilizando um reduzido número plantas.

A área foliar pode ser estimada pelas seguintes equações:  $AF = \Sigma(0,9915(CxL)^{0,9134})$  e  $AF = \Sigma(0,6597(CxL) + 2,1745)$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENINCASA, M.M.P.; BENINCASA, M.; LATANZE, R.J.; JUNGUETTI, M.T.G. Métodos não destrutivos para estimativa da área foliar de *Phaseolus vulgaris* L. (feijoeiro). **Científica**, v.4, n.1, p.43-48, 1976.

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, 1997.

BIANCO, S.; PITELLI, R.A.; PERECIN, D. Métodos para estimativa de foliar de plantas

daninhas 2. *Wissadula subpeltata* (Kuntze) Fries. **Planta Daninha**, Viçosa, v.6, n.1, p.21-24, 1983.

CARMO FILHO, F. ; OLIVEIRA, O.F. Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, (Coleção Mossoroense, série B).1995. 62p.

MARCOLINI, M.W.; CECÍLIO FILHO, A.B.; BARBOSA, J.C. Estimativa de área foliar da couve-flor a partir de medidas lineares. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, 2004. Suplemento CD-ROM.

MARSHALL, J.K. Methods of leaf area measurement of large and small samples. **Photosynthetica**, Vodickova, v.2, p.41-47, 1968.

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

NASCIMENTO, I.B.; FARIAS, C.H.A.; SILVA, M.C.C.; MEDEIROS, J.F.; ESÍNOLA SOBRINHO, J.; NEGREIROS, M.Z. Estimativa da área foliar do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 555-558, dezembro 2002.

PIRES, R.C.M.; FOLEGATTI, M.V.; PASSOS, F.A. Estimativa da área foliar de morangueiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 86-90, 1999.

QUEIROGA, J. L.; ROMANO, E. D. U.; SOUZA, J. R. P; MIGLIORANZA, E. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.1, p.64-68, 2003.

SGARBI JÚNIOR, I. Método não destrutivo para estimativa de área foliar sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) a partir de dimensões lineares. 1962. 65f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1982.

SILVA, L.C.; SANTOS, J.W.; VIEIRA, D.J.; BELTRÃO, N.E.M.; ALVES, I.; JERÔNIMO, J.F. Um método simples para se estimar área foliar de plantas de gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, campina grande, v.6, n.1, p.491-496, 2002

SPIEGEL, M. R. **Estatística**; 3º ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1994.

STRIK, B.C.; PROCTOR, J.T.A. Estimating the area of trifoliolate and unequally imparipinnate leaves of strawberry. **Hortscience**, v. 20, n. 6, p. 1072-1074, 1985.

TIVELLI, S.W.; MENDES, F.; GOTO, R. Estimativa da área foliar do pimentão cv. Elisa conduzido em ambiente protegido (*Capsicum annum* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 38, 1997, Manaus. **Suplementos...**, Brasília: SOB, 1997.

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, 1981.