



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Modelo matemático para determinação da área foliar de cultivares de alho¹



Daniel Alves da Veiga Grubert²; Bruna Orsi³; Rodrigo Rosa⁴; Rafael da Cruz⁵; Leosane Cristina Bosco⁶; João Batista Tolentino Júnior⁷

¹ Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 23 a 28 ago. 2015.

² Acadêmico do curso de Agronomia, bolsista PET, UFSC, Curitibanos – SC. Fone: (49) 3721 6454. danielgrubert51@gmail.com

³ Acadêmica do curso de Agronomia, bolsista PET, UFSC, Curitibanos – SC. brunaorsi51@gmail.com

⁴ Acadêmico do curso de Agronomia, UFSC, Curitibanos – SC. rodrigorosa@grad.ufsc.br

⁵ Acadêmico do curso de Ciências Rurais, UFSC, Curitibanos – SC. rafah.2cruz@gmail.com

⁶ Enga. Agrônoma, Profa. Adjunta, UFSC - Campus Curitibanos, SC. leosane.bosco@ufsc.br

⁷ Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, UFSC - Campus Curitibanos, SC. joao.tolentino@ufsc.br

RESUMO: A avaliação do crescimento de plantas é importante em inúmeros estudos. Dentre os parâmetros de crescimento vegetal, a área foliar é um dos mais relevantes, pois está relacionada à interceptação da radiação solar, responsável pela fotossíntese e consequente rendimento da cultura. O objetivo deste estudo foi desenvolver um modelo matemático para determinação da área foliar em cultivares de alho. O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos. Foram utilizadas 410 folhas de plantas de alho nobre Ito e Chonan, plantadas em maio de 2014 para geração do modelo matemático. Para a validação do modelo de área foliar foram utilizados dados de 210 folhas das mesmas cultivares, porém plantadas em junho de 2014. Foram utilizadas folhas sadias coletadas ao longo do ciclo da cultura, caracterizando folhas de diferentes tamanhos e idade fisiológica. Foram efetuadas medidas das folhas em seu máximo comprimento (C) e largura (L) com uma régua graduada em milímetros. A área foliar real das folhas foi obtida a partir de fotografias de câmera digital que foram processadas no software ImageJ®. Com o auxílio do software Rstudio® foram determinados 63 modelos matemáticos com as combinações entre C, L, C², L², CxL e C²xL². Os modelos foram submetidos à estatística de Mallows, coeficiente de determinação ajustado e BIC (Bayesian Information Criterion). Os 10 melhores modelos foram validados, usando como critérios de seleção o maior coeficiente de determinação (R²) e o menor valor da raiz do erro quadrático médio (RQME). O modelo mais preciso e acurado para a modelagem da área foliar de alho nobre Ito e Chonan foi $AF = -0,016872xC^2 + 0,394108xL - 5,080271xL^2 - 0,000325x(CxL)^2 + 1,286572xCxL$.

PALAVRAS-CHAVE: *Allium sativum* L., modelos de regressão, medidas foliares.

ABSTRACT: Evaluation of plant growth is important in many studies. Among the parameters of plant growth, leaf area is one of the most important because it is related to the interception of solar radiation, responsible for photosynthesis and consequent crop yield. The objective of this study was to develop a mathematical model to determine the leaf area in garlic cultivars. The experiment was conducted in the experimental area of the Federal University of Santa Catarina, Campus Curitibanos. It was used 410 leaves of garlic plants Ito and Chonan, planted in May 2014 to generate the mathematical model. For validation of leaf area model were used 210 leaves of the same cultivars, but planted in June 2014. The leaves used were healthy and collected throughout the crop cycle, obtaining leaves of different sizes and physiological age. Leaves measurements were taken at its maximum length (L) and width (W) with a ruler graduated in millimeters. The real leaf area of the leaves was obtained from digital camera that was processed in ImageJ® software. With the assistance of software Rstudio® 63 mathematical models were determined with combinations of L, W, L², W², (LxW) and (LxW)². The models were evaluated by Mallows model, adjusted coefficient of determination and BIC (Bayesian Information Criterion). The 10 best models were validated using as selection criteria the highest coefficient of determination (R²) and the lowest value of the root mean square error (RMSE). The most accurate model for modeling leaf



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



area of garlic Ito and Chonan was $LA = -0,016872xL^2 + 0,394108xW - 5,080271xW^2 - 0,000325x(LxW)^2 + 1,286572x(LxW)$.

KEY WORDS: *Allium sativum* L., regression models, leaf measures.

INTRODUÇÃO

A determinação da área foliar das culturas é um fator importante para os estudos que verificam a interação entre o crescimento das plantas e o ambiente em que estão inseridas (Lopes et al., 2004). Métodos simples e acurados para a medida da área foliar das plantas permitem relacionar a superfície disponível para a atividade fotossintética e de interceptação da radiação solar, fatores que interferem na produção de metabólitos e de assimilados, acúmulo de biomassa e rendimento da cultura (Demirsoy, 2009). A partir das medidas de área foliar pode-se obter o índice de área foliar (IAF) que representa a unidade de área de folhas, por unidade de área de terreno, sendo desta forma, adimensional. Conhecendo-se o IAF pode-se modelar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, e em consequência, a produtividade da cultura (Galvani et al., 2000). As folhas do alho não apresentam grande variação de forma entre as plantas de uma mesma cultivar ou entre cultivares, o que facilita a seleção de um modelo matemático para a estimativa da área foliar. As folhas desta cultura, em geral, não apresentam grande variação morfológica entre os genótipos, com folhas paralelinérveas, simples e lanceoladas (Trani, 2009), característica que permite realizar com maior facilidade e precisão as medidas lineares, necessárias para a estimativa da área foliar.

Vários métodos podem ser empregados para a determinação da área foliar, entretanto, grande parte desses modelos se utiliza de métodos destrutivos ou que dependem de aparelhos disponíveis apenas em laboratório, característica que os torna inadequados para as análises em condições de campo (Severino et al., 2004). Nestas condições não é possível realizar medidas sucessivas nas mesmas folhas e o dossel de plantas fica comprometido para outras medidas ou experimentos (Cristofori et al., 2007). Métodos para a determinação da área foliar que relacionam a área foliar com as dimensões lineares da folha se apresentam como uma alternativa não destrutiva, acurada e simples de ser executada. Nestes modelos de regressão é necessário obter as dimensões foliares de amostras de folhas, comprimento (C), largura (L) e seu produto (CxL) para determinar qual a mais adequada para a estimativa da área foliar real da planta, através do ajuste das funções de regressão baseadas nas medidas lineares da folha (Silva et al., 2008).

Considerando a importância da determinação da área foliar e sua interação com o ambiente, na interceptação da radiação solar e sua consequente influência na fotossíntese, respiração e transpiração das plantas, o objetivo deste estudo foi determinar um modelo matemático simples, preciso e acurado para a estimativa da área foliar de cultivares de alho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Agropecuária da Universidade Federal de Santa Catarina/Campus de Curitibanos (27°16'25" de latitude Sul, 50°30'12" de longitude e 993 metros de altitude), localizado no município de Curitibanos, na região do Planalto Catarinense do estado de Santa Catarina. O solo na área experimental é classificado como Nitossolo Bruno Distroférico (Embrapa, 2004). O clima, segundo a classificação de Köppen, é o subtropical úmido com verões amenos - Cfb. As temperaturas anuais média, máxima e mínima do ar são 16,5°C, 22°C e 12°C,

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

respectivamente. A precipitação pluvial média mensal fica entre 83,4 mm e 168,5 mm e o volume anual é de aproximadamente 1480 mm (Embrapa, 2011).

O experimento foi conduzido durante o ciclo produtivo do ano de 2014, em duas épocas de plantio (30/05 e 21/06), datas recomendadas pelo zoneamento agrícola da cultura. Foram utilizadas as cultivares de alho nobre, Ito e Chonan. A adubação, controle fitossanitário e irrigação foram realizados segundo as orientações técnicas para produção alho em Santa Catarina. Os bulbilhos foram semeados em três linhas duplas de plantio nas parcelas, o espaçamento entre as fileiras da mesma dupla foi de 0,1 m e o espaçamento entre as duplas de 0,35 m. Foram utilizadas 410 folhas de plantas de alho nobre Ito e Chonan, plantadas em maio de 2014, com emergência em 09/06, para geração do modelo matemático, sendo as datas de coleta 12/07, 01/08, 18/08, 06/09, 17/09 e 15/10. Para a validação do modelo de área foliar utilizou-se dados de 210 folhas das mesmas cultivares, porém plantadas em junho de 2014, as coletas destas folhas foram efetuadas em 18/08, 28/08, 17/09, 27/09 e 24/10. Foram utilizadas folhas sadias de plantas inteiras coletadas ao longo do ciclo da cultura, caracterizando folhas de diferentes tamanhos e idade fisiológica. Foram efetuadas medidas das folhas em seu máximo comprimento (C) e largura (L) com uma régua graduada em milímetros. As folhas foram então coladas em folha sulfite A3 e fotografadas com câmera digital. A área foliar real das folhas foi obtida a partir destas fotografias que foram processadas no software ImageJ®. Com o auxílio do software Rstudio® foram determinados 63 modelos matemáticos com as combinações entre C, L, C², L², CxL e C²xL². Para a seleção dos modelos realizou-se análises estatísticas de Mallows, coeficiente de determinação ajustado e BIC (Bayesian Information Criterion). Os 10 melhores modelos selecionados foram utilizados para a validação nos dados das 210 folhas. Os dados obtidos por esses modelos foram analisados a partir do coeficiente de determinação (R²) e raiz do erro quadrático médio (RQME).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cultivares de alho Ito e Chonan apresentam formato de folhas muito similares, desta forma, a determinação da área foliar pode ser realizada utilizando os dados em conjunto das duas cultivares. Os valores de largura (L) das folhas variaram de 0,2 à 4,25cm, com valor médio de 1,79cm, e o comprimento (C) das folhas variou de 1,6 à 64,4 cm, com valor médio de 32,91cm. Em relação à área foliar, os valores permaneceram dentro do intervalo de 0,264 à 152,06cm², com média de 46,95cm². Na tabela 1 são apresentados os 10 modelos selecionados para estimativa da área foliar, sendo o número 1 o modelo que apresentou melhor desempenho estatístico.

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Tabela 1. Seleção dos modelos para estimativa de área foliar (AF) de cultivares de alho nobre Ito e Chonan, conforme Bayesian Information Criterion (BIC), estatística de Mallows (Cp) e Coeficiente de Determinação ajustado (R² ajust.). N^o coef.= Número de coeficientes.

N ^o	Modelo	N ^o coef.	BIC	Cp	R ² ajust.
1	-0,0166847723*C ² -4,8971674202*L ² - 0,0003683581*(C*L) ² +1,2873502967*C*L	4	-2132,44	2,76	0,99
2	0,0373096404*C-0,0175700256*C ² - 5,1293712820*L ² - 0,0002968701*(C*L) ² +1,2919940420*C*L	5	-2127,00	4,19	0,99
3	-0,0168721721*C ² +0,3941088598*L- 5,0802719323*L ² - 0,0003252044*(C*L) ² +1,2865726427*C*L	5	-2126,67	4,51	0,99
4	0,0825339589*C-0,0182605090*C ² - 0,8045443148*L-5,0370392711*L ² - 0,0002983122*(C*L) ² +1,2992104115*C*L	6	-2121,17	6,00	0,99
5	-0,0003240096*(C*L) ² +0,7004679317*C*L	2	-2116,99	26,82	0,99
6	2,5006668*L+0,6017443*C*L	2	-2107,00	37,50	0,99
7	0,6543278*C*L	1	-2078,96	73,90	0,99
8	29,05614*L	1	-1109,26	4702,14	0,93
9	1,559511*C	1	-1044,31	5577,26	0,92
10	0,004033506*(C*L) ²	1	-815,18	10044,56	0,86

Na validação das equações, todos os 10 modelos matemáticos utilizados apresentaram significância estatística, com R² igual ou superior a 0,87 e RQME igual ou inferior a 20,64. O modelo que apresentou melhor desempenho estatístico na validação foi a equação número 3 [AF = -0,016872x²+0,394108xL-5,080271xL²-0,000325x(CxL)²+1,286572xCxL], em função do maior coeficiente de determinação (R² = 0,989) e do menor valor da raiz do erro quadrático médio (RQME = 3,383).

Levando-se em consideração a simplificação da modelagem, observou-se que é possível determinar a área foliar com modelos mais simples, utilizando a equação número 7 [AF = 0,6543278xCxL] que apresenta R²=0,988 e RQME=3,737, valores estes muito próximo aos obtidos com o modelo que apresentou melhor desempenho estatístico. Em outros estudos sobre área foliar, a utilização de um modelo com duas dimensões lineares da folha, C e L, foi o mais adequado, como para o gládio (Schwab et al., 2014), Macieira (Bosco et al., 2012), Mangueira (Lima et al., 2012) e Capim-colônia (Bianco; Pitelli; Perecin, 2001). Modelos que utilizam apenas uma medida C ou L apresentaram menor significância em comparação a modelos com as duas dimensões. Para medidas de área foliar que exigem menor precisão e que considerem apenas uma medida linear, a equação AF=29,05614xL, que utiliza somente largura da folha, apresentou maior R² (0,9428) do que a equação AF=1,559511xC, que apresentou valor de R² de 0,9128 e que utiliza apenas o comprimento da folha para a estimativa da área foliar. A utilização de apenas uma dimensão da folha poderia ser estatisticamente aceitável para estimar a área foliar do alho, porém há um grande erro associado a estes modelos (Figura 1).

Os dados estimados pelos modelos selecionados e a área foliar observada por meio da fotografia digital podem ser vistos na Figura 1. Constatou-se que os modelos número 3 e número 7, figura 1A e 1B, respectivamente, apresentaram baixa variabilidade e alta precisão, com a linha de tendência da

regressão dos valores estimados e observados estando próxima da linha correspondente à razão 1:1. Os modelos número 8 e 10, figuras 1C e 1D, respectivamente, são menos precisos e apresentaram maior variabilidade, com os dados abaixo da linha 1:1 a área foliar é subestimada, e os valores de área foliar acima da linha 1:1 indicam que estes estão sendo superestimados pelos modelos.

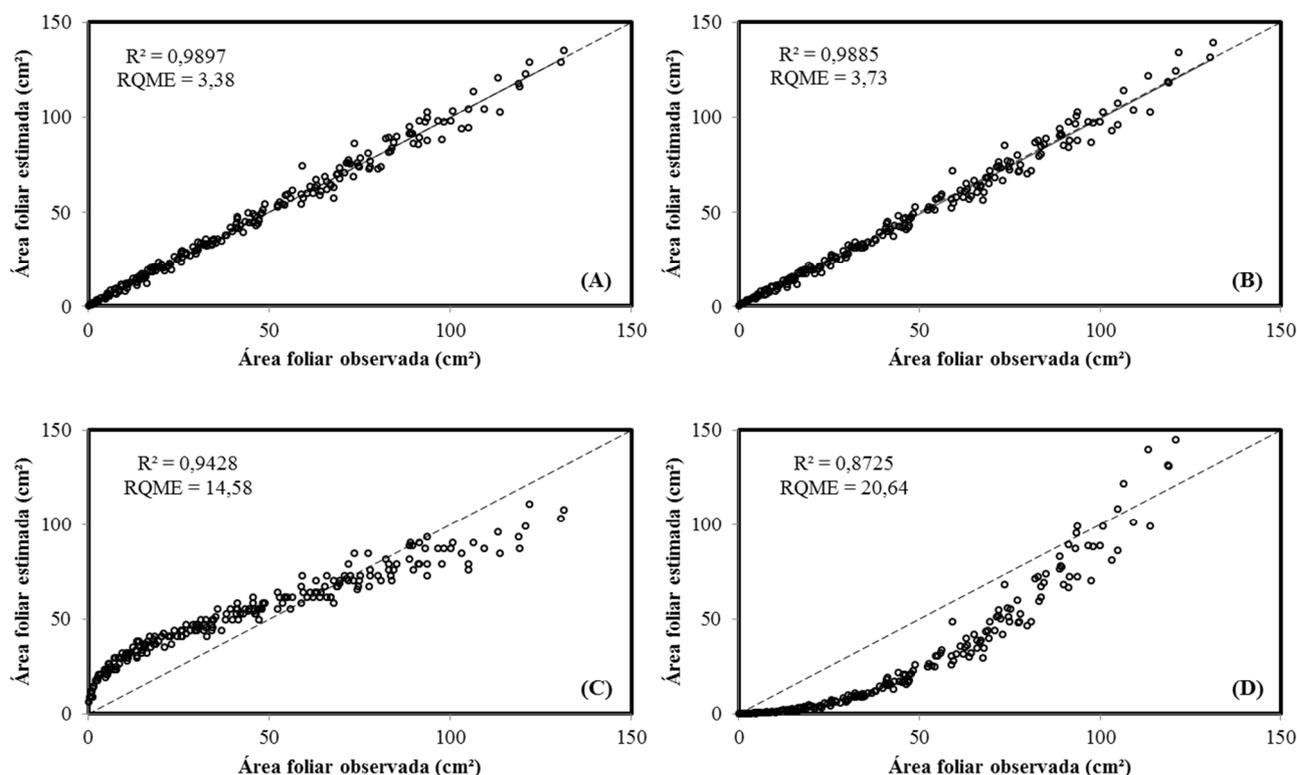


Figura 1. Relação entre área foliar estimada pelos modelos e área foliar observada por meio de fotografia digital, modelo número 3 (A), modelo número 7 (B), modelo número 8 (C) e modelo número 10 (D). A linha sólida representa a linha de tendência da regressão entre valores estimados pelo modelo e observados por fotografia digital, e a reta pontilhada representa a relação 1:1. R^2 = coeficiente de determinação e RQME = Raiz do erro quadrático médio.

CONCLUSÃO

A área foliar das cultivares de alho Ito e Chonan, pode ser estimada com precisão e acurácia pelo modelo $[AF = -0,016872xC^2 + 0,394108xL - 5,080271xL^2 - 0,000325x(CxL)^2 + 1,286572xCxL]$ e através do modelo mais simplificado $[AF = 0,6543278xCxL]$.

Os modelos matemáticos baseados em apenas uma dimensão linear da folha obtiveram menor precisão e maior variabilidade.

REFERÊNCIAS

BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; PERECIN, D. Estimativa da área foliar de *panicum maximum* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, v.19, n.2, p. 217-221, 2001.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

BOSCO, L. C.; BERGAMASCHI, H.; CARDOSO, L. S.; PAULA, V. A.; CASAMALI, B. Seleção de modelos de regressão para estimar a área foliar de macieiras 'Royal gala' e 'Fuji suprema' sob tela antigranizo e em céu aberto. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 504-514, 2012.

CRISTOFORI, V.; ROUPHAEL, Y.; GYVES, E. M.; BIGNAMI, C. A simple model for estimating leaf area of hazelnut from linear measurements. **Scientia Horticulturae**, v.113, n.2, p. 221-225, 2007.

DEMIRSOY, H. Leaf area estimation in some species of fruit tree by using models a non-destructive method. **Fruits**, Cambridge, v.64, n.1, p. 45-51, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro nacional de pesquisa dos solos. **Solos do estado de Santa Catarina**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Rio de Janeiro, 2004.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Atlas climático da região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima temperado, 2011.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; CUNHA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S. Estimativa do índice de área foliar e da produtividade de pepino em meio protegido: cultivos de inverno e de verão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.8-13, 2000.

LIMA, R. T. SOUZA, P. J. O. P.; RODRIGUES, J. C.; LIMA, M. J. A. Modelos para estimativa da área foliar da mangueira utilizando medidas lineares. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 974-980, 2012.

LOPES, C.M.; ANDRADE, I.; PEDROSO, V.; MARTINS, S. Modelos empíricos para estimativa da área foliar da videira na casta Jaen. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, Dois Portos, v.19, n.2, p.61-75, 2004.

SCHWAB, N. T.; STRECK, N. A.; REHBEIN, A.; RIBEIRO, B. S. M. R.; ULHMANN, L. O.; LANGNER, J. A.; BECKER, C. C. Dimensões lineares da folha e seu uso na determinação do perfil vertical foliar de gladiolo. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p.97-105, 2014.

SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D.; do Vale, L. S.; dos SANTOS, J. W. Método para determinação da área foliar da mamoneira. **Revista Brasileira Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.8, n.1, p.753-762, 2004.

SILVA, S. H. M. G.; 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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.1, p.243-246, 2008.

TRANI, P.E. **Cultura do alho (*Allium sativum*): Diagnóstico e recomendações para seu cultivo no Estado de São Paulo**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/alho/index.htm>. Acesso em: 7/6/2015.