

## COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR EM PLANTAS DE MILHO

VITOR HENRIQUE VAZ MONDO<sup>1</sup>, SAUL JORGE PINTO DE CARVALHO<sup>1</sup>, VICTOR DOMICIANO DE SILOS LABONIA<sup>1</sup>, DURVAL DOURADO NETO<sup>1</sup> e SILVIO MOURE CICERO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ), Departamento de Produção Vegetal, Av. Pádua Dias, n° 11, Caixa Postal 09, CEP 13418-900, Piracicaba, SP.

E-mail: vhmundo@yahoo.com.br; sjpcarvalho@yahoo.com.br; vlabonia@ig.com.br; dourado@esalq.usp.br; smcicero@esalq.usp.br

*Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.8, n.3, p. 233-246, 2009*

**RESUMO** – A área foliar é uma das principais variáveis relacionadas com o desenvolvimento vegetal, sendo frequentemente estimada para análise quantitativa do crescimento de plantas. Um dos métodos de maior relevância é a utilização de equações de regressão entre a área foliar real e as medidas dimensionais lineares das folhas, como comprimento e largura. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de comparar diferentes métodos de estimativa de área foliar de plantas de milho, utilizando-se apenas uma folha para estimar área total, equações particulares para cada folha, equações generalizadas para cada estágio fenológico e equação tradicionalmente utilizada em trabalhos científicos. A análise consistiu na mensuração do comprimento ( $C$ ) e da largura ( $L$ ) de cada folha, quando constatados os estádios fenológicos de quatro e oito folhas. Para os diferentes métodos, as equações de regressão obtidas serviram de base para comparar o produto  $C.L$  com área da própria folha ou da planta toda. As equações matemáticas que correlacionam comprimento e largura de folhas com área real foram eficientes estimadoras do desenvolvimento foliar das plantas. Diferentes folhas e estádios fenológicos possuem diferentes parâmetros de ajuste da regressão. Para adequada estimativa da área foliar, recomenda-se correção da equação  $AF_N = a.C_{(N-1)}.L_{(N-1)}$  para as condições ambientais locais.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, biometria, regressão linear, crescimento, folhas.

## COMPARISON OF METHODS FOR ESTIMATING LEAF AREA ON MAIZE

**ABSTRACT** – Leaf area is an important variable related to plant development, commonly estimated for quantitative analysis of plant growth. One of the most relevant methods for leaf area estimation is the use of regression equations between real leaf area and leaf linear dimensions, like length and width. This work aimed to compare different methods for estimating leaf area of maize plants, using only one leaf to estimate total plant leaf area, particular equations for each leaf, generalized equations for each phenological stage and the traditional equations used in scientific works. The analysis consisted in measuring length ( $L$ ) and width ( $W$ ) of each leaf at four and eight leaves stages. For the different methods, the equations obtained made possible to compare the product between  $C$  and  $L$  with the area of each leaf or of each whole plant. The mathematical equations that correlate length and width of leaves with the real area were efficient estimators of leaf development on maize plants. Different leaves and phenological stages have different parameters for adjusting the regression. For an adequate estimation of leaf area, the adjustment of the equation  $LA_N = a.L_{(N-1)}.W_{(N-1)}$  is recommended for the local environmental conditions.

**Key words:** *Zea mays*, biometry, linear regression, growth, leaves.

A área foliar é uma das principais variáveis utilizadas para quantificar o crescimento vegetal (Stewart & Dwyer, 1999; Carvalho & Christoffoleti, 2007), estando relacionada com diversos processos fisiológicos da planta, tais como fotossíntese, respiração e transpiração. Usualmente, são necessários equipamentos caros ou técnicas destrutivas para a mensuração da área foliar, que impedem a comparação de efeitos em um mesmo indivíduo e necessitam de grande quantidade de amostras, tornando esta uma das características mais difíceis de mensurar (Bianco *et al.*, 2003).

Um dos métodos não-destrutivos de maior relevância é a estimativa da área foliar por meio

de equações de regressão entre a área foliar real e as medidas dimensionais lineares das folhas (Bianco *et al.*, 2004; 2007; Silva *et al.*, 2008), as quais apresentam boas correlações com a superfície foliar. No intuito de se obter dados de área foliar confiáveis, faz-se necessária a determinação de qual (ou quais) das dimensões foliares (comprimento –  $C$ , largura –  $L$  ou o produto  $C.L$ ) possibilita melhor estimativa da área foliar real da planta. Para isso, são ajustadas funções de regressão baseadas nas dimensões lineares da folha e, geralmente, selecionadas as mais adequadas a partir do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ou erro padrão (Silva *et al.*, 2008).

Assim sendo, a busca de métodos indiretos de fácil utilização, rápidos e não-destrutivos, que estimem a área foliar com precisão, torna-se importante para avaliar o crescimento das plantas em condições de campo. Esses métodos têm por vantagem o fato de que as amostragens podem ser executadas nas mesmas plantas durante todo o seu ciclo de desenvolvimento, reduzindo o erro experimental associado com procedimentos de amostragem destrutivos (Silva et al., 1998) e de maneira rápida (Bianco et al., 2007).

Nesse contexto, vários trabalhos foram realizados buscando equações para estimar a área foliar de plantas por métodos indiretos. Essa técnica já foi utilizada com sucesso em várias espécies, como *Amaranthus* spp. (Carvalho & Christoffoleti, 2007), *Anthurium andreanum* (Silva et al., 2008), *Gossypium hirsutum* (Monteiro et al., 2005), *Ipomea* spp. (Bianco et al., 2007), *Mangifera indica* (Araújo et al., 2005), *Phaseolus vulgaris* (Queiroga et al., 2003), *Richardia brasiliensis* (Rosseto et al., 1997), *Senna obtusifolia* (Peressin et al., 1984), *Solanum americanum* (Tofoli et al., 1998), *Tridax procumbens* (Bianco et al., 2004), *Vitis* sp. (Pedro Júnior et al., 1986) e *Zea mays* (Montgomery, 1911; McKee, 1964; Francis et al., 1969; Pearce et al., 1975; Birch et al., 1998; Vos et al., 2005), dentre outras.

O clássico trabalho de Montgomery (1911) foi o primeiro a sugerir que a área foliar ( $AF$ ) pode ser calculada com base em medidas lineares do limbo, como comprimento ( $C$ ) e largura ( $L$ ). Nesse trabalho, a área de uma folha

foi estimada utilizando a relação generalizada de  $AF=a.C.L$ , em que  $a$  é o fator de correção da área do retângulo  $C.L$ , da ordem de 0,75 para plantas de milho. Essa fórmula ainda vem sendo amplamente utilizada para mensurações de área foliar. No entanto, esse fator de correção pode diferir entre espécies e cultivares (Stewart & Dwyer, 1999; Bange et al., 2000; Tivet et al., 2001; Carvalho & Christoffoleti, 2007) ou estágio de desenvolvimento da planta (Bange et al., 2000).

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar diferentes métodos de estimativa de área foliar de plantas de milho, em que se comparou o uso de apenas uma folha para estimar a área total, bem como de equações particulares para cada folha, equações generalizadas para cada estágio fenológico e a equação tradicionalmente utilizada em trabalhos científicos.

## Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP/ESALQ, Piracicaba – SP (22°42’30”S, 47°38’00”W e altitude de 540 m), entre os meses de março e junho de 2008, utilizando-se cultivo homogêneo de milho (híbrido 2B710).

Ao acaso, foram coletados 25 indivíduos da população de plantas de milho nos estádios fenológicos de quatro e oito folhas, assegurando-

se a existência de todas as folhas, bem como a ausência de danos nas mesmas. Logo após a coleta, o material foi levado ao laboratório, onde se realizou a mensuração do comprimento ao longo da nervura central e da largura máxima do limbo foliar de cada folha. Em seguida, a área foliar real ( $AF$ ,  $\text{cm}^2$ ) de cada folha foi obtida com auxílio do medidor de área modelo LICOR LI-3100 (LI-COR, inc., Lincoln, Nebraska, EUA). Toda a metodologia de coleta e análise foi baseada em trabalhos tradicionalmente descritos na literatura, como em Peressin *et al.* (1984) e Bianco *et al.* (2004).

Todos os dados foram ajustados a regressões lineares de primeiro grau, adotando-se a seguinte equação básica (1):

$$AF = a.(C.L) \quad (1)$$

Em que:  $AF$  é a área foliar real ( $\text{cm}^2$ ) e  $a$  é o parâmetro matemático da reta que estima o percentual de equivalência entre a área foliar real e o produto do comprimento ( $C$ ,  $\text{cm}$ ) pela

largura ( $L$ ,  $\text{cm}$ ) do limbo (Figura 1).

Considerando-se  $N$  como o número total de folhas, as estimativas particulares da área foliar total de plantas de milho ( $AF$ ,  $\text{cm}^2$  planta<sup>-1</sup>) foram obtidas por meio de quatro modelos matemáticos, sendo:

I. Uso de uma única folha de referência ( $n$ ) para estimar área total da planta com  $N$  folhas:

$$AF_N = a.C_n.L_n \quad (2)$$

II. Uso de ajuste independente para cada folha:

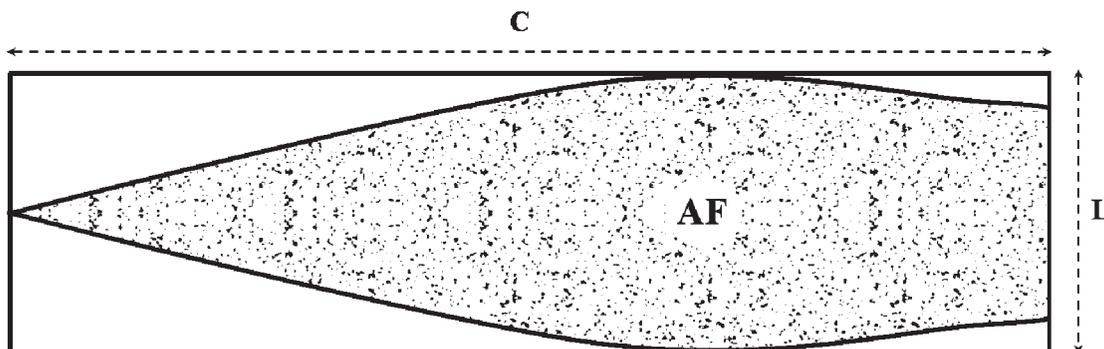
$$AF_N = \sum_{n=1}^N a_n.C_n.L_n \quad (3)$$

III. Uso de ajuste para cada estágio fenológico:

$$AF_N = \sum_{n=1}^N a_N.C_n.L_n \quad (4)$$

IV. Modelo tradicional, segundo proposta de Montgomery (1911):

$$AF_N = \sum_{n=1}^N 0,75.C_n.L_n \quad (5)$$



**FIGURA 1.** Folha inscrita no retângulo definido pelo comprimento “ $C$ ” ( $\text{cm}$ ) e largura “ $L$ ” ( $\text{cm}$ ) do limbo foliar.

As equações de relação obtidas para os diferentes métodos serviram de base para comparar o produto  $C.L$  com a área da própria folha ou da planta toda. Para plantas em estádio de quatro folhas, esse cálculo foi desenvolvido separadamente para todas as folhas, enquanto que, para plantas em estádio de oito folhas, objetivaram-se estimativa com a quinta, sexta, sétima e oitava folhas. Também foi verificada a relação entre todas as folhas de milho e o parâmetro geral de ajuste, de acordo com trabalhos tradicionais de ajuste de área foliar.

A comparação das retas dos gráficos para as folhas em diferentes estádios fenológicos foi feita por meio dos intervalos de confiança obtidos para o parâmetro  $a$ , com nível de 5% de significância. Nos casos em que ocorreu sobreposição do intervalo de confiança de duas retas, julgou-se a igualdade das equações; na ausência de sobreposição, julgou-se a existência de duas retas distintas (Carvalho & Christoffoleti, 2007). Procedeu-se à aplicação do teste 't' no parâmetro matemático  $a$  para diferenciá-lo de zero.

Posteriormente, foi testada a validação de cada um dos modelos de estimativa de área foliar com a relação da área estimada/área real, também por meio da equação linear de primeiro grau que cruza a origem. Nesse caso, considerou-se ajuste satisfatório quando o parâmetro estimado  $a$ , ou o intervalo de confiança deste, se aproxima da unidade. Considerações de ordem prática sobre o uso de cada um dos métodos também foram relevantes para discussão dos pontos positivos e negativos das estimativas.

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1, estão apresentados os ajustes obtidos para uso do produto do comprimento pela largura máxima para estimar área de folhas de uma planta de milho. Considerando todas as folhas, o parâmetro matemático  $a$  obtido para o híbrido simples 2B710 foi 0,7727 ( $\pm 0,0077$ ), considerado diferente do parâmetro de Montgomery (1911), pois o intervalo de confiança encontrado para o parâmetro  $a$  da equação não compreendeu o valor 0,75 (Tabela 1).

Essa diferença pode estar relacionada com os equipamentos disponíveis para a realização dos diferentes experimentos, visto que, atualmente, tem-se oportunidade de utilização de dispositivos com alta precisão e praticidade, que permitem a análise de grande quantidade de material em pouco tempo. É provável que o material genético estudado nos trabalhos não tenha exatamente a mesma conformação foliar que aquele considerado por Montgomery (1911), resultando em um parâmetro matemático  $a$  diferente, de modo que nova variação é esperada quando da análise de outros híbridos ou variedades. Outra possibilidade para a diferença no parâmetro  $a$  encontrado em trabalhos está relacionada com a influência ambiental na conformação das plantas. Valentinuz & Tollenaar (2006), também trabalhando com milho, afirmaram que tanto os elementos do clima quanto as práticas agrônômicas são fontes de variação desse coeficiente.

**TABELA 1.** Parâmetro  $a$  da equação de regressão<sup>1</sup>, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), valor de F e intervalo de confiança (I.C.) com 5% de significância, para relação entre a área foliar de diferentes folhas de milho (híbrido 2B710) e o produto do comprimento da nervura central pela largura máxima do limbo, de plantas avaliadas em estágio de quatro e oito folhas. Piracicaba – SP, 2008

Condição	Folha amostrada	Nº folhas	a	R <sup>2</sup>	F	I.C. (5%)	
						mín	máx
Ambas avaliações	Todas	280	0,7727*	0,9867	38535,51**	0,7650	0,7804
	Primeira	25	0,5985*	0,7117	3413,07**	0,5773	0,6196
	Segunda	25	0,5601*	0,2545	1374,37**	0,5289	0,5912
	Terceira	25	0,5638*	0,9329	15362,20**	0,5544	0,5732
	Quarta	25	0,6140*	0,8181	6473,18**	0,5982	0,6297
Plantas com quatro folhas	Todas	100	0,6001*	0,9852	18537,40**	0,5914	0,6088
	Primeira e Segunda	29	0,6506*	0,9294	3365,98**	0,6277	0,6736
	Terceira	25	0,6579*	0,8766	2349,44**	0,6300	0,6859
	Quarta	25	0,6850*	0,9701	12406,24**	0,6722	0,6977
	Quinta	25	0,7338*	0,8555	4102,91**	0,7101	0,7574
	Sexta	25	0,7414*	0,5546	2192,68**	0,7087	0,7741
	Sétima	25	0,7828*	0,9284	15313,97**	0,7698	0,7959
	Oitava	25	0,8008*	0,8132	9487,57**	0,7839	0,8178
	Todas	180	0,7796*	0,9875	34181,04**	0,7713	0,7879

<sup>1</sup> $AF=a.(C.L)$ ; \*Significativo ao teste t, a 5% de probabilidade; \*\*Significativo ao teste F, a 5% de probabilidade.

Em trabalhos com outras espécies de plantas, diferenças foliares têm sido observadas em decorrência da interferência ambiental. Nesse sentido, supõe-se que diferenças nutricionais e, principalmente, disponibilidade de luz para atividade fotossintética são fatores que podem alterar o tamanho das folhas e, também, a estimativa do parâmetro  $a$  (Vlahos *et al.*, 1991; Aguilera *et al.*, 2004; Carvalho & Christoffoleti, 2007).

Foi observada diferença no parâmetro  $a$  da equação quando se procedeu à comparação

do ajuste dos estádios fenológicos independentemente (Tabela 1). Nas plantas em estágio fenológico de quatro folhas, o parâmetro foi 0,6001 ( $\pm 0,0087$ ) e, para plantas em estágio de oito folhas, foi 0,7796 ( $\pm 0,0083$ ). Não houve sobreposição dos intervalos de confiança para os parâmetros do conjunto de folhas do mesmo estágio, indicando diferença entre eles. Esse fato limita a consideração de um ajuste geral para o híbrido estudado, de forma que a análise particular em cada estágio foi executada.

O estudo de cada folha separadamente também indicou diferenças, em que a terceira e quarta folhas não foram ajustadas da mesma forma para plantas em estádios de quatro e oito folhas (Tabela 1). O parâmetro  $a$  foi significativamente maior para plantas com oito folhas, indicando que as folhas de plantas mais desenvolvidas ocupam maior percentual da área do retângulo  $C.L$ . Essa diferença pode estar relacionada com o crescimento tardio das folhas do milho, visto que a amostragem foi executada criteriosamente em folhas expandidas e com lígula visível, de forma que a juvenilidade das folhas não é a única explicação para a diferença. Se assim fosse, tais diferenças de juvenilidade não seriam observadas na terceira folha do estádio de quatro folhas expandidas.

Considerando toda a planta, o ajuste obtido nos estádios fenológicos diferiu entre folhas,

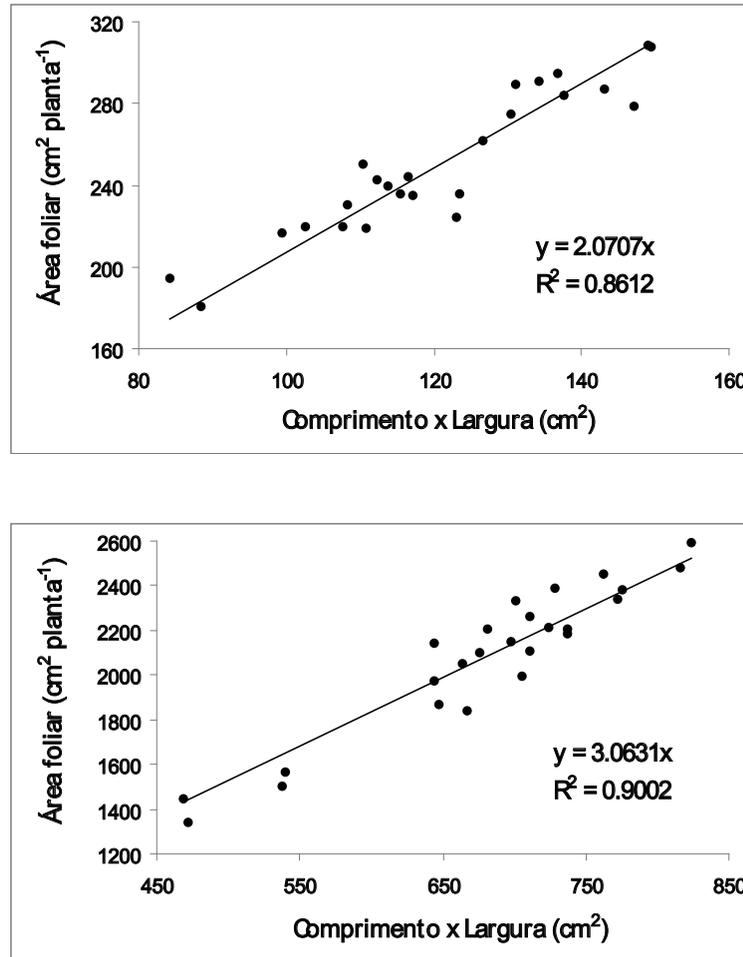
de forma a caracterizar necessidade de seleção da melhor folha para a estimativa da área total (Tabela 2). Para plantas com quatro folhas, foi obtido melhor ajuste considerando a terceira folha, visto que foram encontrados maiores coeficiente de determinação e de validação do modelo (F). Para plantas com oito folhas, de forma análoga, a melhor folha estimadora foi a sétima.

Considerando-se os dados discutidos em termos de uso da relação  $C.L$  para estimativa da área de folhas (Tabela 1) ou da planta toda (Tabela 2), os maiores ajustes sempre foram obtidos para a folha ' $N - 1$ ' de cada estádio, ou seja, a terceira e sétima folhas para os estádios de quatro e oito folhas completamente expandidas, respectivamente. A caracterização gráfica da relação entre  $C.L$  da terceira e sétima folhas com a área total das plantas nos estádios de

**TABELA 2.** Parâmetro  $a$  da equação de regressão<sup>1</sup>, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), valor de F e intervalo de confiança (I.C.) com 5% de significância, para relação entre a área foliar total de plantas de milho (híbrido 2B710) e o produto do comprimento da nervura central pela largura máxima do limbo foliar de uma única folha, em diferentes folhas e avaliações. Piracicaba – SP, 2008

Condição	Folha amostrada	Nº folhas	a	R <sup>2</sup>	F	I.C. (5%)	
						mín	Max
Plantas com quatro folhas	Primeira	25	9,4921*	0,5120	2623,83**	9,1096	9,8746
	Segunda	25	4,3313*	0,6459	3625,84**	4,1829	4,4798
	Terceira	25	2,0707*	0,8612	9287,65**	2,0264	2,1151
	Quarta	25	1,1444*	0,7983	6381,62**	1,1148	1,1740
Plantas com oito folhas	Quinta	25	6,6031*	0,5900	2430,60**	6,3266	6,8795
	Sexta	25	4,1841*	0,6137	2581,43**	4,0142	4,3541
	Sétima	25	3,0631*	0,9002	10057,30**	3,0000	3,1262
	Oitava	25	2,3311*	0,8462	6519,25**	2,2715	2,3807

<sup>1</sup> $AF=a.(C.L)$ ; \*Significativo ao teste t, a 5% de probabilidade; \*\*Significativo ao teste F, a 5% de probabilidade.



**FIGURA 2.** Relação entre a área foliar total de milho (híbrido 2B710) e o produto do comprimento da nervura central pela largura máxima do limbo de uma única folha. A – Relação da terceira folha e área total de plantas em estágio de quatro folhas; B – Relação da sétima folha e área total de plantas em estágio de oito folhas. Piracicaba – SP, 2008

quatro e oito folhas é apresentada na Figura 2. Assim sendo, para validação do modelo  $AF_N = a.C_n.L_n$  (modelo matemático 1) e comparação das áreas estimadas com as áreas reais da planta, foram utilizadas as folhas ‘N - 1’ de cada estágio ( $AF_N = a.C_{(N-1)}.L_{(N-1)}$ ).

Trabalhos utilizando as dimensões da maior folha, normalmente a oitava folha, como parâmetro para estimar a área foliar de toda a planta de milho são encontrados na literatura (Francis, 1969; Pearce et al., 1975; Valentinuz & Tollenaar, 2006). No entanto, esses trabalhos foram realizados utilizando materiais genéticos

para clima temperado, o que, segundo Ellings (2000), faz com que tais fórmulas não sejam completamente adequadas e precisas para os estudos com materiais genéticos mais adaptados a regiões de clima tropical. Nesse mesmo trabalho, a autora acrescenta que a utilização dos fatores desenvolvidos por Francis (1969) e Pearce et al. (1975) em materiais genéticos para climas tropicais corresponde à subestimação média da área foliar de 28 e 20%, respectivamente.

Na Tabela 3, são apresentados o parâmetro matemático  $a$ , o coeficiente de determinação das retas, o resultado do teste estatístico F e o intervalo de confiança para a comparação das estimativas resultantes dos quatro métodos matemáticos de obtenção de área foliar total com a área real das plantas de milho. Nesse ponto, o resultado de maior validade é o parâmetro matemático  $a$ , que deve ser o mais próximo possível de 1, indicando

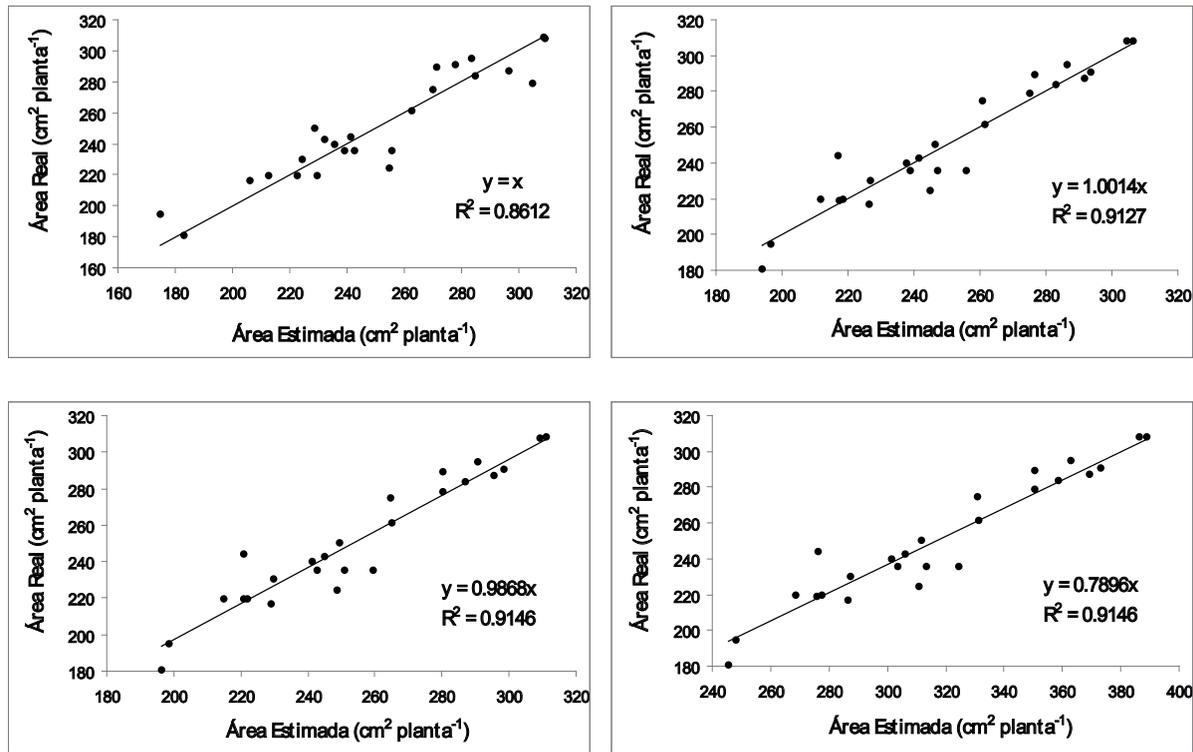
maior coincidência entre as áreas estimada e real. O coeficiente de determinação e o teste F do modelo são parâmetros que avaliam quanto o modelo se ajustou aos dados, porém se o próprio coeficiente de ajuste ( $a$ ) não for satisfatório, os demais parâmetros não justificam a escolha do método.

No estádio de quatro folhas, a dispersão dos dados se manteve similar para os quatro métodos matemáticos utilizados; contudo, o parâmetro  $a$  variou significativamente (Figura 3). Considerando-se que o intervalo de confiança do parâmetro  $a$  deve contemplar a unidade, ou seja, contemplar o algarismo 1, três técnicas foram eficientes: cálculo com uma única folha ( $N - 1$ ), cálculo com equação particular de cada folha e cálculo com equação do estádio. A equação tradicional que utiliza  $a = 0,75$  não satisfaz a igualdade entre as áreas estimada e real,

**TABELA 3.** Parâmetro  $a$  da equação de regressão<sup>1</sup>, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), valor de F e intervalo de confiança (I.C.) com 5% de significância, para validação da estimativa da área foliar de plantas de milho (híbrido 2B710) a partir da folha ' $N - 1$ ', da equação de cada folha, da equação geral do estádio e do padrão utilizado ( $a=0,75$ ). Piracicaba - SP, 2008

Condição	Método	$a$	$R^2$	F	I.C. (5%)	
					mín	Max
Plantas com quatro folhas	Folha ' $N - 1$ '	1,0000*	0,8612	9285,65**	0,9786	1,0214
	Equação de cada folha	1,0014*	0,9127	14782,06**	0,9844	1,0184
	Equação do estádio	0,9868*	0,9146	15116,41**	0,9702	1,0034
	Padrão ( $a = 0,75$ )	0,7896*	0,9146	15116,41**	0,7763	0,8028
Plantas com oito folhas	Folha ' $N - 1$ '	1,0000*	0,9002	10057,30**	0,9794	1,0206
	Equação de cada folha	1,0062*	0,9225	12961,31**	0,9880	1,0245
	Equação do estádio	0,9830*	0,9236	13154,10**	0,9653	1,0007
	Padrão ( $a = 0,75$ )	1,0218*	0,9236	13154,05**	1,0034	1,0401

<sup>1</sup> $AF=a.(C.L)$ ; \*Significativo ao teste t, a 5% de probabilidade; \*\*Significativo ao teste F, a 5% de probabilidade.

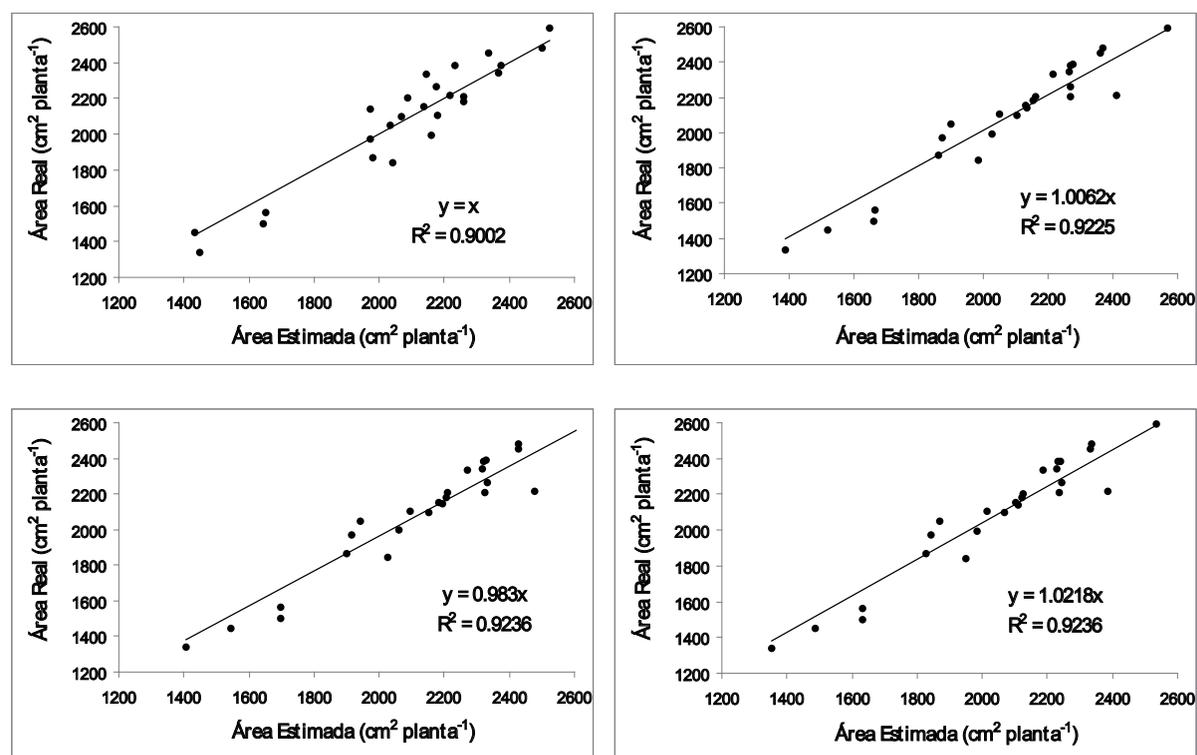


**FIGURA 3.** Comparação da área foliar total de plantas de milho (híbrido 2B710) estimadas por diferentes métodos com a área foliar real, para plantas em estágio fenológico de quatro folhas. A – Estimativa com uso apenas da terceira folha ( $N - 1$ ); B – Estimativa com equação particular de cada folha; C – Estimativa com equação geral do estágio; D – Estimativa com padrão experimental ( $a = 0,75$ ). Piracicaba – SP, 2008.

caracterizando-se como a técnica de estimativa menos acurada (Tabela 3; Figura 3).

Resultados semelhantes foram observados para o estágio fenológico de oito folhas. Também nesse caso, somente o uso da equação tradicional de estimativa da área foliar de milho não satisfaz a igualdade entre área estimada e real (Tabela 3). Em termos gerais, o melhor ajuste do parâmetro  $a$  foi observado para a adoção da estimativa com uma única folha ( $N - 1$ ), visto que a equação obtida foi  $y = x$  (Figura 4).

Objetivando a utilização prática das técnicas, a adoção da folha  $N - 1$  como estimadora da área total é o método mais prático e eficiente. Com as dimensões lineares de uma única folha, pode-se obter a área foliar das plantas de milho por meio de uma única equação e sem o acúmulo de sucessivos desvios. Ainda, o parâmetro  $a$  obtido para essa técnica foi o que teve intervalo de confiança mais ajustado à igualdade (Tabela 3). Por outro lado, deve-se destacar que, para uso prático do método da folha  $N - 1$ , há



**FIGURA 4.** Comparação da área foliar total de plantas de milho (híbrido 2B710) estimadas por diferentes métodos com a área foliar real, para plantas em estágio fenológico de oito folhas. A – Estimativa com uso apenas da sétima folha ( $N - 1$ ); B – Estimativa com equação particular de cada folha; C – Estimativa com equação geral do estágio; D – Estimativa com padrão experimental ( $a = 0,75$ ). Piracicaba – SP, 2008

necessidade de que toda a população de plantas, ou as plantas de todos os tratamentos de um dado experimento, estejam no mesmo estágio fenológico. Caso os tratamentos experimentais causem diferenças no número de folhas, e não somente na área destas, o modelo de estimativa com folha  $N - 1$  não pode ser recomendado. Essas considerações condizem com as expostas por Ellings (2000), confirmando que a utilização da folha inadequada é traduzida em erros de cálculo.

Os cálculos proporcionados pelas técnicas das equações particulares de cada folha e equação do estágio fenológico também obtiveram estimativas satisfatórias; contudo, em termos práticos, têm adoção mais trabalhosa, podendo resultar em sucessivos acúmulos de erros, pois há diversas medições e cálculos individuais a serem realizados. Também é importante o desenvolvimento de outros estudos, com o intuito de comparar diferentes híbridos ou variedades quando em crescimento

sob condições ambientais adversas e em vários estádios fenológicos.

Com os resultados obtidos, recomenda-se que, quando houver necessidade de estimar a área foliar de milho por métodos não-destrutivos, proceda-se à correção da equação  $AF_N = a.C_{(N-1)}.L_{(N-1)}$  para as condições do experimento em questão. Para tanto, podem ser amostradas 25 plantas, obter medidas de comprimento e largura máxima da folha  $N - 1$  e área foliar total da planta. Posteriormente, com o emprego de simples regressões, obtém-se o parâmetro matemático  $a$ , que atende plenamente as condições ambientais, de variedade ou híbrido, de estádio de crescimento e nutricional. Recomendações semelhantes foram indicadas por Ellings (2000), que comenta sobre a utilização de cinco plantas para o cálculo de  $a$ , previamente às mensurações de área foliar das plantas de milho.

### Conclusões

1. As equações matemáticas que correlacionam comprimento e largura de folhas com área real são eficientes estimadoras do desenvolvimento foliar das plantas de milho.
2. Diferentes folhas e estádios fenológicos possuem diferentes parâmetros matemáticos de ajuste da regressão.

Para estimativa adequada da área foliar, recomenda-se a correção da equação  $AF_N = a.C_{(N-1)}.L_{(N-1)}$  para as condições ambientais locais, estádio fenológico e cultivar considerados

### Literatura Citada

AGUILERA, D. B.; FERREIRA, F. A.; CECON, P. R. Crescimento de *Siegesbeckia orientalis* sob diferentes condições de luminosidade. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 22, p. 43-51, 2004.

ARAÚJO, E. C. E.; SANTOS, E. P.; PRADO, C. H. B. A. Estimativa da área foliar da mangueira (*Mangifera indica* L.) cvs. tommy, atkins e haden, utilizando dimensões lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, p. 308-309, 2005.

BANGE, M. P.; HAMER, G. L.; MILROY, S. P.; RICKET, K. G. Improving estimates of individual leaf area of sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 761-765, 2000.

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**, Viçosa, MG, v. 21, p. 257-261, 2003.

BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; CARVALHO, L. B. Estimativa da área foliar de *Tridax procumbens* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 22, p. 247-250, 2004.

BIANCO, S.; BIANCO, M. S.; PAVANI, M. C. M. D.; DUARTE, D. J. Estimativa da área foliar de *Ipomoea hederifolia* e *Ipomoea nil* ROTH. usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, p. 325-329, 2007.

BIRCH, C. J.; HAMMER, G. L.; RICKERT, K. G. Improved methods for predicting individual leaf area and leaf senescence in maize (*Zea*

- mays*). **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 49, p. 249-262, 1998.
- CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Estimativa da área foliar de cinco espécies do gênero *Amaranthus* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, p. 317-324, 2007.
- ELLINGS, A. Estimation of leaf area in tropical maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 436-444, 2000.
- FRANCIS, C. A.; RUTGER, J. N.; PALMER, F. E. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). **Crop Science**, Madison, v. 9, p. 537-539, 1969.
- McKEE, G. W.A Coefficient for computing leaf area in hibrid corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 56, p. 240-241, 1964.
- MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimaco da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 15-24, 2005.
- MONTGOMERY, E. G. Correlation studies in corn. **Annual Report Agricultural Experiment Station of Nebraska**, Lincoln, v. 24, p. 108-159, 1911.
- PEARCE, R. B.; MOCK, J. J.; BAILEY, T. B. Rapid method for estimating leaf area per plant in maize. **Crop Science**, Madison, v.15, p. 691-694, 1975.
- PEDRO JÚNIOR, M. J.; RIBEIRO, I. J. A.; MARTINS, F. P. Determinaco da área foliar em videira cultivar Niagara Rosada. **Bragantia**, Campinas, v. 45, p. 199-204, 1986.
- PERESSIN, V. A.; PITELLI, R. A.; PERECIN, D. Métodos para estimativa da área foliar de plantas daninhas. 4. *Cassia tora* L. **Planta Daninha**, Campinas, v. 7, p. 48-52, 1984.
- 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**, Campinas, v. 21, p. 64-68, 2003.
- ROSSETO, R. R.; PITELLI, R. L. C. M.; PITELLI, R. A. Estimativa da área foliar de plantas daninhas: Poaia branca. **Planta Daninha**, Botucatu, v. 15, p. 25-29, 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, MG, v. 45, p. 287-291, 1998.
- SILVA, S. H. M.; LIMA, J. D.; BENDINI, H. N.; NOMURA, E. S.; MORAES, W. S. Estimativa da área foliar do antrio com o uso de funções de regressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 243-246, 2008.
- STEWART, D. W.; DWYER, L. M. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 422-427, 1999.
- TIVET, F.; SILVEIRA PINHEIRO, B.; RASSAC, M. de; DINGKUHN, M. Leaf blade dimensions of rice (*Oryza sativa* L., *Oryza glaberrima* Steud.). Relationships between

tillers and the main stem. **Annals of Botany**, Oxford, v. 88, p. 507-511, 2001.

TOFOLI, G. R.; BIANCO, S.; PAVANI, M. C. M. D.; SILVA, R. C. Estimativa da área foliar de plantas daninhas: *Solanum americanum* Mill. **Planta Daninha**, Botucatu, v. 16, p. 149-152, 1998.

VALENTINUZ, O. R.; TOLLENAAR, M. Effect of genotype, nitrogen, plant density, and row spacing on the area-per-leaf profile in maize. **Agronomy Journal**, Madson, v. 98, p. 94-99, 2006.

VLAHOS, J. C.; HEUVELINK, E.; MARTAKIS, G. F. P. A growth analysis study of three *Achimenes* cultivars grown under three light regimes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 46, p. 275-282, 1991.

VOS, J.; PUTTEN, P. E. L.; BIRCH, C. J. Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 93, p. 64-73, 2005.