

## MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR EM ALFACE

James do Nascimento Costa<sup>1</sup>, Railson Nascimento Fernandes<sup>1</sup>, Antônio Mário de Maria<sup>1</sup>,  
Cícero Lima de Almeida<sup>2</sup>, Joilson Silva Lima<sup>3</sup>, Manoel Valnir Júnior<sup>4</sup>

**RESUMO:** Atualmente, existem vários métodos destrutivos e não destrutivos, diretos ou indiretos, para se estimar a área foliar em plantas, apresentando alta variabilidade na sua precisão. Assim, objetivou-se com o trabalho comparar e indicar o melhor método para estimativa da área foliar de quatro variedades de alface. Os métodos para estimativa da área foliar (AF) foram: i) método das lâminas foliares (MD), usado como padrão; ii) método das medidas lineares com fator de correção (Mfc); iii) método com imagem digital, utilizando o *Software* ImagemJ® (MJ); iv) método da análise de regressão simples com massa foliar (MRm); v) método da análise de regressão linear múltipla com base nas medidas lineares comprimento e largura (MRcl); vi) método da análise de regressão linear múltipla com base nas medidas lineares comprimento e largura, mais a massa seca foliar (MRlm). A comparação dos resultados da AF estimadas, de acordo com os métodos, foi realizada por meio do coeficiente de correlação e pela raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE - *Root Mean Square Error*). A obtenção da área foliar das quatro variedades de alface, crespa, roxa, lisa e americana apresentaram baixo desempenho, com  $R^2 < 0,75$ , por meio dos métodos utilizados quando comparado com o método padrão das lâminas foliares. Contudo, de acordo com RMSE o método mais indicado para estimativa da área foliar das quatro variedades foi MRm entre os analisados.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Lactuca sativa*; Medidas lineares; Regressão

## METHODS FOR LEAF AREA ESTIMATION IN LETTUCE

**ABSTRACT:** Currently, there are several destructive and non-destructive methods, direct or indirect, to estimate the leaf area in plants, but its accuracy is variable. Thus, the objective of this work was to compare and indicate the best method for estimating the leaf area of four

<sup>1</sup> Graduandos Tecnologia Irrigação e Drenagem; IFCE – *Campus* Sobral, Av. Dr. Guarani, 317 - Derby Clube, Sobral - CE, 62042-030, e-mail: jamesnascimento07@gmail.com; railsonnascimento161@gmail.com; mariodemaria12@gmail.com

<sup>2</sup> Dr. Eng. Agrícola; IFCE – *Campus* Sobral, e-mail: cicero.almeida@ifce.edu.br

<sup>3</sup> Dr. Fitotecnia; IFCE – *Campus* Sobral, e-mail: joilson.lima@ifce.edu.br

<sup>4</sup> Prof. Eixo Recursos Naturais; IFCE – *Campus* Sobral, e-mail: valnirjvm@yahoo.com.br

lettuce varieties. The methods for leaf area estimation (LA) were: i) leaf disc method (MD), used as standard; ii) method of linear measurements with correction factor (Mfc); iii) method with digital image, using the ImageJ® (MJ) Software; iv) method of simple regression analysis with foliar mass (MRm); v) multiple linear regression analysis method based on linear length and width measurements (MRcl); vi) Multiple linear regression analysis method based on linear length and width measurements plus leaf dry mass (MRlm). The comparison of the estimated LA results, according to the methods, was performed using the correlation coefficient and by the square-root of the mean squared error (RMSE). The leaf area of the four varieties of lettuce, curly, purple, smooth and american presented low performance, with  $R^2 < 0.75$ , by the methods used when compared to the standard leaf disc method. However, according to RMSE the most suitable method for estimating the leaf area of the four varieties was MRm among the analyzed ones.

**KEYWORDS:** *Lactuca sativa*; Linear Measurements; Regression.

## INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é originária de clima temperado, planta anual, pertencente à família Asteracea, hortaliça folhosa mais consumida no mundo. No Brasil, é considerada a principal hortaliça folhosa, no que se refere à produção, à comercialização e ao valor nutricional (SANTOS, 2011).

A alface é uma das olerícolas mais importantes no mundo economicamente entre as hortaliças folhosas (SILVA et al., 2017). Filgueira (2003), citado por Zárte et al. (2010), relata que a alface é uma hortaliça com grande popularidade no planeta, possuindo um elevado teor de vitamina A nas folhas verdes, podendo alcançar até 4.000 UI/100 g, tendo o consumo dessa olerícola aumentado a cada dia, em função do aumento exponencial da população, pelas mudanças no hábito alimentar do consumidor, e na busca por alimentos mais saudáveis.

A folha é o principal órgão no processo transpiratório, responsável pelas trocas gasosas entre a planta e o ambiente (PEREIRA et al., 1997 *apud* LUCENA et al., 2011). Assim, conforme Lucena et al. (2011), essa é a razão pela qual o conhecimento da superfície foliar é tão útil para avaliar outras técnicas de cultivo como a poda, adubação, a densidade de plantio e a aplicação de defensivos agrícolas.

Conforme Cunha et al. (2010), umas das ferramentas usadas em análises de crescimento vegetal é a quantificação da área foliar em plantas. Para a cultura da alface, a determinação da área foliar é de suma importância, em razão de suas folhas serem o produto de maior interesse agrônomo e econômico da cultura. Existem inúmeros métodos para se determinar a área foliar, podendo serem classificados em métodos destrutivos ou não destrutivos, diretos ou indiretos, sendo variável a sua precisão (NASCIMENTO et al., 2002). A área foliar pode ser determinada e/ou estimada tanto pelo uso de instrumentos de medição ou por modelos de regressão (BOSCO et al., 2012). A utilização de determinado método irá depender da precisão desejada, do tempo gasto para estimar a área foliar, da manutenção das plantas, dentre outros (SILVA et al., 2013).

Os métodos diretos são aqueles que utilizam medições realizadas diretamente nas folhas. Os métodos indiretos se baseiam na correlação conhecida entre uma variável medida e a área foliar. Os métodos destrutivos exigem a retirada da folha ou outras estruturas. Nos métodos não-destrutivos, as medidas são tomadas na planta, sem a necessidade da remoção de estruturas preservando sua integridade e permitindo a continuidade das medições na mesma planta (SOUZA et al., 2012; ADAMI et al., 2008). Desse modo, o presente trabalho tem por objetivo comparar e indicar o melhor método para estimativa da área foliar de quatro variedades de alface.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de outubro a dezembro de 2018, em ambiente protegido (telado de experimentação agrícola), pertencente ao Instituto Federal do Ceará/Campus Sobral. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro tratamentos e cinco repetições, sendo três folhas por repetição.

Os tratamentos consistiram em quatro variedades de alface (V1 – variedade crespa solta, cultivar Elba; V2 – variedade repolhuda crespa ou americana, cultivar Lucy Brown; V3 - variedade solta crespa roxa, cultivar Mimosa Vermelha; e V4 – variedade solta lisa, cultivar Regina).

As mudas de alface foram cedidas pelo sítio São Francisco, propriedade produtora de hortaliças orgânicas, localizada no município de Guaraciaba do Norte – CE. O transplante foi realizado 23 dias após a semeadura (DAS), quando as mudas apresentavam entre três e quatro folhas definitivas, sendo uma muda por vaso, com capacidade de 7 dm<sup>3</sup>. O espaçamento entre

plantas foi de 0,30 m e entre fileiras de 0,25 m. O substrato utilizado era composto por areia e esterco caprino curtido na proporção de 2:1, respectivamente.

As plantas foram diariamente irrigadas com 100% da evapotranspiração potencial da cultura, sendo o manejo da irrigação realizado pela evaporação do minitanque Classe A. Os dados de precipitação, temperatura do ar e umidade relativa do ar foram coletadas diariamente às 09 h, por meio de um pluviômetro Ville de Paris e de um termohigrômetro, respectivamente.

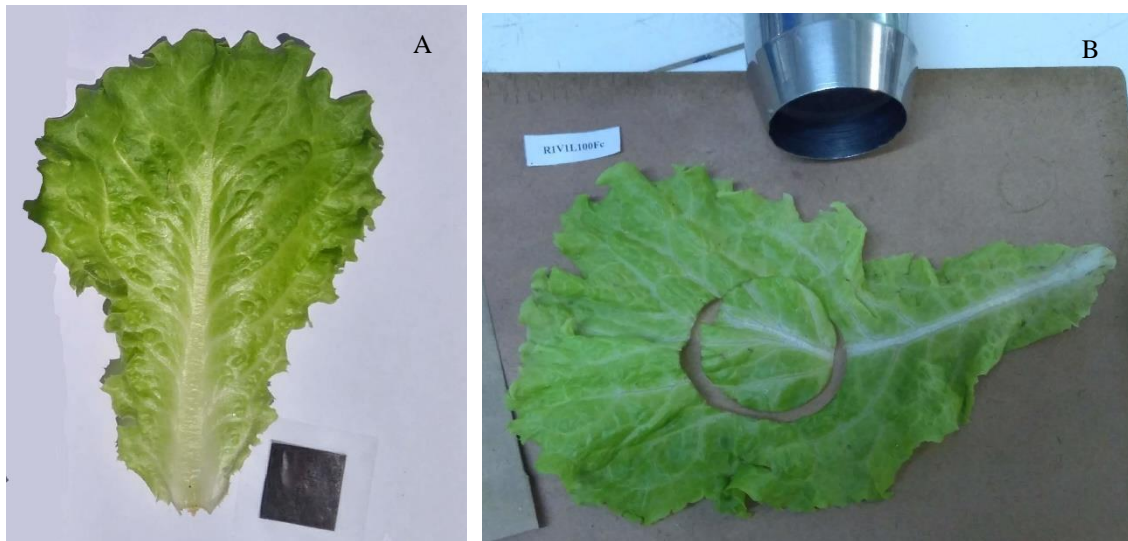
Passados 36 dias após o transplântio (DAT), as plantas foram colhidas e avaliadas quanto ao comprimento e a largura de três folhas de alface, localizadas na região apical, na região média e na região basal, de forma a buscar melhor representar os diferentes estádios de desenvolvimento da folha.

Os métodos utilizados para estimativa da área foliar (AF) foram: i) método das lâminas foliares (MD), conforme equação 1 e Figura 1B; ii) método das medidas lineares com fator de correção (Mfc), conforme equação 2; iii) método com imagem digital utilizando o *Software* ImagemJ® (MJ) Figura 1 A; iv) método da análise de regressão simples com massa foliar (MRm); v) método da análise de regressão linear múltipla com base nas medidas lineares comprimento e largura (MRl); vi) método da análise de regressão linear múltipla com base nas medidas lineares comprimento e largura mais a massa seca foliar (MRlm).

$$AF = \frac{a_d \times (m_d + m_r)}{m_d} \quad (1)$$

$$AF = f_c \times CL \quad (2)$$

Em que:  $a_d$  – área do disco (4,9 cm<sup>2</sup>);  $m_d$  – massa seca do disco (mg);  $m_r$  – massa seca do restante da folha (g); C – comprimento da folha (cm); L – largura da folha (cm);  $f_c$  – fator de correção, V1: 0,484, V2: 0,513, V3: 0,598, V4: 0,734.



**Figura 1.** Destaque da variedade crespa solta, cultivar Elba (V1) para realização das medidas para determinação da área foliar pelos diferentes métodos. (A) destaque da imagem a ser utilizada pelo *software* ImagemJ®; (B) destaque do disco foliar utilizado para obter a área foliar pelo método das lâminas foliares (MD).

A comparação entre os métodos foi realizada por meio do coeficiente de correlação e pela raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE - *Root Mean Square Error*), conforme a equação 3. Os dados foram analisados no *Software* MS Excel®.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(AF_{cal} - AF_{med})^2}{n}} \quad (3)$$

Em que:  $AF_{cal}$  – área foliar calculada pela diferentes métodos analisados ( $cm^2$ );  $AF_{med}$  – área foliar média obtida pelo método das lâminas foliares ( $cm^2$ );  $n$  – número de folhas avaliadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apenas o método MRIm ( $p < 0,05$ ) é recomendável para a medida da área foliar na variedade Crespa (V1), embora este explique menos de 30% da variação dos dados (Tabela 1). Nas variedades Americana (V2) e Lisa (V4), apenas o método MRm não é recomendado para a estimativa da área foliar da alface segundo o  $R^2$  ( $p > 0,05$ ), sendo o melhor resultado observado pelo método MRIm com  $R^2$  de 75 e 67%, respectivamente. Já a variedade Roxa (V3) todos os métodos podem ser utilizados para estimativa da área foliar segundo  $R^2$  ( $p < 0,01$ ), com destaque para o método MRIm e MRm com valores de  $R^2$  de 69 e 61%, respectivamente (Tabela 1).

**Tabela 1.** Avaliação da estimativa da área foliar pelos métodos Mfc, MJ, MRm, MRcl, MRlm com relação ao método MD, usado como padrão, para quatro variedades de alface.

Métodos	Crespa		Americana		Roxa		Lisa	
	R <sup>2</sup>	RSME	R <sup>2</sup>	RSME	R <sup>2</sup>	RSME	R <sup>2</sup>	RSME
Mfc	0,170 <sup>ns</sup>	22,72	0,627 <sup>***</sup>	36,17	0,455 <sup>**</sup>	31,78	0,579 <sup>***</sup>	25,99
MJ	0,126 <sup>ns</sup>	38,07	0,491 <sup>*</sup>	57,91	0,535 <sup>**</sup>	29,40	0,521 <sup>**</sup>	27,72
MRm	0,004 <sup>ns</sup>	2,80	0,235 <sup>ns</sup>	22,46	0,611 <sup>***</sup>	33,12	0,102 <sup>ns</sup>	8,73
MRI	0,148 <sup>ns</sup>	17,13	0,656 <sup>***</sup>	37,49	0,446 <sup>**</sup>	28,32	0,636 <sup>***</sup>	21,74
MRlm	0,284 <sup>*</sup>	23,71	0,748 <sup>***</sup>	40,05	0,691 <sup>***</sup>	35,24	0,670 <sup>***</sup>	22,32

RMSE= raiz quadrada do erro quadrático médio; Mfc= método das medidas lineares com fator de correção; MJ=método com imagem digital utilizando o Software ImagemJ®; MRm=método da análise de regressão simples com massa foliar; MRI= método da análise de regressão linear múltipla com base nas medidas lineares comprimento e largura; MRlm=método da análise de regressão linear múltipla com base nas medidas lineares comprimento e largura mais a massa seca foliar; ns= não significativo; \*=significativo a 5%; \*\*=significativo a 1%; \*\*\*=significativo a 0,1% de erro experimental.

O método que apresentou melhor desempenho, conforme o resultado do RMSE, foi MRm para as variedades V1, V2 e V4, com valores 2,8; 22,5 e 8,73, respectivamente e para a variedade V3 foi o método MRI com RSME de 28,3 (Tabela 1). Os valores obtidos pelo RSME além de divergem do resultado apontado pelo R<sup>2</sup> apontam resposta oposta. Segundo Grace-Martin (2018) aponta que o RMSE é uma boa medida da precisão com que o modelo prediz a resposta, e é o critério mais importante para o ajuste se a finalidade principal do modelo for a previsão.

A utilização de medidas de dimensões lineares, comprimento e largura (método MRI) proporciona uma estimativa de área foliar satisfatória para a cultura da aceroleira, apresentando um coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,910 (Lucena et al., 2011). Esse método proporcionou melhor estimativa para variedade V3 e seu desempenho foi inferior apenas ao método MRm para as demais variedades segundo RSME.

Silva et al. (2002), estimando a área foliar em gergelim, verificaram que as estimativas de área de foliar são mais precisas quando são usadas ambas as dimensões de comprimento e largura do limbo foliar. Monteiro et al. (2005), ao estimarem a área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas, concluíram que 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% e apresentando altos coeficientes de correlação.

Zeist et al. (2014) ao compararem diversos métodos para estimativa da AF de morango utilizaram como método padrão MJ e observaram que todos os métodos avaliados apresentaram R<sup>2</sup> > 0,96. O menor desempenho dos métodos na estimativa da AF observado neste trabalho em relação a outros trabalhos (LUCENA et al., 2011; ZEIST et al., 2014) se deve, provavelmente, a anatomia foliar da alface, que apresenta a superfície foliar corrugada,

que acaba por subestimar a AF quando projetada em um plano 2D. Devido essa característica irregular da superfície foliar este trabalho optou por adotar o método das lâminas foliares (MD) como padrão.

Souza et al. (2012), comparando métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia, afirmam que entre os métodos testados, o método usando lâminas foliares é o mais recomendado, em razão de ser baseado em dados de massa seca e ser menos influenciado pela turgidez da folha, apresentando correlação considerada boa, sendo o maior valor obtido no referido trabalho  $r = 0,947$ , com  $p < 0,01$ , sendo este o motivo pela qual o método usando lâminas foliares foi adotado como padrão para estimativa da área foliar em alface

Conforme Zeist et al. (2014), para a cultura do morangueiro, a precisão dos métodos de estimativa de área foliar pode sofrer variações de acordo com a cultivar, devido a precisão dos métodos se alterarem conforme as características das folhas. As variações nas características das folhas também ocorrem com a cultura da alface, em razão da anatomia foliar das variedades, Crespa, Americana, Roxa e Lisa serem diferentes.

## CONCLUSÕES

A obtenção da área foliar das quatro variedades de alface, crespa, rocha, lisa e americana apresentaram baixo desempenho, com  $R^2 < 0,75$ , por meio dos métodos utilizados quando comparado com o método padrão das lâminas foliares.

Contudo, de acordo com a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) o método mais indicado para estimativa da área foliar das quatro variedades foi o método da análise de regressão simples com massa foliar (MRm) entre os analisados.

## REFERÊNCIAS

ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. De. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais dimensões lineares. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p.1053-1058, 2008.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p.666-669, dez. 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362003000400019>.

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

CUNHA, J. L. X. L.; NASCIMENTO, P. G. M. L.; DE MESQUITA, H. C.; DA SILVA, M. G. O.; DOMBROSKY, J. L. D.; SILVA, I. N. Comparação de métodos de área foliar em *Chrysobalanus icaco* L. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 6, n. 3, p.22-27, 2010.

GRACE-MARTIN, K. Assessing the fit of regression models. **The analysis factor**. Disponível em: <<https://www.theanalysisfactor.com/assessing-the-fit-of-regression-models/>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

LUCENA, R. R. M.; BATISTA, T. M. V.; DOMBROSKY, J. L. D.; LOPES, W. A. R.; RODRIGUES, G. S. O. Medição de área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 40-45, 2011.

MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p.15-25, 2005.

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

SANTOS, C. A. P. dos. **Produção da alface crespa e umidade do solo em função de diferentes fontes de matéria orgânica e cobertura do solo**. 2011. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011.

SILVA, D. S.; NÓBREGA, J. S.; ROCHA, R. H. C.; ARAÚJO, J. L.; GUEDES, W. A.; LIMA, J. F. Produção, aspectos nutricionais e fisiológicos de alface sob adubação foliar com *Spirulina platensis*. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 1, p.41-47, 2017.



SILVA, W. L.; COSTA J. P. R.; CAPUTTI, G. P.; GALZERANO, L.; RUGGIERI, A. C. Medidas lineares do limbo foliar dos capins xaraés e massai para a estimativa da área foliar. **Biotemas**, v. 26, n. 3, p.11-18, 2013.

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.

SOUZA, M. S.; ALVES, S. S. V.; DOMBROSKY, J. L. D.; FREITAS, J. D. B.; AROUCHA, E. M. M. Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 241-245, 2012.

ZÁRATE, N. A. H.; VIEIRA, M. C.; HELMICH, M.; HEID, D. M.; MENEGATI, C. T. Produção agroeconômica de três variedades de alface: cultivo com e sem amontoa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p.646-653, 2010.

ZEIST, A. R.; OLIVEIRA, J. R. F.; LIMA FILHO, R. B.; SILVA, M. L. S.; RESENDE, J.T. V. Comparação de métodos de estimativa de área foliar em morangueiro. **Pesq. Agrop. Gaúcha**, Porto Alegre, v. 20, n. 1/2, p. 33-41, 2014.