

ÁREA FOLIAR DE FOLHAS ÍNTEGRAS E DANIFICADAS DE CAFEIEIRO DETERMINADA POR DIMENSÕES FOLIARES E IMAGEM DIGITAL

Danilton Luiz FLUMIGNAN¹; Marcos ADAMI²; Rogério Teixeira de FARIA³

¹Mestrando em Agronomia - UEL, Londrina, PR, e-mail: daniltonlf@pop.com.br; ²Doutorando em Sensoriamento Remoto - INPE, São José dos Campos, SP, e-mail: adami@dsr.inpe.br; ³Pesquisador - IAPAR, Londrina, PR, e-mail: rtfaria@iapar.br

Resumo:

A magnitude da área foliar (AF) é um indicativo de produtividade do cultivo, além de ser requerida para a maioria dos estudos agrônômicos e fisiológicos. Avaliou-se o desempenho de métodos baseados em dimensões foliares e imagem digital na determinação de AF de cafeeiro, em relação ao método padrão LI-COR, em duas situações: com as folhas íntegras e danificadas. Compararam-se ainda as medidas pelo método imagem digital quando as imagens foram obtidas no campo (amostra destrutiva) e no laboratório (amostra destrutiva). Concluiu-se que o método dimensões foliares estima adequadamente AF de folhas íntegras de cafeeiro, porém, é inadequado para folhas danificadas. O método imagem digital apresenta ótima precisão para medir AF de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro, tanto no laboratório quanto no campo. Conseqüentemente, esse método pode substituir, com vantagem, o método LI-COR, por ser não destrutivo, de baixo custo e portátil.

Palavras-chave: Índice de área foliar, Spring, LI-COR

LEAF AREA OF ENTIRE AND DAMAGED LEAVES OF COFFEE DETERMINED BY LEAF DIMENSIONS AND DIGITAL IMAGE

Abstract:

The magnitude of leaf area (LA) is an indicative of crop yield, besides it is required in most of agronomic and physiological studies. The performance of methods based on leaf dimensions and digital image to measure coffee LA was compared with measurements taken by the standard method LI-COR, considering two situations: entire leaf and damaged leaf. In addition, measurements using digital image were compared when taken in lab (destructive sample) and field (undestructive sample). It was concluded that leaf dimensions estimate well LA of entire leaves, but it is unsuitable for damaged leaves. Digital image present great precision for LA measurement of both, entire and damaged leaves. Consequently, this method can substitute, with advantage, the method LI-COR, because its is inexpensive, portable and not destructive.

Key words: Leaf area index, Spring, LI-COR

Introdução

A folha assume funções muito importantes nas plantas, tais como a interceptação e absorção da luz para realização da fotossíntese, trocas gasosas e transpiração (Fahn, 1974). A magnitude da área foliar (AF) é um indicativo de produtividade (Favarin et al., 2002), além de ser requerida para a maioria dos estudos agrônômicos e fisiológicos (Blanco & Folegatti, 2003). Também estudos relacionados à densidade de plantio, adubação, irrigação, poda e aplicação de defensivos requerem o conhecimento dessas informações (Favarin et al., 2002; Tavares-Júnior et al., 2002).

Existem vários métodos de determinação de AF, entretanto, na prática são utilizados principalmente dois: o método de dimensões foliares e o integrador de AF (método LI-COR). O método de dimensões foliares estima AF baseado na relação entre AF real e a área de um retângulo que circunscreve a folha (comprimento, C, e largura, L), e é amplamente empregado a campo devido a sua praticidade, boa qualidade das estimativas e por ser não destrutivo. O método LI-COR, normalmente utilizado como referência, mede AF pelo princípio de células de grade de área conhecida, entretanto possui custo elevado e é destrutivo. Recentemente, aparelhos portáteis capazes de serem utilizados no campo sem a necessidade de destruir a planta têm sido lançados no mercado, porém com a desvantagem de apresentarem custo elevado.

Câmeras fotográficas digitais são também disponíveis no mercado, porém a um custo bastante acessível e se encontram bastante popularizadas. Estes equipamentos são promissores para trabalho a campo de medição de AF por serem portáteis, mais baratos que o LI-COR e podem ser usados em determinações não destrutivas, possivelmente com maior precisão que o método de dimensões foliares, principalmente em situações nas quais as folhas se apresentam danificadas. O método imagem digital determina AF com base na escala e na resolução em que é obtida a imagem (pontos por polegada ou *dots per inch* - dpi), por meio de um software que determina a área de cada elemento que compõe a imagem (*pixel*), dividindo a imagem em duas categorias (folha e não folha) e integrando os elementos que pertencem à mesma categoria.

Os métodos de determinação de AF podem ser classificados como diretos ou indiretos (estimativa) e destrutivos ou não destrutivos. Os métodos diretos são baseados em medidas realizadas diretamente nas folhas, como é o caso do método LI-COR e do método imagem digital. Os métodos indiretos são baseados na correlação conhecida entre uma variável biométrica mensurável e AF. Barros et al. (1973) e Rey & Alvarez (1991) indicaram a viabilidade de estimar AF de folhas de cafeeiros utilizando medidas de C e L das mesmas. Monteiro et al. (2005) concluíram que AF do algodoeiro pode ser estimada pelo método de dimensões foliares com erros em torno de 10% e pelo método de massa seca das folhas com erros inferiores a 2%. Queiroga et al. (2003) identificaram a possibilidade de estimar AF do feijão-vagem de crescimento determinado por meio de L

máximo do folíolo central. Tavares-Júnior et al. (2002) compararam as estimativas de AF de folhas de cafeeiros pelos métodos: dimensões foliares proposto por Barros et al. (1973), discos foliares e SIARCS 3.0 proposto por Jorge & Crestana (1996) com o método LI-COR, e identificaram que o método SIARCS 3.0 foi o mais exato (podendo, inclusive, ser usado como substituto ao método padrão), que o método dimensões foliares subestimou AF e o método discos foliares superestimou AF.

Os métodos destrutivos são aqueles que exigem a retirada de partes da planta, o que pode não ser possível em alguns casos devido a particularidades do estudo em questão. Em seu trabalho, Monteiro et al. (2005) identificaram que AF do algodoeiro pode ser estimada pelo método de massa seca das folhas com erro menor quando comparado ao método de dimensões foliares, porém com a desvantagem de ser um método destrutivo. Tavares-Júnior et al. (2002) identificaram que, para cafeeiro, o método SIARCS 3.0 pode substituir o método padrão de medição de AF, porém apresenta a desvantagem de ser um método destrutivo. Os métodos não destrutivos são aqueles que permitem a medição na própria planta, não precisando retirar partes da planta, preservando assim a sua integridade e permitindo a continuidade das medições na mesma planta.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da estimativa fornecida pelo método dimensões foliares e da medida fornecida pelo método imagem digital de AF de folhas de cafeeiros conduzidos em campo, comparando-os com as medições do método de referência LI-COR em duas situações distintas: com as folhas íntegras e com as folhas danificadas, a fim de simular situações de campo que levem a alteração de AF. Objetivou-se ainda, avaliar se as medições pelo método imagem digital são iguais ou diferentes quando as imagens são obtidas no campo e no laboratório.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na Área de Engenharia Agrícola do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina-PR, utilizando uma amostra, denominada amostra principal, constituída de 60 folhas de café da cultivar IAPAR 59 (*Coffea arabica* L.), coletadas ao acaso de diferentes plantas e posições do dossel de uma lavoura com aproximadamente 4 anos de idade.

Foram avaliados dois métodos de determinação de AF, o método de dimensões foliares e o método imagem digital. Ambos os métodos foram comparados com medidas do método de referência, o método LI-COR. As determinações de AF foram feitas em duas situações distintas, com as folhas íntegras e com as folhas danificadas. Na primeira tomaram-se folhas com o limbo foliar íntegro da forma que se encontrava na planta, enquanto na segunda as folhas da amostra foram cortadas aleatoriamente, a fim de simular danos comumente ocorridos em campo.

As determinações de AF foram realizadas num prazo de seis horas para minimizar ao máximo eventuais deformações nas folhas. A seqüência das determinações foi a seguinte: dimensões foliares com as folhas íntegras (campo), imagem digital com as folhas íntegras (campo), imagem digital com as folhas íntegras (laboratório), LI-COR com as folhas íntegras (laboratório), imagem digital com as folhas danificadas (laboratório) e LI-COR com as folhas danificadas (laboratório). A determinação dimensões foliares com as folhas danificadas foi considerada igual à determinação dimensões foliares com as folhas íntegras (campo), tendo em vista que este método considera apenas os extremos e não a integridade da folha, portanto apresentaria os mesmos resultados. A determinação imagem digital com as folhas íntegras (laboratório) foi realizada para confrontar com a imagem digital com as folhas íntegras (campo), a fim de testar se o método pode ser aplicado a campo sem a necessidade de destruir partes da planta.

A determinação pelo método de dimensões foliares requer o ajuste prévio do modelo de regressão baseado no produto de C e L das folhas e AF real medida pelo integrador de área foliar para a cultivar a ser estudada. Sendo assim, o modelo foi ajustado previamente utilizando uma amostra independente de 60 folhas, que foi coletada na mesma lavoura seguindo a metodologia usada para coleta da amostra principal. O procedimento resultou na seguinte equação de regressão, que apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9895:

$$AF_{df} = 0,6751 \times (C \times L) + 0,3533 \quad (1)$$

na qual AF_{df} é AF estimada pelo método de dimensões foliares, C é o comprimento máximo e L a largura máxima da folha.

O método imagem digital consistiu da captura de imagens de folhas abertas por meio de uma câmera fotográfica digital doméstica (Marca Sony, modelo DSC-P72) e no processamento das imagens pelo software SPRING (Camara et al., 1996). Determinou-se AF com base na escala (variável) e na resolução que foram obtidas as imagens (300 dpi). Estes dados foram usados no SPRING para determinar a área de cada *pixel* que compõe a imagem e integrar os elementos pertencentes à mesma categoria. Para determinar a escala da fotografia no SPRING, as folhas foram dispostas sobre uma chapa de PVC, de coloração branca, com dimensões de 19,4 x 12,1 cm, com uma trena milimetrada de 18 cm colada no eixo Y e outra de 9 cm no eixo X. Para eliminar ondulações e rugosidades, as folhas sobre a chapa de PVC foram prensadas por uma chapa de vidro transparente de 19,6 x 12,4 cm.

O cálculo da resolução inicial, sem correção, para os valores X e Y se deu pela seguinte equação:

$$res_{ini} = \frac{2,54cm}{dpi} \quad (2)$$

sendo res_{ini} a resolução inicial do eixo i (cm) e dpi é a resolução na qual foi obtida a imagem (dpi).

Após o cálculo da resolução inicial, as imagens foram importadas pelo software SPRING e, devido ao ângulo e distância variáveis em que foram obtidas, corrigiu-se a escala na análise de cada foto conforme a equação 3:

$$res_{fin} = res_{ini} \left(\frac{Vo_{ei}}{Vm_{ei}} \right) \quad (3)$$

na qual res_{fin} é a resolução final do eixo i (cm), res_{ini} é a resolução inicial do eixo i (cm), Vo_{ei} é o valor original do eixo i e Vm_{ei} é

o valor medido do eixo i . Aplicando-se a correção da escala, determinaram-se as dimensões do *pixel* em X e Y.

A classificação automática das imagens, realizada pelo software, possibilitou dimensionar a área de cada folha, de acordo com a seguinte equação:

$$AF_{id} = \sum_{i=1}^n res_{finxi} \times res_{finyi} \quad (4)$$

onde AF_{id} é AF medida pelo método de imagem digital (cm^2), i é o índice utilizado para representar os elementos classificados como folha, $i=1, \dots, n$, res_{finxi} é a resolução final do *pixel*, no eixo X, na posição i e res_{finyi} é a resolução final do *pixel*, no eixo Y, na posição i .

O método LI-COR consistiu na determinação de AF por meio do escaneamento realizado pelo aparelho integrador de AF. As medições foram realizadas utilizando o modelo LI 3100 da marca LI-COR (Li-cor, 1996).

Os métodos de dimensões foliares e imagem digital foram comparados por análise de regressão ($y = ax + b$) com o método LI-COR. Os critérios utilizados na comparação dos métodos foram: a) coeficiente angular do modelo de regressão (a); b) intercepto (b); c) coeficiente de determinação (R^2) e d) teste de precisão da estimativa através do índice d de Willmott (Willmott, 1981). As medidas do método imagem digital no campo e no laboratório também foram comparadas segundo os mesmos critérios de avaliação.

Resultados e Discussão

Os métodos de dimensões foliares e imagem digital apresentaram excelente precisão na determinação de AF de folhas íntegras de café (Tabela 1 e Figura 1a). O intercepto foi muito próximo à origem e o coeficiente angular de 1, indicando estreita concordância com o método de referência LI-COR. Também os valores de R^2 e d , por serem próximos ou iguais a 1, foram considerados ótimos, indicando, respectivamente, que quase não houve dispersão dos dados em relação à reta do modelo de regressão e nem afastamento dos valores obtidos entre os métodos avaliados e o LI-COR. Esses resultados concordam com os obtidos por Barros et al. (1973) e Rey & Alvarez (1991).

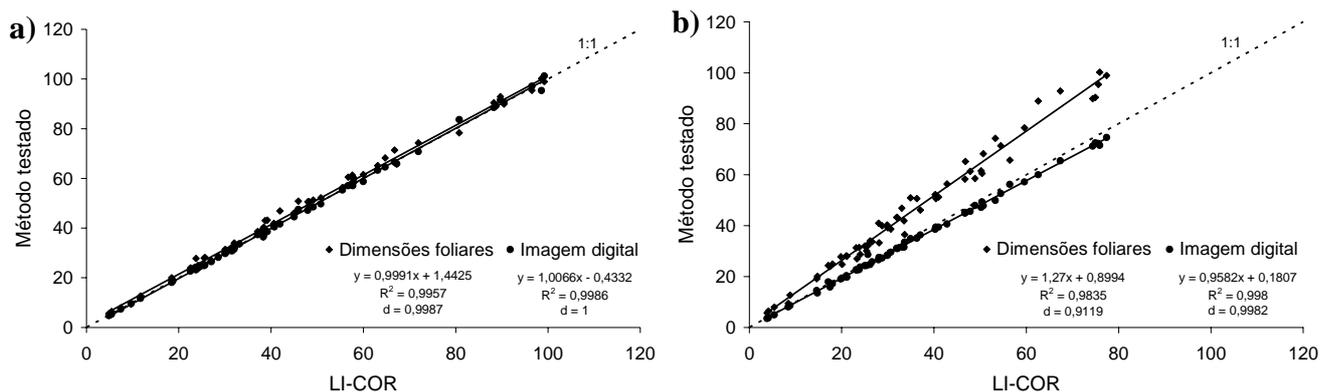


Figura 1. Correlação entre área foliar de folhas íntegras (a) e danificadas (b) de café determinada pelos métodos dimensões foliares e imagem digital em comparação ao método de referência LI-COR.

Tabela 1. Coeficiente angular do modelo de regressão (a), intercepto (b), coeficiente de determinação (R^2) e índice de Willmott (d) da análise de folhas íntegras e danificadas de café pelos métodos dimensões foliares e imagem digital comparados com o método de referência LI-COR.

Condição da folha	Método	a	b	R^2	d
Folhas íntegras	Dimensões foliares	0,9991	1,4425	0,9957	0,9987
	Imagem digital	1,0066	-0,4332	0,9986	1
Folhas danificadas	Dimensões foliares	1,27	0,8994	0,9835	0,9119
	Imagem digital	0,9582	0,1807	0,998	0,9982

O método de dimensões foliares apresentou baixa qualidade na estimativa de AF de folhas danificadas de café (Tabela 1 e Figura 1b). Embora o valor do intercepto tenha sido próximo de zero (0,8994), o coeficiente angular excedeu bastante a unidade (1,27), indicando sobrestimativa do método. Isso ocorreu porque o método dimensões foliares não leva em conta a integridade das folhas. Assim, folhas que apresentam áreas internas danificadas têm o seu valor de AF estimado em excesso por considerar somente as dimensões C e L. O coeficiente de determinação foi ainda elevado (0,9835), devido à baixa dispersão em torno da linha de regressão, já o índice d (0,9119), foi o pior de todos, indicando maior afastamento dos

valores obtidos em relação ao método padrão. Enfatiza-se que esse modelo de regressão serve para essa amostra, porém apresentará baixo desempenho para outras amostras de folhas danificadas por apresentarem padrões de danos diferentes. Esses resultados discordam dos obtidos por Barros et al. (1973) e Rey & Alvarez (1991), uma vez que o método dimensões foliares serve apenas para folhas íntegras.

O método imagem digital apresentou ótima qualidade na medição de AF de folhas danificadas de café (Tabela 1 e Figura 1b). O valor de a foi bastante próximo de 1 (0,9582) e b bastante próximo de 0 (0,1807), indicando que houve plena concordância entre os valores medidos por ambos os métodos. Além disso, os elevados valores de R^2 (0,998) e d (0,9982) indicaram, respectivamente, mínima dispersão dos dados em relação à reta de regressão e baixíssimo desvio em relação ao método LI-COR.

O método imagem digital apresentou a mesma qualidade na medição de AF de folhas íntegras de café quando as imagens foram obtidas no campo e no laboratório (Figura 2). O valor de a foi bastante próximo de 1 (1,0097) e b muito próximo de 0 (0,2116), além de R^2 e d que foram muito próximos a unidade, indicando que houve plena concordância entre os valores medidos nas duas situações. Portanto, este método pode ser indicado para medição de AF de folhas íntegras e danificadas de cafeeiros, em campo e laboratório, podendo inclusive substituir o método padrão LI-COR, tal qual o método SIARCS 3.0 no trabalho de Tavares-Júnior et al. (2002). Contudo, o método imagem digital proposto neste trabalho apresenta a vantagem de ser um método não destrutivo, enquanto o método SIARCS 3.0 é um método destrutivo.

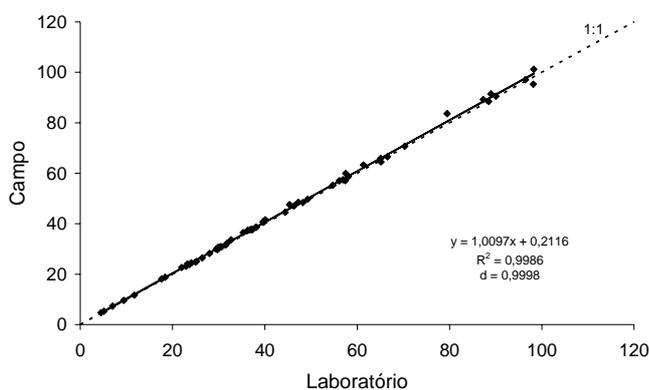


Figura 2. Regressão entre área foliar de folhas íntegras de café determinada pelo método imagem digital obtidas no campo e no laboratório.

Conclusões

O método dimensões foliares estima adequadamente AF de folhas íntegras de cafeeiro, porém, é inadequado para folhas danificadas.

O método imagem digital apresenta ótima qualidade na medição de AF de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro, tanto no laboratório quanto no campo.

O método imagem digital pode substituir com vantagem o método padrão LI-COR por ser não destrutivo, de baixo custo e portátil.

Referências Bibliográficas

Barros, R.S.; Maestri, M.; Vieira, M.; Braga-Filho, L.J. (1973). Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. "Bourbon Amarelo"). *Revista Ceres*, 20:44-52.

Blanco, F.F.; Folegatti, M.V.A. (2003). A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira*, 21:666-669.

Camara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. (1996). SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computer & Graphics*, 20:395-403.

Fahn, A. (1974). *Plant anatomy*. Oxford, Pergamon Press. 611p.

Favarin, J.L.; Neto, D.D.; García, A.G.; Nova, N.A.V.; Favarin, M.G.G.V. (2002). Equações para estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:769-773.

Jorge, L.A.C.; Crestana, S. (1996). SIARCS 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, CD-ROM. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 5p.

Li-cor. (1996). *LI 3100 area meter instruction manual*. Lincoln, LI-COR. 34p.

- Monteiro, J.E.B.A.; Sentelhas, P.C.; Chiavegato, E.J.; Guiselini, C.; Santiago, A.V.; Prael, A. (2005). Estimación da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. *Bragantia*, 64:15-24.
- Queiroga, J.L.; Romano, E.D.U.; Souza, J.R.P.; Miglioranza, E. (2003). Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. *Horticultura Brasileira*, 21:64-68.
- Rey, R.; Alvarez, P. (1991). Evaluación de diferentes ecuaciones de regresión en la estimación del área foliar del cafeto en vivero a partir de sus medidas lineares. *Agrotecnia de Cuba*, 23:69-74.
- Tavares-Júnior, J.E.; Favarin, J.L.; Dourado-Neto, D.; Maia, A.H.N.; Fazuoli, L.C.; Bernardes, M.S. (2002). Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. *Bragantia*, 61:199-203.
- Willmott, C.J. (1981). On the validation of models. *Physical Geography*, 2:184-194.