

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR EM CAFEIEIRO

TAVARES JÚNIOR, J.E.^{1,3}; FAVARIN, J.L.¹; DOURADO NETO, D.^{1,4}; MAIA, A.H.N.^{1,3,4}; FAZUOLI, L.C.²; BERNARDES, M.S.¹

¹ Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo, Cx. P. 9, CEP 13.418-900. Piracicaba/SP, + (19) 34294185; ² Centro de Café e Plantas Tropicais, Instituto Agronômico Campinas, CP 28, CEP 13.001-970. Campinas/SP, + (19) 32415188; ³ Pós-graduação em Agronomia, área de concentração: Fitotecnia; ⁴ Pesquisador do CNPq

RESUMO: Com o objetivo de avaliar a precisão de três métodos utilizados na estimativa da área foliar de cafeeiros, foi realizado um experimento no Instituto Agronômico de Campinas, onde foram coletadas aleatoriamente 50 folhas de uma única planta de café da variedade ‘Mundo Novo IAC 388 – 17’. Foram utilizados três métodos (SIARCS, Barros et al. (1973) e discos foliares), comparados com um método de referência (LI-COR). Para a comparação dos métodos foi utilizado um modelo de regressão linear simples ($Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$), relacionando o valor obtido pelo método de referência (LI-COR) com os valores dos demais métodos. Os três métodos avaliados foram comparados com base nos seguintes critérios: coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do resíduo (QMR) e padrão de dispersão do resíduo. Como as estatísticas R^2 e QMR possuem uma incerteza associada, por terem sido estimadas a partir de uma amostra de folhas, novos valores foram simulados, adotando-se o procedimento denominado ‘bootstrap’. De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que o método SIARCS pode ser utilizado na estimativa da área foliar (valores absolutos) em substituição ao método LI-COR e que todos os métodos são utilizáveis para estudos comparativos.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., área foliar, metodologia.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF LEAF AREA ESTIMATION IN COFFEE

ABSTRACT: To evaluate the accuracy of three methods for leaf area estimations in coffee, a field experiment was carried out at Agronomic Institute of Campinas, São Paulo State, where 50 coffee (cultivar Mundo Novo) leaves were randomized collected. All three methods (SIARCS, Barros et al., (1973) and leaf disc methods) were compared against the standard method (LI-COR) using a simple regression analysis ($Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$). The three methods were evaluated using the following criteria: determination coefficient (R^2), mean square error (QMR) and residual standard dispersion. Since the

statistical parameters R^2 and QMR have an associated uncertainty taking into consideration that all values were estimated using as support the leaf samples, new values were simulated using the bootstrap procedure. According to the results, it was concluded the SIARCS method can be useful to estimate leaf area (absolute values) instead the LI-COR method; for comparative studies, however, all methods herein evaluated can be satisfactorily used.

Key words: *Coffea arabica* L., leaf area, methodology.

INTRODUÇÃO

A área foliar é uma variável de crescimento reconhecida pela sua importância como indicativo da produtividade da planta, uma vez que o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa pelo dossel e da sua conversão em energia química. De acordo com Leong (1980), a eficiência fotossintética depende da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar e da interceptação da radiação solar, que, entre outros aspectos, são influenciadas pela arquitetura do dossel e pela dimensão do sistema fotoassimilador.

A produtividade da planta resulta de processos e reações complexas que ocorrem durante o crescimento e desenvolvimento sob influência das condições externas (Nasyrov, 1978), como a quantidade de energia incidente, interceptada (área foliar), absorvida (excitação eletrônica), convertida (fixação de CO_2), redistribuída entre as partes do vegetal (partição de assimilados) e metabolizada nas diferentes partes da planta (eficiência na utilização).

O conhecimento da área foliar do cafeeiro é fundamental para estudos fisiológicos envolvendo análise de crescimento e fotossíntese, transpiração, e em pesquisas para quantificar danos causados por pragas e doenças foliares. No aspecto prático, pode ser citada a possibilidade de se estimar a perda de água pela planta, pois a folha é o principal órgão no processo transpiratório responsável pela troca gasosa com o ambiente (Pereira et al., 1997) e de grande utilidade na avaliação de técnicas culturais, como poda, adubação, espaçamento, aplicação de defensivos e manejo da irrigação.

Huerta (1962), com o objetivo de comparar a eficiência de métodos de laboratório e de campo para quantificação da área foliar de cafeeiros, entre os quais o método fotográfico, massa de discos foliares, método gráfico de comparação de superfícies e método de dimensões foliares, concluiu que não há diferença estatística entre os métodos testados. Barros et al. (1973), visando determinar a área foliar de cafeeiro, utilizaram como padrão o método gravimétrico descrito por Kemp (1960) e Huerta & Alvin (1962) e correlacionaram os valores obtidos com as dimensões dos retângulos circunscritos aos limbos

foliares e, por meio de regressão linear, concluíram que a equação $Y = 0,667.X$ (em que Y representa a área foliar estimada, X a área do retângulo circunscrito à folha e 0,667 o fator de correção de forma) é a que apresenta maior precisão estatística para a estimativa da área foliar de café.

Vários são os métodos conhecidos que permitem determinar a área foliar de plantas de café (Huerta, 1962; Awatramani & Gopalakrishna, 1965; Barros et al. 1973; Gomide et al., 1977), dentre os quais destaca-se a utilização de equações que relacionam a área foliar com as dimensões lineares da folha (Pereira, 1987), importante pela rapidez na sua obtenção e por não ser destrutivo (Pedro Júnior et al., 1986).

Com o avanço tecnológico, foram desenvolvidos métodos que envolvem técnicas de digitalização de imagens que permitem a obtenção de resultados confiáveis da área foliar para qualquer espécie vegetal de forma rápida e eficiente (Crestana et al., 1994; Jorge & Crestana 1996). Entretanto, os trabalhos pioneiros não dispunham dessas técnicas para a determinação precisa da área foliar, além de terem utilizado como objeto de estudo materiais (folhas) de cultivares de café sem expressão no parque cafeeiro atual.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a precisão de três métodos para a estimativa da área foliar de cafeeiros, assumindo-se a hipótese de que os resultados obtidos com o integrador de área foliar LI-COR (modelo 3100) são exatos, utilizando-se de uma variedade de café amplamente cultivada nas regiões cafeeiras.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo, localizado na Fazenda Santa Elisa, em Campinas/SP. Em dezembro de 2000, coletaram-se aleatoriamente 50 folhas de uma única planta de café da variedade ‘Mundo Novo IAC 388 – 17’, em várias posições em relação à altura da planta.

Foram utilizados três métodos de estimativa de área foliar comparados com um método de referência (LI-COR), em que se assumiu que os resultados fornecidos são exatos. O método de referência (i) LI-COR, é um aparelho integrador de área, cuja teoria operacional baseia-se na simulação de células de grade, de área conhecida, na superfície foliar (LI-COR 3100, 1996).

O método (ii) SIARCS (Sistema Integrado para Análises de Raízes e Cobertura do Solo), desenvolvido pela EMBRAPA/CNPDI, conforme metodologia descrita por Jorge & Crestana (1996), determina a área de folhas mediante a obtenção de imagens digitalizadas captadas com *scanner* de mesa e processadas pelo *software* SIARCS 3.0. A área foliar é avaliada utilizando um algoritmo, integrando a superfície digitalizada do objeto através da técnica de medida e classificação de objetos em imagens

digitais conhecida como cálculo de momentos de ordem zero. Esse método foi utilizado para verificar sua precisão, com a finalidade de substituir o método admitido como referência, em razão do menor custo de aquisição e manutenção.

Os demais métodos avaliados foram: (iii) discos foliares, adaptado para folhas de cafeeiro, em que se retiraram quatro discos de área conhecida de cada folha ($0,54 \text{ cm}^2 \cdot \text{disco}^{-1}$), sendo dois discos coletados na metade inferior da folha e outros dois na metade superior, ambos em posições simétricas, evitando-se amostrar a nervura central conforme trabalhos desenvolvidos por Huerta (1962) e Gomide et al. (1977). O método de Barros et al. (1973) consiste na estimativa da área foliar pelo produto entre o maior comprimento e a maior largura da folha, ajustado pela constante (0,667).

Para calibração dos métodos foi ajustado um modelo de regressão linear simples, relacionando o valor obtido pelo método de referência (LI-COR) com os valores dos demais métodos, de acordo com a expressão 1, apresentada a seguir:

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que Y_i corresponde à área da i -ésima folha obtida utilizando o método LI-COR, α é o coeficiente linear do modelo, β o coeficiente angular e ε_i o erro aleatório associado a cada observação.

Os parâmetros α e β foram estimados pelo método de quadrados mínimos, cujas estimativas serão denominadas a e b, respectivamente.

Os três métodos avaliados foram comparados com o de referência, com base nos seguintes critérios: coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio de resíduos (QMR) e padrão de dispersão dos resíduos dos modelos de regressão que relacionam os valores obtidos por determinado método com aquele de referência.

A incerteza associada às medidas estatísticas R^2 e QMR foram quantificadas, utilizando-se do método de reamostragem denominado *bootstrap* (Efron & Tibshirani, 1993), além de serem elaboradas figuras que evidenciam o padrão de dispersão dos resíduos e as distribuições do R^2 e QMR para cada método avaliado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao ajuste dos modelos de regressão para cada método avaliado estão apresentados na Tabela 1, e as figuras dos modelos de calibração estabelecendo a relação entre as medidas obtidas pelo método LI-COR (referência) e os demais métodos são visualizadas nas Figuras 1 e 2.

A concordância entre o método de referência e os demais métodos é indicada pelo coeficiente de determinação (R^2) e o quadrado médio do resíduo (QMR), sendo que valores de R^2 próximos de 100% e mínimo para o QMR são adequados. Quanto menor o valor do QMR, maior a precisão da estimativa da área foliar determinada pelo método avaliado.

Tabela 1 - Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão linear (coeficiente linear 'a' e coeficiente angular 'b') com seus respectivos erros-padrão (E.P), coeficiente de determinação (R^2) e quadrado médio do resíduo (QMR)

Métodos	a	E.P.(a)	b	E.P.(b)	R^2 (%)	QMR
SIARCS 3.0	0,54	1,11	0,99	0,03	96,41	1,46
Discos foliares	4,44	1,67	0,99	0,04	92,28	3,27
Barros et al. (1973)	3,37	2,70	1,33	0,07	89,32	8,57

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, pode-se afirmar que o método SIARCS é aquele que mais se aproxima do método de referência (LI-COR), podendo substituí-lo em estudos de calibração dos métodos ora avaliados ou para novas propostas metodológicas com essa finalidade, apresentando vantagem econômica devido ao menor custo de aquisição do *software* (SIARCS 3.0) e de manutenção, comparado com o equipamento importado LI-COR (modelo 3100).

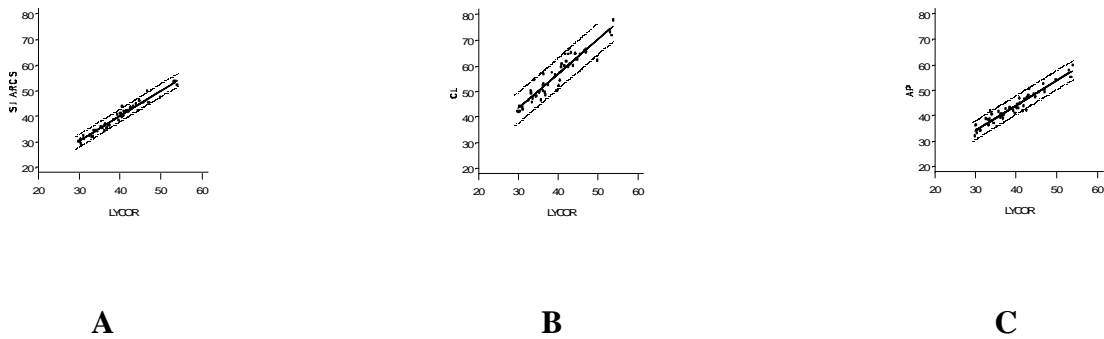
Entre os métodos empíricos, o método de discos foliares apresentou elevado coeficiente de determinação (R^2) e precisão superior para a estimativa da variável (área foliar), comparado ao método Barros et al. (1973), conforme indicam os valores do quadrado médio do resíduo (Tabela 1). Esse método tem a vantagem da praticidade metodológica; no entanto, ambos (Barros et al., 1973 e discos foliares) superestimam os valores da variável, conforme indica o coeficiente linear do modelo (Tabela 1), provavelmente como consequência de problemas de amostragem.

Em trabalhos comparativos não há restrições quanto ao método a ser utilizado, pois os três métodos avaliados apresentam boa precisão (R^2 elevado e baixo QMR, Tabela 1). Entretanto, para estudos que visem ao conhecimento do valor absoluto da área foliar, o método SIARCS é mais exato em relação aos demais, uma vez que os parâmetros do modelo assumido para calibração (expressão 1) apresentam valor de coeficiente linear (a) próximo de zero (origem dos eixos x e y), coeficiente angular (b) próximo a um, R^2 elevado e QMR baixo.

Tabela 2 - Estimativa “*bootstrap*” dos coeficientes de determinação R^2 e QMR (valores médio, limite inferior e superior) para os três métodos de determinação de área foliar de cafeeiro

Métodos	coeficiente de determinação (R^2)			quadrado médio resíduo (QMR)		
	médio	limite	limite	médio	limite	limite
		inferior	superior		inferior	superior
SIARCS	0,96509	0,95264	0,97584	1,18424	0,98589	-
Discos foliares	0,92500	0,89748	0,94786	1,76953	1,46561	2,07714
Barros et al. (1973)	0,95747	0,94225	0,97009	1,77465	1,48304	2,08340

Considerando-se que as estatísticas R^2 e QMR possuem uma incerteza a elas associada, decorrente do fato de terem sido estimadas a partir de uma amostra de folhas, foram simulados valores para R^2 e QMR que poderiam ser obtidos se fossem utilizadas outras amostras de folhas, adotando-se o método de reamostragem denominado *bootstrap* (Tabela 2). Os valores médio, superior e inferior do coeficiente de determinação (R^2) e quadrado médio do resíduo (QMR), estimados pelo método de reamostragem, confirmam os resultados obtidos pelo modelo de calibração utilizado.

**Figura 1** - Modelo de calibração para estimativa de área foliar, comparando o método-padrão (LICOR) com os diferentes métodos: (A) SIARCS, (B) Barros et al. (1973) e (C) discos foliares.

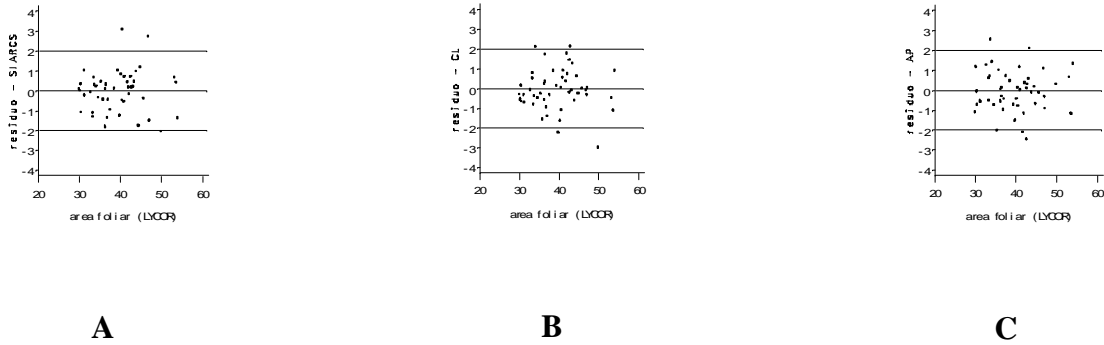


Figura 2 - Resíduo padronizado do modelo de calibração para estimativa de área foliar, comparando o método-padrão (LI-COR) com os diferentes métodos: (A) SIARCS, (B) Barros et al. (1973) e (C) discos foliares.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que: o método SIARCS pode ser utilizado na estimativa dos valores absolutos de área foliar em substituição ao método LI-COR; e todos os métodos avaliados são utilizáveis para estudos comparativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWATRAMANI, D.A.; GOPALAKRISHNA, H.K. Measurement of leaf area (*Coffea arabica* L.). **Indian Coffee**, v.29, n.1, p.61-64, 1965.
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA FILHO, L.J. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, v.20, n.107, p.44-52, 1973.
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; TOZZI, C.L.; TORRENETO, A.; VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no sol auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, n.3, p.365-371, 1994.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R.J. **An Introduction to the Bootstrap**. New York: Chapman & Hall, 1993. 436p.
- GOMIDE, M.B.; LEMOS, O.V.; TOURINO, D.; CARVALHO, M.M.; CARVALHO, J.G.; DUARTE, C.S. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. **Ciência Prática**. Lavras, v.1, n.2, p.118-123, 1977.
- HUERTA, S.A. Comparacion de métodos de laboratorio y de campo para medir el area del cafeto. **Cenicafé**, v.13, n.1, p.33-42, 1962.

- HUERTA, S.A.; ALVIM, P.T. Índice de área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del café. **Cenicafé**, v.13, n.2, p.75-84, 1962.
- JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. 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, 1996. Solo suelo 96. Campinas: SBCS, 1996. 5p. **CD-ROM**.
- KEMP, C.D. Methods of estimating the leaf area of grasses from linear measurements. **Annals of Botany**, v.24, n.96, p.491-499, 1960.
- LEONG, W. Canopy modification and this effects on the growth and yield of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. Ghent – Belgium, 1980, 283p. (Doutorado – Faculty of Agriculture Sciencies of Ghent, Belgium).
- LI-COR. **LI 3100 area meter instruction manual**. Lincoln: LI-COR, Inc. (ed.), 1996. 34p.
- PEDRO JÚNIOR, M.J.; RIBEIRO, I.J.; MARTINS, F.P. Determinação da área foliar em videira cultivar Niágara Rosada. **Bragantia**, v.45, n.1, p.199-204, 1986.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, R. **Evapotranspiração**. FEALQ/ESALQ/USP, Piracicaba, 1997, 70p.
- PEREIRA, A.R. Estimativa da área foliar em milharal. **Bragantia**, v.46, n.1, p.147-150, 1987.
- NASYROV, Y.S. Genetic control of photosynthesis and improving of crop productivity. **Annual Review of Plant Physiology**, v.29, p.215-237, 1978.