

# ANÁLISE COMPARATIVA DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR EM CAFEIROS

Edilson Romais Schmidt<sup>1</sup>, José Augusto Teixeira do Amaral<sup>2</sup>, Omar Schmidt<sup>3</sup>, Jeangelis Silva Santos<sup>4</sup>

(Recebido: 29 de janeiro de 2013; aceito: 28 de junho de 2013)

**RESUMO:** A mensuração da área foliar é requerida em vários estudos agrônômicos por ser um dos principais parâmetros para avaliar o crescimento das plantas. Objetivou-se, neste trabalho, selecionar as equações que melhor se ajustem à determinação da área foliar dos cultivares de café Red Catuai Vermelho e Catucaí, a partir das dimensões lineares (comprimento, largura máxima e comprimento x largura máxima) do limbo foliar, utilizando-se as equações obtidas neste trabalho e as citadas na literatura. Neste trabalho foram testados os modelos linear, circunscrito, potência e exponencial que são mais citados na literatura para estimativa de área foliar. Os resultados alcançados neste estudo permitem concluir que as equações obtidas pelo modelo de regressão linear simples e o potência são as que melhor expressam a estimativa da área foliar de cafés 'Catuai Vermelho' e 'Catucaí', nas condições experimentais testadas.

**Termos para indexação:** *Coffea arabica*, dimensão foliar, método não destrutivo.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MATHEMATICAL EQUATIONS TO ESTIMATE LEAF AREA IN COFFEE TREES

**ABSTRACT:** The measurement of the leaf area is required in many agronomic studies as one of the main parameters to evaluate plant growth. The aim of this work was to select the most appropriate mathematical equation to determine the leaf area of two coffee cultivars Red Catuai and Catucaí, from their linear leaf dimensions (length, maximum width and length x maximum width), using the equations obtained in this work and the equations cited in the literature. In this work were assessed the models linear, power, circumscribed and exponential that are the most cited in the literature. The results obtained in this study indicate that the simple linear regression and power models equations gives the best estimation of leaf area for the two coffee cultivars 'Red Catuai' and 'Catucaí', in the experimental conditions tested.

**Index terms:** *Coffea arabica*, leaf dimension, non-destructive method.

### 1 INTRODUÇÃO

O café é um dos produtos agrícolas mais importantes para mais de 50 países da América Latina, África e Ásia. O Brasil se destaca como maior produtor e exportador mundial de café, desde meados do século XIX, quando a atividade cafeeira passou a ter grande importância econômica e social para pequenos, médios e grandes produtores (MATIELLO et al., 2002). A cafeicultura e suas atividades geram divisas e empregos de forma significativa nos mais variados setores, fixando o homem no campo, promovendo melhor a interiorização e o desenvolvimento (FERRÃO et al., 2007).

O conhecimento da área foliar é fundamental, por ser um dos mais importantes parâmetros na avaliação do crescimento e desenvolvimento das

plantas. Em virtude de estar ligada ao incremento de matéria seca, permite avaliar parâmetros fisiológicos, tais como intensidade de transpiração, taxa assimilatória líquida, razão de área foliar, área foliar específica e índice de área foliar (AMARAL et al., 2009).

A medição da área foliar pode ser feita de forma direta destrutiva ou não, e de forma indireta, não destrutiva. Para determinar a área foliar diretamente, geralmente todas as folhas da planta são coletadas, caracterizando o método como destrutivo e de elevada mão de obra (TOEBE et al., 2012). A medição da área foliar de forma direta não destrutiva apesar de ser fácil, depende de equipamentos geralmente caros (ILKAE et al., 2011), enquanto que os métodos indiretos e não destrutivos permitem avaliações sucessivas em uma mesma planta e rapidez nas avaliações (TOEBE et al., 2012).

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro Universitário Norte do Espírito Santo - Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas - Rodovia BR 101 Norte - Km 60 Bairro Litorâneo - 29932-540 - São Mateus - ES - e.romais.s@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro de Ciências Agrárias - Departamento de Produção Vegetal - Cx. P. 16 29500-000 - Alegre - ES - jata53@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro Universitário Norte do Espírito Santo - Bolsista PNPd/CAPES Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical/UFES - São Mateus - ES - omar-schmidt@ig.com.br

<sup>4</sup>Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo/IDAF - 29500-000 - Alegre - ES - jeangelis@gmail.com

O desenvolvimento de modelos de regressão estatística a partir de medições lineares de folhas para prever a área foliar individual tem se mostrado muito útil no estudo do crescimento e desenvolvimento de plantas (ACHTEN et al., 2010). Assim, elimina-se a necessidade de medidores de área foliar ou a realização de demoradas reconstruções geométricas (AMARAL et al., 2009; BENINCASA, 2003).

Foram encontrados na literatura vários artigos referentes à estimativa da área foliar em *Coffea arabica* (ANTUNES et al., 2008; AWATRAMANI; GOPALAKRISHNA, 1965; BARROS et al., 1973; FLUMIGNAN; ADAMI; FARIA, 2008; REY; ALVAREZ, 1991; SILVA; LEITE; FERREIRA, 2008). Esses autores encontraram equações diferentes, trabalhando com diferentes cultivares. Não foram detectados na literatura trabalhos com determinação da área foliar com os cultivares Catuaí Vermelho e Catucaí.

A literatura cita trabalhos que demonstram que um mesmo modelo pode ser usado para várias cultivares de uma dada espécie como em *Zingiber officinale* Roscoe (KANDIANNAN et al., 2009) e *Helianthus annuus* L. (AQUINO et al., 2011). No entanto, Araújo, Santos e Prado (2005) detectaram que os padrões de resposta de estimativa de área foliar foram diferentes entre as duas cultivares de mangueira estudadas. Lopes e Pinto (2005), trabalhando com quatro clones de videira também detectaram diferenças nos padrões de resposta entre as cultivares. Sezer, Oner e Mut (2009) trabalhando com cultivares de milho, alertam que um modelo de estimativa de área foliar encontrado para certa cultivar não deve ser extrapolado para cultivares ainda não investigadas.

Objetivou-se, neste trabalho, selecionar as equações que melhor se ajustem à determinação da área foliar das cultivares de cafeeiro Catuaí Vermelho e Catucaí a partir das dimensões lineares do comprimento, da largura máxima e do produto entre esses, usando métodos obtidos neste trabalho e métodos citados na literatura.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido com a espécie *Coffea arabica* L., utilizando-se as cultivares Catuaí vermelho e Catucaí, cujas folhas foram coletadas em 2009, em área produtiva, na fazenda Boa Vista, de propriedade do Sr. Valter Coelho, no município capixaba de Ibitirama (Latitude 20°32'5.78"S, Longitude 41°37'51.98"O e altitude aproximada de 870 m), em plantas com 15 anos de idade,

plantadas num espaçamento de 2,0 x 1,0 m, em um solo do tipo cambissolo háplico. Plantas das duas cultivares foram identificadas e as folhas colhidas, acondicionadas em sacos plásticos, e rapidamente transferidas para o laboratório de Ecologia Florestal do Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável (NEDTEC) do CCA-UFES.

Nas amostragens foram colhidas 100 folhas, em 20 plantas de cada cultivar, conforme sugerido por Benincasa (2003). Em cada planta amostrada foram coletadas folhas em todos os estádios de desenvolvimento, nos quatro pontos cardeais, que não apresentassem danos ou ataque de doenças ou pragas.

Para todas as folhas coletadas de cada cultivar foi computada a área foliar observada (AFO, em cm<sup>2</sup>), determinada por intermédio de um medidor eletrônico de área foliar da marca LI-COR, modelo LI-3100. Para tanto, o medidor foi calibrado utilizando um quadrado de papel de área conhecida (100 cm<sup>2</sup>), o qual foi comparado com o valor fornecido pelo aparelho. Após a determinação da AFO, foram feitas as medições das folhas relativas às maiores larguras (L, em cm), na posição mediana do limbo, perpendicularmente às linhas dos maiores comprimentos, bem como os comprimentos (C, em cm) sobre a nervura principal, considerando o ponto de inserção do limbo no pecíolo até o ápice (AMARAL et al., 2009). Para tanto, utilizou-se um paquímetro digital da marca Digimess. Com os dados de C e de L, determinou-se também o produto entre C e L (C.L, em cm<sup>2</sup>).

Posteriormente, entre as 100 folhas de cada cultivar, foram selecionadas, aleatoriamente, dois grupos, um com 80 folhas e outro com 20 folhas, que foram utilizadas, respectivamente, para obtenção de equações e para validação. Em ambos os grupos, para C, L e C.L do limbo foliar e da AFO, foram calculadas medidas de tendência central, variabilidade, bem como foi verificada a normalidade, por meio do teste de Shapiro-Wilk (CAMPOS, 1983; ZAR, 2010).

Para modelar a AFO (variável dependente =  $Y_i$ ) em função do C, da L ou do C.L como variáveis independentes ( $x_i$ ), utilizou-se os modelos: (linear  $(Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i)$ ) (potência  $(Y_i = \beta_0 x_i^{\beta_1} + e_i)$ ) e exponencial  $(Y_i = \beta_0 \beta_1^{x_i} + e_i)$ .

Para modelar AFO em função de C.L

utilizou-se também o modelo circunscrito ( $Y_i = \beta_1 x_i + e_i$ ). Os parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  foram estimados pelo método dos mínimos quadrados tendo sido feita previamente a linearização das funções potência e exponencial.

Além das equações obtidas neste trabalho foram usadas mais seis equações que utilizaram o produto C.L, quais sejam: equação pelo modelo circunscrito, segundo Awatramani e Gopalakrishna (1965), Barros et al. (1973) e Silva, Leite e Ferreira (2008); equação pelo modelo linear, segundo Flumignan, Adami e Faria (2008) e Rey e Alvarez (1991); equação pelo modelo potência, segundo Antunes et al. (2008). Desta forma, foram avaliadas dezesseis equações para cada cultivar trabalhada.

A partir das 80 folhas usadas para obtenção das dez equações de cada cultivar, e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), determinou-se também o erro absoluto médio (EAM), a raiz do quadrado médio do erro (RQME) e o índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981), para todas as dezesseis equações por meio, respectivamente, das expressões:

$$\text{EAM} = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{Y}_i - Y_i|}{n},$$

$$\text{RQME} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n}} \quad e,$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{Y}_i - \bar{Y}| + |Y_i - \bar{Y}|)^2} \right]$$

em que:  $\hat{Y}_i$  são os valores estimados de área foliar;  $Y_i$  são os valores observados de área foliar;  $\bar{Y}$  é a média dos valores observados; n é o número de folhas.

A validação dos modelos de estimativa de área foliar foi realizada com base nos valores estimados pelo modelo ( $\hat{Y}_i$ ) e os valores

observados ( $Y_i$ ) em 20 folhas de cada cultivar. Em cada modelo, inicialmente, foi ajustada uma regressão linear simples ( $\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 Y_i$ ) da área foliar estimada pelo modelo (variável dependente) em função da área foliar observada (variável independente). Foram testadas as hipóteses  $H_0 : \beta_0 = 0$  versus  $H_a : \beta_0 \neq 0$  e  $H_0 : \beta_1 = 1$  versus  $H_a : \beta_1 \neq 1$ , por meio do teste t de Student a 5% de probabilidade de erro. Determinou-se também o EAM, a RQME, o índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981) e a representação gráfica do erro médio da área estimada em relação à área observada ( $\bar{E}$ ) como sugerido por Kandiannan et al. (2009), sendo  $\bar{E}$  dado por:

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)}{n}$$

Os critérios utilizados para a seleção das equações que melhor estimam a área foliar em função de C, L ou C.L foram: coeficiente linear ( $\beta_0$ ) não diferente de zero, coeficiente angular ( $\beta_1$ ) não diferente de um, EAM, RQME e  $\bar{E}$  mais próximos de zero, e índice d Willmott (WILLMOTT, 1981) mais próximo de um. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo Microsoft Office Excel (LEVINE et al., 2012) e do software Genes (CRUZ, 2006).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As folhas coletadas apresentaram considerável variabilidade computadas para comprimento (C), máxima largura (L) e comprimento vezes a máxima largura (C.L) e para área foliar observada (AFO), sendo esta variabilidade maior para as folhas usadas na obtenção das equações (amostra de 80 folhas) em relação às folhas usadas para validação dos modelos (amostra de 20 folhas) (Tabela 1). Elevados valores de amplitude são importantes para trabalhos que procuram representar a área foliar por modelos matemáticos por intermédio da análise de regressão. Levine et al. (2012) esclarecem que ao se usarem modelos de regressão para estimativas, os valores da variável independente, que se quer estimar, não devem extrapolar os valores utilizados na construção da equação de regressão.

**TABELA 1** - Mínimo, máximo, média e valor-p do teste de normalidade de Shapiro-Wilk do comprimento (C, em cm<sup>2</sup>), maior largura (L, em cm<sup>2</sup>) e produto comprimento vezes a maior largura (C.L, em cm<sup>2</sup>) do limbo foliar e da área foliar observada (AFO, em cm<sup>2</sup>), de amostras de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) Catuaí Vermelho e Catucaí

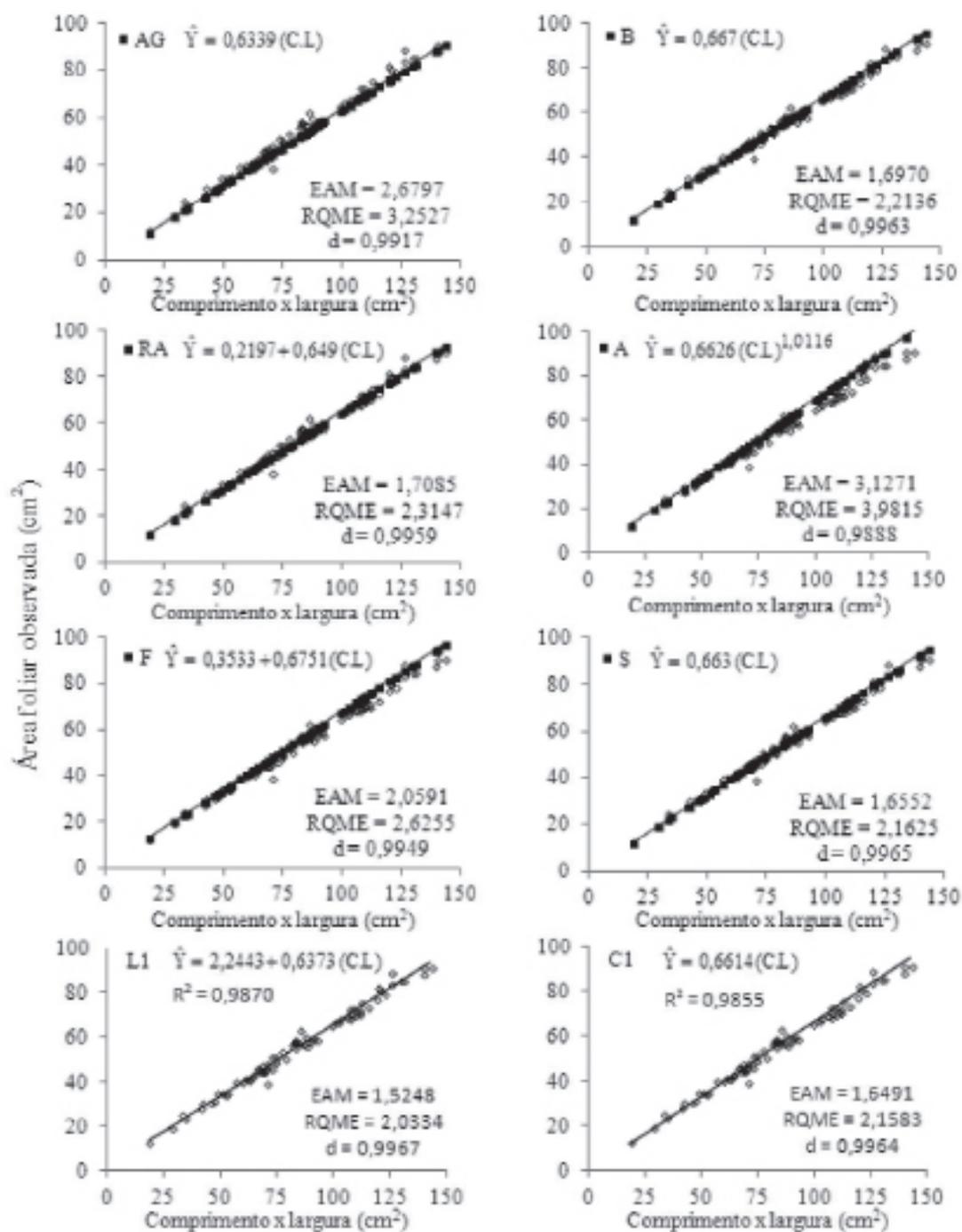
Cultivar	Variável	Mínimo	Máximo	Média	valor p
Amostra de 80 folhas para obtenção das equações de estimativa					
Catuaí Vermelho	C	7,00	18,60	14,02	0,3456
Catuaí Vermelho	L	2,60	7,90	5,81	0,1704
Catuaí Vermelho	C.L	18,20	143,42	83,86	0,5763
Catuaí Vermelho	AFO	12,81	91,12	55,69	0,5386
Catucaí	C	9,00	15,80	12,47	0,1512
Catucaí	L	3,40	7,20	5,17	0,3572
Catucaí	C.L	31,50	110,16	65,75	0,1088
Catucaí	AFO	19,96	70,96	43,00	0,1384
Amostra de 20 folhas para validação dos modelos					
Catuaí Vermelho	C	10,00	18,30	13,82	0,3881
Catuaí Vermelho	L	3,50	7,70	6,04	0,4036
Catuaí Vermelho	C.L	38,50	139,08	85,81	0,5940
Catuaí Vermelho	AFO	26,24	86,61	56,07	0,5865
Catucaí	C	9,50	15,50	12,81	0,3429
Catucaí	L	3,80	6,40	5,19	0,7545
Catucaí	C.L	39,52	99,20	67,63	0,5644
Catucaí	AFO	24,90	65,91	43,86	0,6677

Observa-se, ainda, na Tabela 1 que, em relação a C, L, C.L e AFO das folhas coletadas para obtenção das equações e da validação, em todos os casos, os dados ajustaram-se à distribuição normal, de acordo com os valores-p ( $p > 0,05$ ) do teste de Shapiro-Wilk.

As dez equações obtidas neste trabalho, a partir das 80 folhas amostrais, juntamente com as seis equações previamente estabelecidas, são representadas graficamente para ‘Catuaí Vermelho’ (Figura 1) e ‘Catucaí’ (Figura 2). Verifica-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variou de 0,9093 para dados de L, no modelo exponencial até 0,9892 para dados de C.L, no modelo potência para ‘Catucaí Vermelho’. Para ‘Catucaí’, essa amplitude foi de 0,8468 para dados de C, no modelo linear até 0,9679 para dados de C.L, no modelo potência. Para ambas cultivares, as equações obtidas com os modelos lineares e circunscrito a partir de C.L também apresentaram elevados valores de  $R^2$ , além de apresentarem erro absoluto médio (EAM) e raiz do quadrado médio

do erro (RQME) mais próximos de zero, e índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981) mais próximo de um, que são indicativos de melhor ajuste. Dentre as equações pré-existent, as que melhor se ajustaram com EAM e RQME mais próximos de zero, e índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981) mais próximo de um foram as do modelo linear, segundo Rey e Alvarez (1991) e modelo circunscrito, segundo Silva, Leite e Ferreira (2008), usando C.L como variável independente.

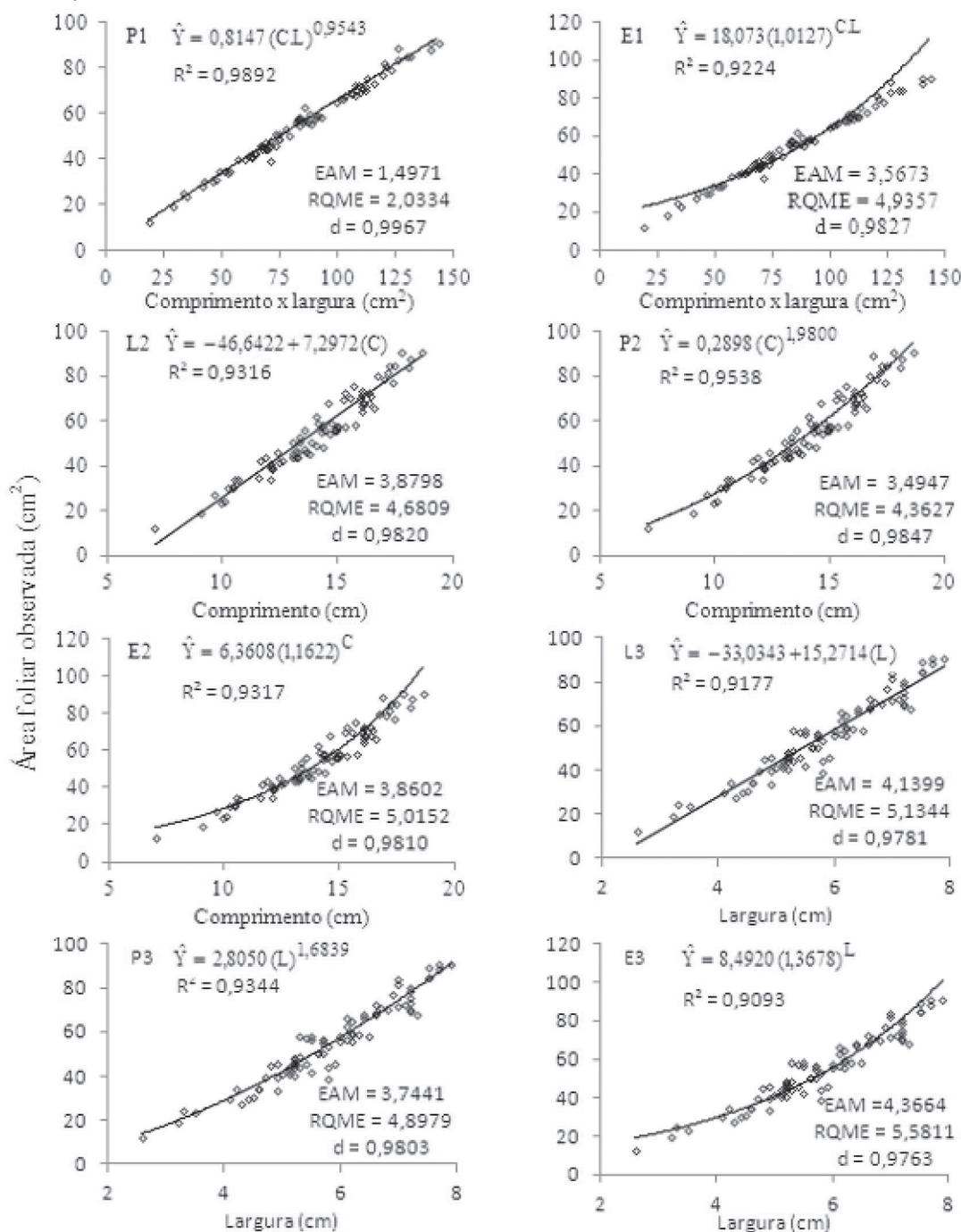
Assim, de forma geral, as equações que apresentaram os melhores ajustes foram obtidas com uso de C.L como variável independente, concordando com os trabalhos envolvendo determinação de área foliar em *Coffea arabica* (ANTUNES et al., 2008; AWATRAMANI; GOPALAKRISHA, 1965; BARROS et al., 1973; FLUMIGNAN; ADAMI; FARIA, 2008; REY; ALVAREZ, 1991; SILVA; LEITE; FERREIRA, 2008). Resultados semelhantes foram obtidos para outras culturas como gengibre (KANDIANNAN et al., 2009) e mangueira (LIMA et al., 2012).



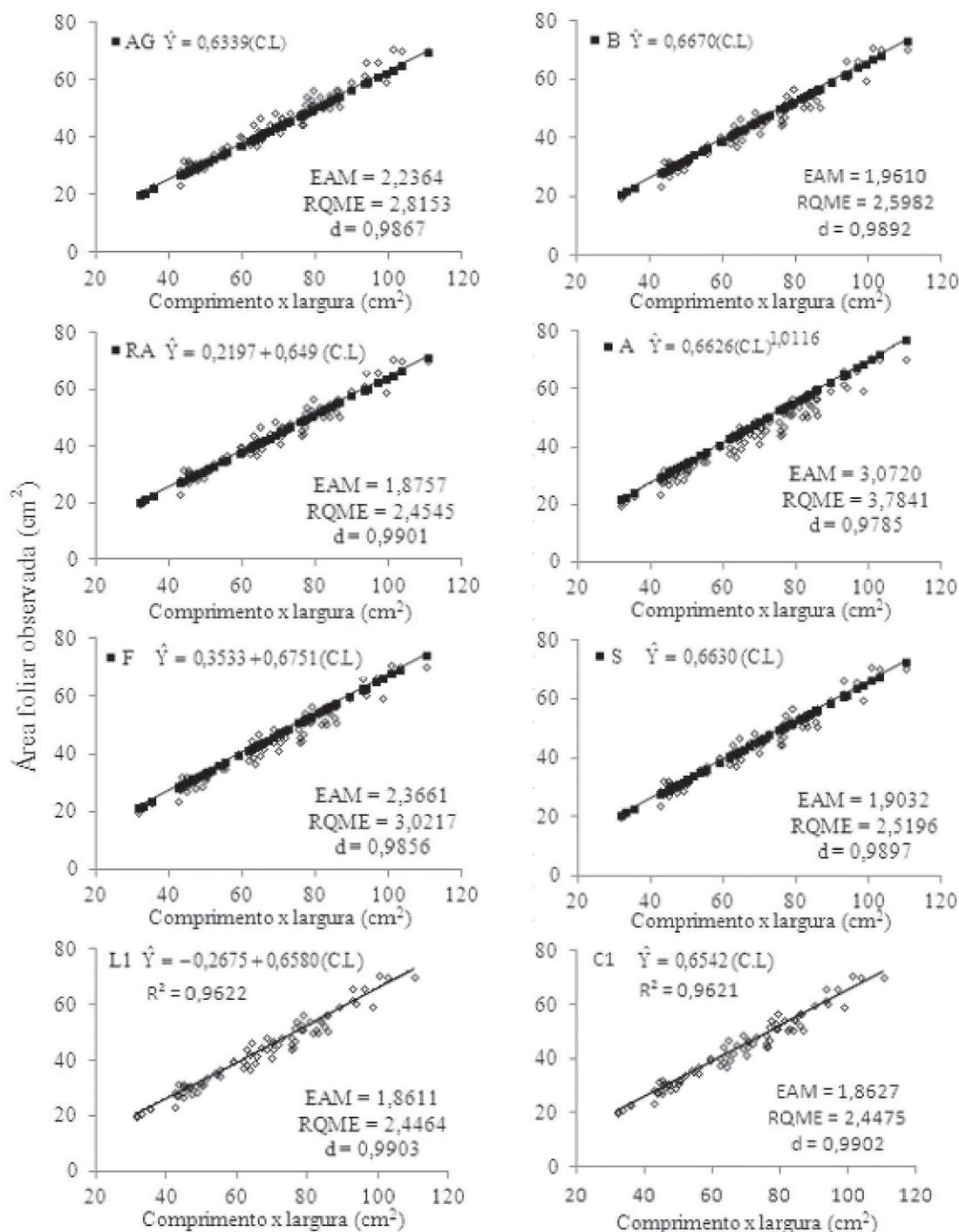
**FIGURA 1** - Estimativa da área foliar ( $\hat{Y}$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981) calculados com base nas áreas foliares observadas em função de medidas alométricas de 80 folhas de cafeeiro 'Catuaí Vermelho' (AG = AWATRAMANI; GOPALAKRISHA, 1965; B = BARROS et al., 1973; RA = REY; ALVAREZ, 1991; A = ANTUNES et al., 2008; F = FLUMIGNAN; ADAMI; FARIA, 2008; S = SILVA; LEITE; FERREIRA, 2008; L1, L2 e L3 = lineares propostos; P1, P2 e P3 = potências propostos; C1 = circunscrito proposto; E1, E2 e E3 = exponenciais propostos. Os índices 1, 2 e 3 indicam comprimento x largura, comprimento, largura, respectivamente).

Continua ...

Continuação ...



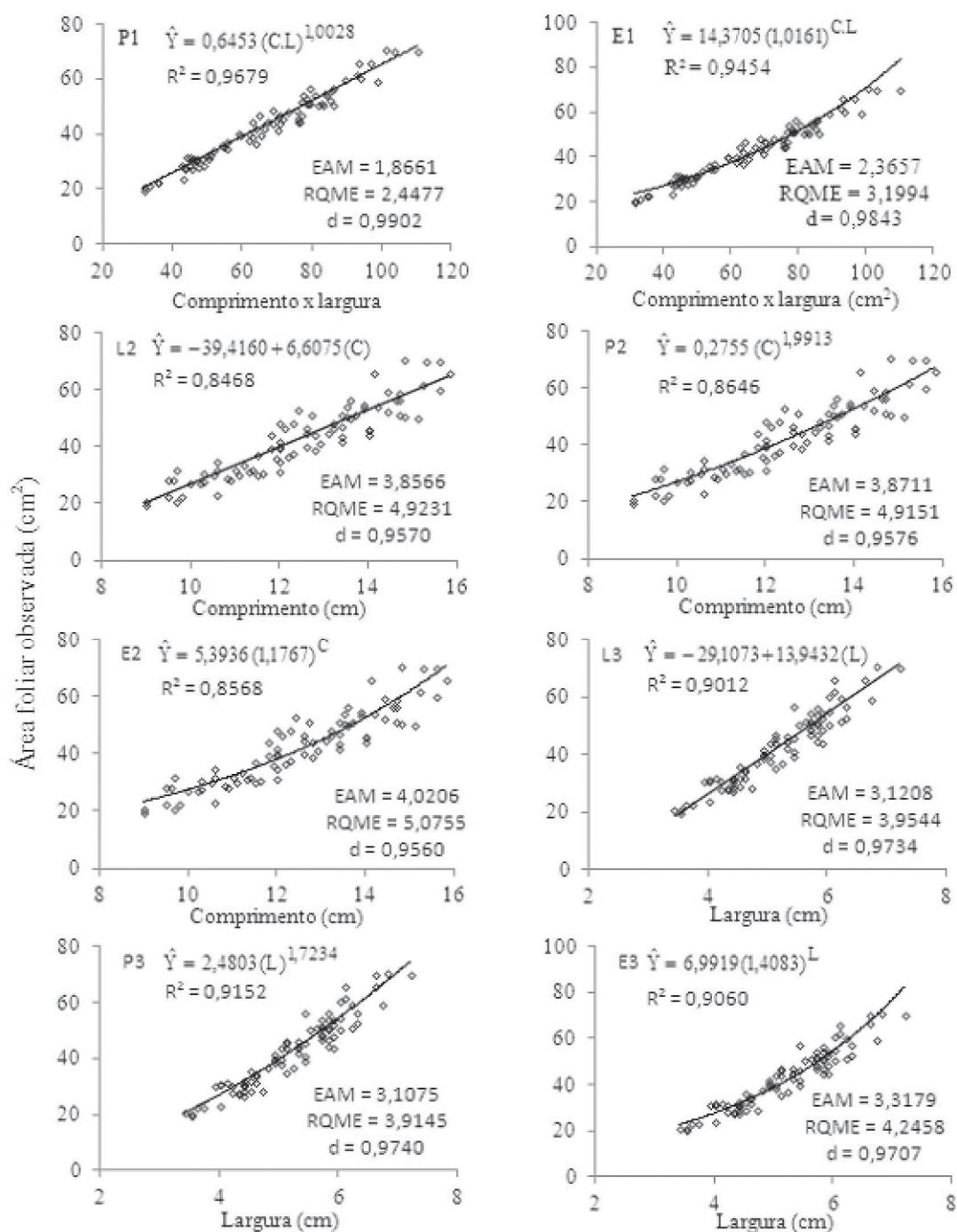
**FIGURA 1** - Estimativa da área foliar ( $\hat{Y}$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981) calculados com base nas áreas foliares observadas em função de medidas alométricas de 80 folhas de cafeeiro 'Catuaí Vermelho' (AG = AWATRAMANI; GOPALAKRISHA, 1965; B = BARROS et al., 1973; RA = REY; ALVAREZ, 1991; A = ANTUNES et al., 2008; F = FLUMIGNAN; ADAMI; FARIA, 2008; S = SILVA; LEITE; FERREIRA, 2008; L1, L2 e L3 = lineares propostos; P1, P2 e P3 = potências propostos; C1 = circunscrito proposto; E1, E2 e E3 = exponenciais propostos. Os índices 1, 2 e 3 indicam comprimento x largura, comprimento, largura, respectivamente).



**FIGURA 2** - Estimativa da área foliar ( $\hat{Y}$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981) calculados com base nas áreas foliares observadas em função de medidas alométricas de 80 folhas de caféiro 'Catucaí' (AG = AWATRAMANI; GOPALAKRISHA, 1965; B = BARROS et al., 1973; RA = REY; ALVAREZ, 1991; A = ANTUNES et al., 2008; F = FLUMIGNAN; ADAMI; FARIA, 2008; S = SILVA; LEITE; FERREIRA, 2008; L1, L2 e L3 = lineares propostos; P1, P2 e P3 = potências propostos; C1 = circunscrito proposto; E1, E2 e E3 = exponenciais propostos. Os índices 1, 2 e 3 indicam comprimento x largura, comprimento, largura, respectivamente).

Continua ...

Continuação ...



**FIGURA 2** - Estimativa da área foliar ( $\hat{Y}$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981) calculados com base nas áreas foliares observadas em função de medidas alométricas de 80 folhas de cafeeiro 'Catucaí' (AG = AWATRAMANI; GOPALAKRISHNA, 1965; B = BARROS et al., 1973; RA = REY; ALVAREZ, 1991; A = ANTUNES et al., 2008; F = FLUMIGNAN; ADAMI; FARIA, 2008; S = SILVA; LEITE; FERREIRA, 2008; L1, L2 e L3 = lineares propostos; P1, P2 e P3 = potências propostos; C1 = circunscrito proposto; E1, E2 e E3 = exponenciais propostos. Os índices 1, 2 e 3 indicam comprimento x largura, comprimento, largura, respectivamente).

Ao se fazer a validação a partir da amostra de 20 folhas de 'Catuaí Vermelho' e 20 de 'Catucaí' verifica-se que os melhores ajustes também foram para as equações obtidas pelo modelo linear, circunscrito e potência, além da equação linear obtida por Rey e Alvarez (1991) e a de modelo circunscrito, segundo Silva, Leite e Ferreira (2008), usando C.L como variável independente (Tabela 2).

No entanto, ao se avaliar o coeficiente angular obtido na relação entre área foliar observada e predita a partir da equação circunscrita obtida e da equação circunscrita, sugerida por Silva, Leite e Ferreira (2008), esse coeficiente foi estatisticamente diferente de um, indicando que essas equações do modelo circunscrito não são apropriadas para ajuste da área foliar de 'Catuaí Vermelho'.

Na literatura, encontrou-se apenas o artigo de Antunes et al. (2008) envolvendo comparação de equações para determinação de área foliar de cafeeiro, por método não destrutivo, a partir do uso conjunto de folhas de oito cultivares. Em seu trabalho, Antunes et al. (2008) concluíram que o melhor ajuste é pelo método potência, a partir de medidas de C.L como variável independente. No presente trabalho, a equação segundo Antunes et al. (2008) não se mostrou apropriada para estimativa de área foliar de 'Catuaí Vermelho' e 'Catucaí', levando à superestimativa da área foliar (Figuras 1, 2 e 3).

Destaca-se que este comportamento também se repetiu para a equação linear segundo Flumignan, Adami e Faria (2008). Por outro lado, a aplicação da equação segundo Awatramani e Gopalakrishna (1965) leva à subestimativa da área foliar (Figuras 1, 2 e 3). Esses resultados indicam que, para cada cultivar existe uma equação de estimativa mais apropriada, como também verificado para cultivares de mangueira por Araújo, Santos e Prado (2005) e para cultivares de videira estudados por Lopes e Pinto (2005).

Deve-se salientar ainda que, o artigo de Antunes et al. (2008), diferentemente do que foi alcançado neste trabalho, não elegeu a equação linear proposta por de Rey e Alvarez (1991) como adequada para ajuste da área foliar. No entanto, deve-se destacar que o ajuste da equação potência segundo Antunes et al. (2008) fora feito com o uso concomitante de folhas de quatro cultivares de *Coffea arabica*, duas cultivares de *Coffea canephora* e dois híbridos entre essas espécies e que, dentre estas oito cultivares não estavam Catuaí Vermelho e o'Catucaí.

Ao se analisar o erro médio na Figura 3, a equação do modelo circunscrito de Silva, Leite e Ferreira (2008) também não seria indicada para uso em 'Catucaí', visto que, em média, superestima em 0,98 cm<sup>2</sup> a área de cada folha.

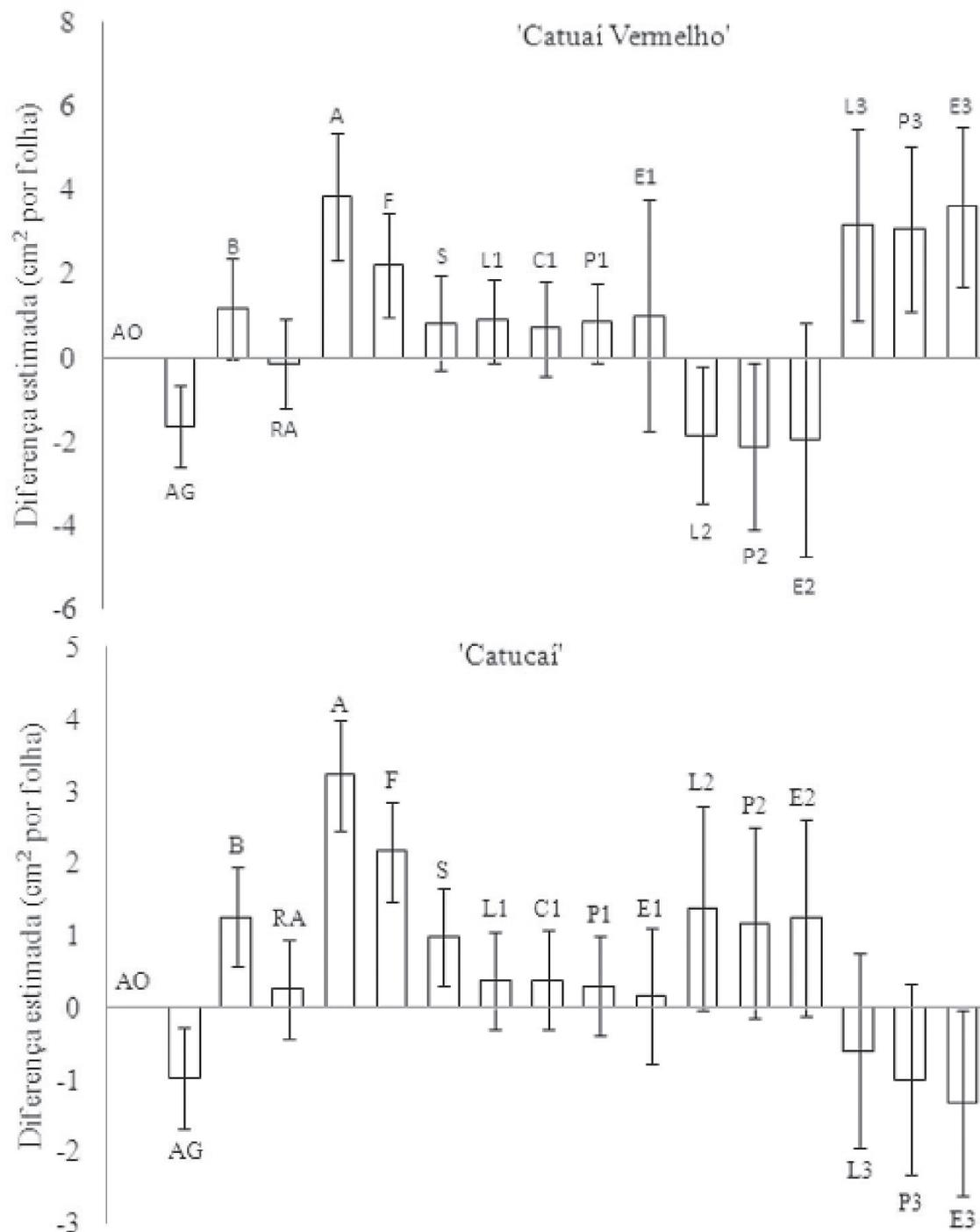
**TABELA 2** - Coeficientes linear ( $\hat{\beta}_0$ ), angular ( $\hat{\beta}_1$ ) obtidos na regressão ajustada entre a área foliar estimada (variável dependente) e a observada (variável independente), erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981) calculados com base nas áreas foliares estimadas e observadas, de 20 folhas dos cafeeiros 'Catuaí Vermelho' e 'Catuaí'

Autoria <sup>(1)</sup>	$\hat{\beta}_0$ <sup>(2)</sup>	$\hat{\beta}_1$ <sup>(3)</sup>	EAM	RQME	d
'Catuaí Vermelho'					
AG	-2,8362 <sup>ns</sup>	1,0208 <sup>ns</sup>	2,3841	2,7447	0,9942
B	-2,9843 <sup>ns</sup>	1,0741 <sup>*</sup>	2,0622	2,8636	0,9940
RA	-2,6841 <sup>ns</sup>	1,0451 <sup>ns</sup>	1,8691	2,3443	0,9958
A	-3,8028 <sup>ns</sup>	1,1364 <sup>**</sup>	3,9509	5,1417	0,9819
F	-2,6673 <sup>ns</sup>	1,0872 <sup>**</sup>	2,6056	5,5412	0,9909
S	-2,9664 <sup>ns</sup>	1,0677 <sup>*</sup>	1,9554	2,6770	0,9947
L1	-0,6071 <sup>ns</sup>	1,0263 <sup>ns</sup>	1,8674	2,3721	0,9957
C1	-2,9593 <sup>ns</sup>	1,0651 <sup>*</sup>	1,9240	2,6127	0,9949
P1	-0,4146 <sup>ns</sup>	1,0222 <sup>ns</sup>	1,8209	2,2954	0,9959
E1	-8,7897 <sup>ns</sup>	1,1748 <sup>*</sup>	4,4467	6,4257	0,9729
L2	2,0418 <sup>ns</sup>	0,9304 <sup>ns</sup>	3,2471	4,1341	0,9856
P2	-1,2034 <sup>ns</sup>	0,9836 <sup>ns</sup>	4,0155	4,9841	0,9804
E2	-5,9986 <sup>ns</sup>	1,0721 <sup>ns</sup>	5,5842	6,6910	0,9680
L3	7,1477 <sup>ns</sup>	0,9285 <sup>ns</sup>	5,0357	6,1032	0,9694
P3	5,5393 <sup>ns</sup>	0,9561 <sup>ns</sup>	4,3752	5,4462	0,9761
E3	0,5880 <sup>ns</sup>	1,0538 <sup>ns</sup>	4,7356	5,6839	0,9763
'Catuaí'					
AG	1,3998 <sup>ns</sup>	0,9456 <sup>ns</sup>	1,4667	1,9041	0,9968
B	1,4729 <sup>ns</sup>	0,9949 <sup>ns</sup>	1,7211	2,0130	0,9962
RA	1,6529 <sup>ns</sup>	0,9681 <sup>ns</sup>	1,4131	1,5986	0,9977
A	1,0378 <sup>ns</sup>	1,0497 <sup>ns</sup>	3,2174	3,6671	0,9866
F	1,8441 <sup>ns</sup>	1,0070 <sup>ns</sup>	2,3028	2,6700	0,9930
S	1,4641 <sup>ns</sup>	0,9890 <sup>ns</sup>	1,5925	1,8526	0,9968
L1	1,1855 <sup>ns</sup>	0,9815 <sup>ns</sup>	1,4153	1,6139	0,9976
C1	1,4446 <sup>ns</sup>	0,9758 <sup>ns</sup>	1,4301	1,6180	0,9976
P1	1,3289 <sup>ns</sup>	0,9767 <sup>ns</sup>	1,4039	1,6001	0,9977
E1	-1,4994 <sup>ns</sup>	1,0380 <sup>ns</sup>	1,7732	2,1465	0,9959
L2	3,4761 <sup>ns</sup>	0,9519 <sup>ns</sup>	2,6769	3,4306	0,9887
P2	2,0308 <sup>ns</sup>	0,9805 <sup>ns</sup>	2,5377	3,1929	0,9904
E2	0,3013 <sup>ns</sup>	1,0216 <sup>ns</sup>	2,6941	3,2829	0,9900
L3	7,3335 <sup>**</sup>	0,8191 <sup>**</sup>	2,5730	3,0893	0,9910
P3	6,7881 <sup>**</sup>	0,8224 <sup>**</sup>	2,5923	3,1048	0,9910
E3	5,7082 <sup>**</sup>	0,8398 <sup>**</sup>	2,6467	3,1579	0,9910

<sup>(1)</sup> equações (AG = AWATRAMANI; GOPALAKRISHA, 1965; B = BARROS et al., 1973; RA = REY; ALVAREZ, 1991; A = ANTUNES et al., 2008; F = FLUMIGNAN; ADAMI; FARIA, 2008; S = SILVA; LEITE; FERREIRA, 2008; L1, L2 e L3 = lineares propostos; P1, P2 e P3 = potências propostos; C1 = circunscrito proposto; E1, E2 e E3 = exponenciais propostos. Os índices 1, 2 e 3 indicam comprimento x largura, comprimento, largura, respectivamente).

<sup>(2)</sup> <sup>ns</sup> Coeficiente linear não difere de zero, pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade de erro. <sup>\*\*</sup> Coeficiente angular difere de zero, pelo teste t, em nível de 1% de probabilidade de erro.

<sup>(3)</sup> <sup>ns</sup> Coeficiente angular não difere de um, pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade de erro. <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> Coeficiente angular difere de um, pelo teste t, em nível de 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente.



**FIGURA 3** - Erro médio da área estimada em relação à área observada na validação em folhas individuais de café 'Catuai Vermelho' e 'Catucaí'. Área foliar foi estimada com amostra de 20 folhas (AG = AWATRAMANI; GOPALAKRISHA, 1965; B = BARROS et al., 1973; RA = REY; ALVAREZ, 1991; A = ANTUNES et al., 2008; F = FLUMIGNAN; ADAMI; FARIA, 2008; S = SILVA; LEITE; FERREIRA, 2008; L1, L2 e L3 = lineares propostos; P1, P2 e P3 = potências propostos; C1 = circunscrito proposto; E1, E2 e E3 = exponenciais propostos. Os índices 1, 2 e 3 indicam comprimento x largura, comprimento, largura, respectivamente, sendo AO = área observada). Barras verticais indicam médias e linhas verticais indicam intervalo de confiança de 95%.

#### 4 CONCLUSÕES

1. A determinação da área foliar de plantas adultas dos cafeeiros 'Catuaí Vermelho' e 'Catucaí' é melhor representada com uso do produto comprimento pela máxima largura das folhas como variável independente;

2. Os critérios de validação erro médio, erro absoluto médio, raiz do quadrado médio do erro e índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981) são complementares na seleção das melhores equações de ajuste e devem ser usados conjuntamente;

3. Para ambas cultivares Catuaí Vermelho e Catucaí, as equações de melhor ajuste são as que usam o modelo linear e o potência, apesar das equações serem diferentes para cada cultivar;

4. As equações que melhor se ajustam para 'Catuaí Vermelho' são  $Y = 2,2443 + 0,6373 (C.L)$  e  $Y = 0,8147 (C.L)^{0,9543}$ , e para 'Catucaí' são  $Y = -0,2675 + 0,6580 (C.L)$  e  $Y = 0,6453 (C.L)^{1,0028}$ .

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à CAPES, pelo auxílio financeiro por meio de bolsas.

#### 6 REFERÊNCIAS

- ACHTEN, W. M. J. et al. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 34, n. 5, p. 667-676, 2010.
- AMARAL, J. A. T. do et al. Métodos de análise quantitativa do crescimento de plantas. In: FERREIRA, A. et al. (Ed.). **Tópicos especiais em produção vegetal I**. Alegre: CCA-UFES, 2009. p. 259-276.
- ANTUNES, W. C. et al. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 153, p. 33-40, 2008.
- AQUINO, L. de A. et al. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 832-836, 2011.
- ARAÚJO, E. C. E.; SANTOS, E. P. dos; PRADO, C. H. B. de 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, n. 2, p. 308-309, 2005.
- AWATRAMANI, N. A.; GOPALAKRISHNA, H. K. Measurement of leaf area in coffee: I., *Coffea arabica*. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 29, n. 1, p. 25-30, 1965.
- BARROS, R. S. et al. Determinação da área de folhas de café (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon Amarelo). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, 1973.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- CAMPOS, H. de. **Estatística experimental não paramétrica**. 4. ed. Piracicaba: ESALQ, 1983. 349 p.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: estatística experimental e matrizes**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 285 p.
- FERRÃO, R. G. et al. **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. 702 p.
- FLUMIGNAN, D. L.; ADAMI, M.; FARIA, R. T. Área foliar de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro determinada por dimensões foliares e imagem digital. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 1-6, jan./jun. 2008.
- ILKAEI, M. N. et al. Prediction model of leaf area in soybean (*Glycine max* L.). **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, Saint Paul, v. 6, n. 1, p. 110-113, 2011.
- KANDIANNAN, K. et al. Modeling individual leaf area of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) using leaf length and width. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 120, p. 532-537, 2009.
- LEVINE, D. M. et al. **Estatística: teoria e aplicações usando Microsoft Excel em português**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 832 p.
- LIMA, R. T. et al. Modelos para estimativa da área foliar da mangueira utilizando medidas lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 974-980, 2012.
- LOPES, C.; PINTO, P. A. Easy and accurate estimation of grapevine leaf area with simple mathematical models. **Vitis: Journal of Grapevine Research**, Siebeldingen, v. 44, n. 2, p. 55-61, 2005.
- MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, da Pesca e do Abastecimento, 2002. 387 p.

- REY, R.; ALVAREZ, P. Evaluación de diferentes ecuaciones de regresión en la estimación del área foliar del café en vivero a partir de sus medidas lineales. **Agrotecnia de Cuba**, Habana, v. 23, p. 69-74, 1991.
- SEZER, I.; ONER, F.; MUT, Z. Non-destructive leaf area measurement in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Environmental Biology**, Lucknow, v. 30, n. 5, p. 785-790, 2009.
- SILVA, A. R.; LEITE, M. T.; FERREIRA, M. C. Estimativa da área foliar e capacidade de retenção de calda fitossanitária em cafeeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 66-73, 2008.
- TOEBE, M. et al. Área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de dimensões foliares. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2491-2500, 2012. Suplemento.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Norwich, v. 2, p. 184-194, 1981.
- ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 5<sup>th</sup> ed. Upper Saddle River: Pearson, 2010. 944 p.