



CALIBRAÇÃO DE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA DETERMINAÇÃO DA ÁREA FOLIAR DO PEQUIZEIRO

Raiane Ferreira de Miranda^{1*}, Derbali Casaroli¹, José Alves Júnior¹, Adão Wagner Pêgo Evangelista¹

RESUMO: Objetivou-se com este estudo recomendar um método não destrutivo para a determinação da área foliar do pequi, haja vista a escassez de estudos agronômicos a despeito desta frutífera. A área foliar foi estimada pelos métodos de intensidade luminosa (AF_{LUX}), comprimento de nervura (AF_N) e integrador de área foliar (AF_P) adotado como padrão. A comparação dos resultados foi realizada com base no erro relativo (ER%), raiz do quadrado médio do erro (RMSE), erro absoluto médio (MAE) e o índice de concordância “d” de Willmott. Observou-se uma superestimativa da área foliar em relação ao método padrão ($AF_P=26.265,16 \text{ cm}^2$) pelo método AF_{LUX} ($119.882,50 \text{ cm}^2$) e uma subestimativa pelo método AF_N ($4.947,86\text{m}^2$), que apresentaram índices “d” iguais a 0,27 e 0,54, respectivamente. Em relação ao método padrão os métodos indiretos avaliados neste estudo não foram eficientes para a estimativa da área foliar do pequi.

Palavras-chave: *Caryocar brasiliense* C., interceptação luminosa, lux, índice de área foliar.

CALIBRATION OF NON-DESTRUCTIVE METHODS TO DETERMINING LEAF AREA OF THE PEQUIZEIRO

ABSTRACT: The aim of this study was to recommend a non-destructive method for determining leaf area of the pequi, given the shortage of agronomic studies despite this fruitful. The leaf area was estimated by the methods of light intensity (AF_{LUX}), rib length (AF_N) and leaf area integrator (AF_P) adopted as the standard. The comparison of the results was based on the relative error (ER%), the root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and the concordance index "d" Willmott. There was an overestimation of leaf area compared to standard method ($AFP = 26,265.16 \text{ cm}^2$) by AF_{LUX} method ($119,882.50 \text{ cm}^2$) and an underestimation by the AF_N method ($4,947.86\text{m}^2$), which showed indices "d" equal to 0.27 and 0.54, respectively. Compared to standard method indirect methods evaluated in this study were not efficient to estimate the leaf area of the pequi.

Keywords: *Caryocar brasiliense* C., light interception, lux, leaf area index.

¹ Universidade Federal de Goiás - UFG. *E-mail: araianemiranda@gmail.com. Autor para correspondência.

Recebido em: 26/05/2016. Aprovado em: 06/09/2017.

INTRODUÇÃO

Há décadas o pequi (*Caryocar brasiliense* C.) é explorado de forma extrativista devido seu valor medicinal,

alimentício e oleaginoso (Almeida et al., 1998). Contudo, ainda não existem plantios comerciais produtivos da cultura, sendo a incorporação desta frutífera nos sistemas produtivos regionais uma alternativa

promissora para a utilização racional dos recursos naturais do Cerrado no centro-oeste brasileiro, para fins de desenvolvimento sustentável e melhoria da qualidade de vida da população local.

O interesse por esta frutífera se deve a utilidade de sua madeira, do óleo dos frutos e das sementes, da casca e da polpa, usadas como material tintorial, das flores e sementes usadas na farmacopéia popular, e dos frutos que são amplamente utilizados na culinária regional, contribuindo para o suprimento de parte das exigências nutricionais da população. A escassez de informações que possam auxiliar na domesticação desta espécie e consequente incorporação da frutífera em sistemas produtivos é uma limitação que precisa ser sanada. Para tanto, é necessário estudos científicos agrônômicos que avaliem a espécie quanto a diversos aspectos ecofisiológicos. A análise da área foliar é uma ferramenta importante para determinação da transpiração, da radiação interceptada e transmitida, fotossíntese e, conseqüentemente, a produtividade de qualquer cultura. As plantas retardam o estresse hídrico, limitando a transpiração, a partir do fechamento estomático ou pela redução da área foliar (Farias et al., 2008).

A determinação da área foliar torna-se relevante em estudos que envolvam a análise de crescimento das plantas, podendo-se inferir respostas fotossintéticas, de propagação vegetativa, nutrição, competição por luz, água e nutrientes, relações solo-água-planta, respostas à pragas e doenças (Gomide et al., 1977). Alves Júnior et al. (2013 e 2015) avaliando o crescimento de plantas de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) em função da dificuldade de estimativa da área foliar da espécie, avaliaram apenas a altura e diâmetro do caule como medidas para monitoramento do desenvolvimento das plantas.

Existem métodos diretos, denominados destrutivos, e métodos indiretos, ou não destrutivos para estimar a área foliar de culturas. Os métodos destrutivos são mais precisos, porém há a necessidade de destruir uma planta para a obtenção da medida, além de seu alto custo.

Com utilização de métodos não destrutivos, as plantas permanecem intactas, sendo possível a realização de outras medidas, além de terem um menor custo. Silva et al. (2015) avaliando métodos para avaliação da área foliar de mangueiras evidenciaram que não há diferenças significativas entre os métodos destrutivos e não destrutivos.

Dentre os métodos diretos destrutivos tem-se o integrador de área foliar, este equipamento permite a determinação precisa da área foliar por meio da análise individual de todas as folhas da cultura. E entre os não destrutivos, destacam-se: o processamento de imagens, medida de intensidade luminosa e medidas de dimensões foliares.

A medida da intensidade luminosa permite estimar o índice de área foliar, o qual pode ser relacionado à permeabilidade do material que está sendo atravessado pelos raios solares (Coelho Filho, 2012). O método que estima a área foliar baseada em medidas das dimensões das folhas ou comprimento de suas nervuras, também pode ser utilizado, pois apresenta correlações altas e significativas para algumas espécies leguminosas e frutíferas *Phaseolus vulgaris* L., *Citrus limonia* L., *Acrocomia Aculeata* (Figueiredo et al., 2012; Silva et al., 2013; Mota et al., 2014).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo recomendar um método não destrutivo para a determinação da área foliar do pequi.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um cultivo experimental de pequi, localizado na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA-UFG), Goiânia-GO (16° 35' 51"S; 49° 16' 38" W; altitude 731,47 m). Segundo classificação de Köppen, o clima da região é do tipo tropical Aw, quente e semi úmido, com estações seca (maio-setembro) e chuvosa (outubro-abril) bem definidas, com precipitação anual média de 1.520 mm e temperatura média anual do ar de 22,9 °C.

Em 2009 foram transplantadas 120 plantas de pequi (*Caryocar brasiliense*

Camb.), em espaçamento 5 x 5 m, em uma área de 3.000 m². Esta área apresenta um solo Latossolo Vermelho Distroférico, os tratamentos culturais, como adubação, controle do mato e poda, realizados no pomar encontram-se descritos em Alves Júnior et al. (2013).

Em maio/2015 foram avaliadas 10 plantas de pequi, com altura de dossel variando entre 1,5 e 2,5 m, diâmetro de copa de 2,0 a 5,0 m e diâmetro médio de tronco de 0,16 m, com 5,6 anos de idade. Três métodos para a determinação de área foliar do pequizeiro foram utilizados: integrador foliar, intensidade luminosa e comprimento de nervuras dos folíolos.

O valor padrão de área foliar foi obtido a partir do método de integração de área foliar. Recolheu-se para isto todas as folhas de uma das árvores do pomar, estas foram agrupadas em três grupos de 86 folíolos e submetidas a avaliação em um integrador modelo LI-COR 3100.

A intensidade luminosa foi determinada com o auxílio de um Luxímetro Digital. Realizaram-se um total de 10 medidas no topo e 120 na base do dossel das 10 plantas. Para as medidas na base, cada planta foi dividida em quatro quadrantes (norte, sul, leste, oeste), onde se obtiveram três medidas por quadrante. As leituras abaixo do dossel foram realizadas com uma abertura de 90°, amostrando ¼ da radiação que chega ao sensor, limitando a visada ao quadrante avaliado. O posicionamento do aparelho para realização das medidas foi escolhido criteriosamente com a finalidade de se minimizar erros relacionados à presença de ramos grossos na linha de visada (Coelho Filho, 2012). As medidas foram realizadas

entre 12 e 14 h. Ao sensor do luxímetro foi acoplado um sistema de filtro constituído de um anel de suporte ao qual foi fixado um disco de plástico azul, permitindo a leitura da radiação solar somente entre os comprimentos de onda entre 400 e 490 nm (região do azul), não se computando as refletâncias nem as transmitâncias complementares propagadas ao longo do dossel. As medidas de lux foram transformadas em W m⁻², e o índice de área foliar (IAF, m² m⁻²) foi estimado pela Eq.[1] (Coelho filho et al., 2012):

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{\frac{1}{n}\sum I}{I_0}\right)}{1 - \frac{1}{n}\sum \frac{I}{I_0}} \quad [1]$$

em que “n” é o número de leituras realizadas com o luxímetro, I a medida realizada na base do dossel (W m⁻²), I₀ a medida realizada no topo do dossel (W m⁻²).

Como o dossel das plantas de pequi não recobre toda a área, a equação 1 foi corrigida em função da altura média equivalente da copa (z) (Coelho Filho et al., 2012), obtida analisando a silhueta da planta em duas dimensões (coordenadas x e y), a partir de uma imagem digital da árvore (fotografia) inserindo-se nesta uma escala. A partir disto, a copa foi seccionada em ângulos de 5°, totalizando 36 pontos (Figura 1), sendo o valor de “z” determinado pela Eq.[2]:

$$z = \sum_{i=0}^{180} \frac{z_i}{n} \quad [2]$$

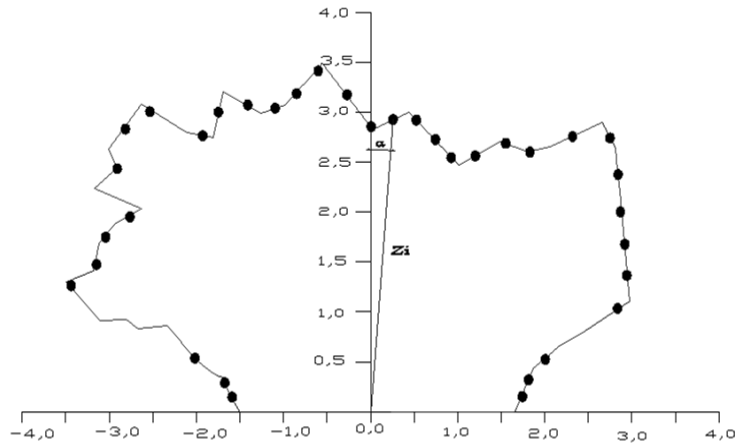


Figura 1. Representação esquemática da copa do pequizeiro para obtenção do parâmetro z , em que “ i ” representa o valor de “ z ” em um dado ângulo- α .

Considerou-se que as plantas avaliadas continham densidades foliares homogêneas, assim, o IAF calculado passa a ser equivalente numericamente à densidade foliar e a área foliar (AF, m^2) (Eq.[3]):

$$AF = IAF \cdot z \cdot \varphi \quad [3]$$

sendo “ z ” a altura equivalente (m) e φ a área de solo correspondente a projeção da copa da planta (m^2). Os valores de φ foram obtidos a partir da medida da sombra da planta no solo, ao meio-dia (hora local = 12 h), com base na área de uma circunferência.

Para a estimativa da área foliar em função da soma da nervura dos folíolos (S) foi retirada uma amostra de 40 folhas (corte na base do pecíolo) completamente expandidas em a uma altura de 1,70 m, as quais continham três folíolos. Após, determinou-se o comprimento das nervuras principais dos folíolos, que foi obtido desde o ponto de inserção do pecíolo no limbo até o ápice da folha, com o auxílio de uma régua milimetrada (Oliveira et al., 2002). Em seguida, realizou-se a soma das nervuras principais dos folíolos. Nos mesmos folíolos, determinou-se a área real utilizando-se o software ImageJ.

Para a avaliação do desempenho dos métodos não destrutivos, calculou-se o erro médio relativo, a raiz do quadrado médio do erro (RMSE) e a média do erro absoluto (MAE), entre os valores estimados (\hat{Y}_i) e observados de área foliar (Y_i) do pequizeiro. Como índice de precisão da estimativa utilizou-se o índice de concordância “ d ” proposto por Willmott et al. (1985).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O método do integrador de área foliar (AF_p) resultou em um índice de área foliar de $0,33 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, para as metodologias utilizando o método de intensidade luminosa (AF_{lux}) e a soma de comprimento da nervura dos folíolos (AF_n) esse índice foi de 1,50 e $0,062 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, respectivamente, estes índices correspondem a área foliar indicada na Tabela 1. Tendo em vista que o índice “ d ” representa a precisão da estimativa, observou-se que nenhum dos métodos apresentaram índices satisfatórios, pois seus índices “ d ” $< 0,55$ foram baixos em comparação ao que seria a concordância perfeita (1,0) de acordo com Willmott et al. (1985). Ainda na Tabela 1, evidencia-se elevados valores de ER%, RMSE e MAE, tanto para o método AF_{lux} quanto para AF_n .

Tabela 1. Área foliar (AF), erro médio relativo (ER%), raiz do quadrado médio do erro (RMSE), média do erro absoluto (MAE) e índice de precisão (d) para estimativa da área foliar do pequizeiro, cultivado em Goiânia-GO, 2015.

Método	AF (cm ²)	ER%	RMSE	MAE	d
AF _p	26.265,16	-	-	-	-
AF _{Lux}	119.882,50	356,43	62.972,97	31.205,77	0,27
AF _n	4.947,86	81,16	7.426,74	7.105,77	0,54

O erro relativo observado na estimativa da área foliar do pequizeiro com a utilização do método AF_{Lux} pode estar associado a distribuição das folhas na copa e a falta de uniformidade do dossel das plantas, que mesmo submetidas a técnicas de manejo iguais apresentam características morfofisiológicas visualmente diferentes. Segundo Welles & Cohen (1996) os métodos nos quais se usa o princípio da transmissão de luz apresentam, em média, acurácia de 20%, entretanto, essa afirmativa só é válida para casos em que as culturas satisfazem as hipóteses randômicas de distribuição de folhas do modelo, quando não, os erros se

tornam expressivos e podem superar 40%.

Diante da informação supracitada e dos resultados obtidos neste estudo, acredita-se que plantas de pequi não satisfazem essas hipóteses, o que provavelmente se deve a variabilidade genética da espécie para cultivo, baixa uniformidade do dossel, apresentando volume de copa não proporcional à área foliar, fazendo com que métodos baseados na intensidade luminosa não sejam recomendados para estimativa da área foliar de plantas de pequi (Figura 2) devido a baixa precisão da estimativa ($R^2 = 0,0814$, $r = 0,29$).

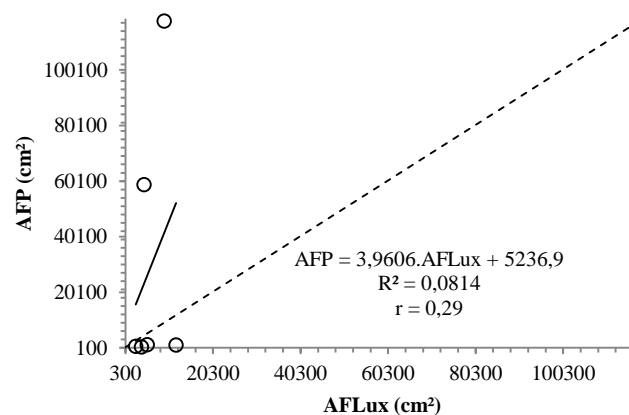


Figura 2. Área foliar obtida pelo método-padrão (AF_P) em função da área foliar obtida pelo método de intensidade luminosa (AF_{LUX}), plantas de pequi com 5,6 anos de idade, cultivado em Goiânia-GO, 2015. Linha contínua representa regressão linear e a linha tracejada indica a reta 1:1.

A partir de equações e da leitura do comprimento da nervura principal dos folíolos pode-se obter uma estimativa rápida da superfície foliar de plantas no campo, oferecendo a possibilidade de monitorar o desenvolvimento da área foliar sem a necessidade de retirar todas as folhas, além da possibilidade de avaliação do crescimento

da planta, haja vista que a mesma não será destruída. Utilizando o método AF_n obteve-se o melhor ajuste dos dados por uma equação linear (Figura 3). Os valores dos coeficientes de regressão ($R^2=0,34$; $r=0,58$) evidenciou-se uma fraca dependência entre a área foliar real e o comprimento das nervuras principais dos folíolos.

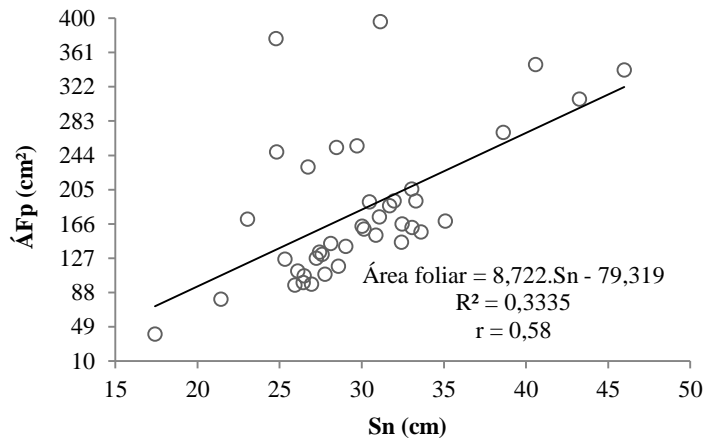


Figura 3. Área foliar obtida pelo método-padrão (AF_p) em função da soma do comprimento das nervuras principais dos folíolos (Sn), de plantas de pequi com 5,6 anos de idade, cultivado em Goiânia-GO, 2015.

Oliveira et al. (2002) estudando o método de comprimento o de nervuras para estimar a área foliar do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) no estágio de botões encontraram comprimento e área das folhas do pequizeiro de 11,9 cm e 25,94 cm², respectivamente. Os mesmos autores obtiveram um coeficiente de correlação de 0,95 ao relacionar a soma dos comprimentos das nervuras dos folíolos e a área foliar real para o pequizeiro (*Cariocar brasiliense* C.) no estado de Minas Gerais, discordando dos resultados obtidos nesse estudo.

A precisão da estimativa pode estar associada à baixa variabilidade do número de

folhas avaliadas pelos autores, sabe-se que o pequizeiro apresenta característica de perder parte de suas folhas durante a seca como mecanismo de adaptação e sobrevivência, bem como o tipo de folha e estágio de desenvolvimento. No presente estudo, as dimensões das folhas de pequizeiro variaram de 7-18 cm de comprimento e de 10,46-29,46 cm de largura, com área foliar entre 40 a 396 cm² (Tabela 2). É possível observar que para valores semelhantes de soma de nervuras dos folíolos os valores de área foliar variam muito, o que justifica a não precisão da área foliar utilizando esta variável.

Tabela 2. Variação da área foliar (AF) do pequizeiro cultivado em Goiânia 2015, e soma de nervuras (SN) correspondentes.

Folha	AF (cm ²)	SN (cm)	Folha	AF (cm ²)	SN (cm)
1	269,913	38,62	21	143,6925	28,109
2	171,3576	23,05	22	173,88	31,075
3	253,0897	28,46	23	40,721	17,402
4	230,8776	26,73	24	190,886	30,468
5	99,456	26,43	25	192,13	31,961
6	254,6403	29,7	26	186,565	31,692
7	347,1746	40,58	27	376,842	24,773
8	307,909	43,26	28	80,358	21,428
9	97,549	26,95	29	134,062	27,42
10	156,711	33,6	30	127,009	27,242
11	395,875	31,13	31	125,847	25,315
12	340,949	45,98	32	140,512	29,025
13	247,72	24,82	33	112,575	26,093
14	131,476	27,583	34	145,336	32,416
15	169,219	35,091	35	108,63	27,75
16	107,008	26,495	36	153,171	30,849
17	117,929	28,579	37	160,041	30,127
18	96,266	25,936	38	192,165	33,303
19	161,958	33,063	39	163,481	30,028
20	166,018	32,448	40	205,447	33,049

Na literatura existem trabalhos que avaliaram métodos indiretos para baseados na intensidade luminosa e medidas lineares das folhas (Coelho Filho, 2012, Figueiredo et al., 2012; Silva et al., 2015) e obtiveram índice de precisão em torno de 0,9, enquanto neste estudo o maior índice foi de 0,54 utilizando o método AF_n (Tabela 1). Utilizando o método de dimensões lineares para estimar a área foliar do *Myrciaria tenella* O. Berg (nome comum: Camboin), espécie arbórea nativa do Rio Grande do Sul, Carvalho et al. (2012) obtiveram-se R²=0,68. Outros autores que estudaram métodos indiretos para a estimativa de área foliar da jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* [Mart.] O. Berg) (Lima et al., 2012), também observaram um ajuste não satisfatório dos pontos à reta.

Assim, é possível inferir que alguns métodos indiretos utilizados para estimativa da área foliar podem não ser recomendados para determinadas espécies. Seja pela variabilidade do número de folhas de uma

planta para outra, volume de copa, dossel desuniforme e idade da planta.

Na literatura são recentes trabalhos sobre desenvolvimento e crescimento do pequizeiro, e a falta de informação sobre esta frutífera em termos de cultivo e manejo continua sendo uma barreira para sua domesticação, recomenda-se estudos adicionais quanto a outros métodos para estimativa de área foliar e sua precisão quanto a fornecimento da área foliar de plantas de pequi.

CONCLUSÕES

Os métodos baseados na medida da intensidade luminosa que atravessa o dossel e soma do comprimento das nervuras não apresentam resultados satisfatórios para a estimativa da área foliar do pequizeiro aos 5,6 anos de idade.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. P.; SILVA, J. A.; FONSECA, C. E. L. **Cerrado**: espécies vegetais úteis. Planaltina: Embrapa/CPAC, 1998. 300 p.
- ALVES JÚNIOR, J.; TAVEIRA, M. R.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; VELLAME, L. M.; LEANDRO, W. M. Respostas do pequiizeiro à irrigação e adubação orgânica. **Global Science and Technology**, v.8, n.1, p. 47-60, 2015.
- ALVES JÚNIOR, J.; TAVEIRA, M. R.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; BARBOZA, L. H. A. Crescimento de plantas jovens de pequiizeiro irrigadas na região do cerrado. **Revista Agrotecnologia**, v.4, n.1, p.58-73, 2013.
- CARVALHO, D. R. D.; NASCIMENTO, P. G. M. L. N.; SILVA, M. G. O. S.; MESQUITA, H. C. CUNHA, J. L. X. L. C. Comparação de métodos para estimativa da área foliar do *Myrciaria tenella* O. Berg. **ACSA. Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.8, n.4, p. 1-6, 2012.
- COELHO FILHO, M. A.; VILLA-NOVA, N. A.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R.; RIGHI, C. A. Método para estimativa do IAF de árvores isoladas ou de plantações com dossel fechado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.529-538, 2012.
- FARIAS, C. H. A. et al. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.4, p.356-362, 2008.
- FIGUEIREDO, E. S.; SANTOS, M. E.; GARCIA, A. Modelos de determinação não destrutivo da área foliar do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Nuclues**, v.9, n. 1, p. 74-89, 2012.
- GOMIDE, M. B.; LEMOS, O. V.; WELLES, J. M.; COHEN, S. Canopy
- TOURINO, D; CARVALHO, M. M.de; CARVALHO, J. G. de; DUARTE, C. de S. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros mundo novo e Catuaí. **Ciência e Prática**, v.1, n.2, p.118-123, 1977.
- LIMA, M.F.P.; NASCIMENTO, P.G.M.L.; SILVA, M.G.O.; MESQUITA, H.C.; CUNHA, J.L.X.L. Comparação de métodos de área foliar em *Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg. **ACSA. Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.8, n.1, p.07-12, 2012.
- MOTA, C. S.; LEITE, H. G.; CANO, M. A. O. Equações para estimar área foliar de folíolos de *Acrocomia aculeata*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 217-224, 2014.
- OLIVEIRA, M. N. S.; LOPES, P. S. N.; MERCADANTE, M. O. ; OLIVEIRA, G. L.; GUSMÃO, E. Medição da área foliar do pequiizeiro utilizando a soma da nervura principal dos folíolos. **Unimontes científica**, v. 3, n, 3, p. 1-7, 2002.
- SILVA, S. F.; CABANEZ, P. A.; MENDONÇA, R. F.; PEREIRA, L. R.; AMARAL, J. A. T. Modelos alométricos para estimativa da área foliar de mangueira pelo método não destrutivo. **Revista Agro Ambiente On-line**, v.9, n.1, p. 86-90, 2015.
- SILVA, R. T. L.; ANDRADE, A. C.; OLIVEIRA, L. M.; LIMA, L. G. S.; OLIVEIRA, R. L. L. MELO, E. C.; OLIVEIRA NETO, C. F. Estimativa da área foliar de limoeiro-cravo usando dimensões lineares do limbo foliar. **Nucleus**, v.10, n.1, p.91-98, 2013.
- SILVA, S. F.; CABANEZ, P. A.; MENDONÇA, R. F.; PEREIRA, L. R.; AMARAL, J. A. T. Modelos alométricos para estimativa da área foliar de mangueira pelo método não destrutivo. **Revista Agro Ambiente**, v. 9, n.1, p. 86-90, 2015.

structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. **Journal of Experimental Botany**, v.47, p.1335-1342, 1996.

WILLMOTT, C.J. et al. Statistics for evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v.89, n.5, p.8995-9005, 1985.