

RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

USO DE IMAGENS DIGITALIZADAS PARA ELABORAÇÃO DE EQUAÇÕES QUE ESTIME A ÁREA FOLIAR DE MUDAS DE *Eugenia uniflora* L.

*¹Vinicius de Souza Oliveira, ¹Ana Paula Braido Pinheiro, ¹João Vitor Garcia Silva, ¹Adriele dos Santos Jardim, ¹Adriano Alves Fernandes, ¹Omar Schmildt, ²Sara Dousseau Arantes, ³Robson Prucoli Posse and ¹Edilson Romais Schmildt

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, São Mateus, Espírito Santo, Brasil

²Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), Linhares, Espírito Santo, Brasil

³Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina, Colatina, Espírito Santo, Brasil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 17th August, 2019

Received in revised form

21st September, 2019

Accepted 08th October, 2019

Published online 20th November, 2019

Key Words:

Eugenia uniflora L.,

Image J[®]; análise de regressão.

*Corresponding author:

Vinicius de Souza Oliveira

ABSTRACT

O objetivo deste estudo foi elaborar uma equação matemática que estime a área de pitangeira (*Eugenia uniflora* L.) através de imagens digitalizadas. Para isso, foram utilizadas 500 folhas de mudas obtidas em casa de vegetação na Universidade Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, localizado no município de São Mateus, Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. As folhas foram digitalizadas e processadas com o auxílio do software ImageJ[®] obtido o comprimento (C) ao longo da nervura central, maior largura (L) e a área foliar observada (AFO). O produto da multiplicação do comprimento com a largura (CL) também foi definido. Para o ajuste dos modelos, utilizou-se a análise de regressão onde os valores da AFO de 400 folhas foram usados como variável dependente em função de C, L, ou CL como variável independente. Foram testados os modelos linear de primeiro grau, quadrático e potência. Os modelos foram validados com uma amostra de 100 folhas separadas unicamente para esta finalidade. Desta forma, a melhor equação para estimar a área foliar de *Eugenia uniflora* L. é a de modelo potência $AFE = 0,8334(CL)^{0,9435}$, obtidas a partir do produto da multiplicação das medidas do comprimento com a largura da superfície foliar.

Copyright © 2019, Viviane Sousa Ferreira. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Vinicius de Souza Oliveira, Ana Paula Braido Pinheiro, João Vitor Garcia Silva et al. 2019. Uso de imagens digitalizadas para elaboração de equações que estime a área foliar de mudas de *Eugenia uniflora* L., *International Journal of Development Research*, 09, (11), 31062-31064.

INTRODUCTION

As folhas são os órgãos aéreos mais importantes das plantas, pois estão diretamente relacionadas ao acúmulo de fotoassimilados, desta forma, a área foliar está ligada ao crescimento, produtividade e qualidade da cultura (Khan et al., 2016). Além disso, sua medição é fundamental em estudos que envolvam interceptação luminosa, eficiência fotossintética e respostas a estímulos como fertilizantes e irrigação (Blanco, Folegatti, 2005). Entre as formas comumente encontradas na literatura para determinar a área foliar de espécies vegetais está o uso de ajuste de equações matemáticas. Essa metodologia, visa estimar a área das folhas da espécie desejada através de suas dimensões foliares, podendo ser utilizada com precisão, de maneira ágil, sem a necessidade de equipamentos sofisticados, além de ser um método não destrutivo, permitindo a medição de uma mesma folha durante todo o ciclo de crescimento da cultura.

É notório nos últimos anos a busca constante de equações que determine a área das folhas de diversas culturas como *Coffea arabica* (Antunes et al., 2008), *Coffea canephora* (Antunes et al., 2008; Espindula et al., 2018), *Passiflora* spp. (Morgado et al., 2013), *Vitis vinifera* L. (Buttaro et al., 2015), Guava (Vitória et al., 2018), *Annona cherimola* Mill. (Schmildt et al., 2017), *Litchichinensis* Sonn. (Oliveira et al., 2017) e *Artocarpus heterophyllus* (Oliveira et al., 2019). Porém não foram encontrados estudos que envolvam esse tipo de técnica para estimar a área foliar de pitangeira (*Eugenia uniflora* L.). Em relação a *Eugenia uniflora* L., ela é uma espécie frutífera que tem altura variando de 6 a 12 metros, é cultivada em pomares domésticos ou em projetos de paisagismo, sua madeira geralmente é utilizada na confecção de ferramentas para o uso agrícola (Scalon et al., 2001). Suas folhas são utilizadas na medicina popular na forma de chá como hipotensor, estomáquico e hipoglicemiante (Auricchio, Bacchi, 2003).

Assim, devido a importância da cultura e a inexistência de estudos, objetivou-se por esse estudo elaborar uma equação que estime a área de *Eugenia uniflora* L. através de imagens digitalizadas.

METODOLOGIA

Para a realização do presente estudo, foram utilizadas 500 folhas de mudas de pitangeira (*Eugenia uniflora* L.) obtidas em casa de vegetação na Universidade Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, localizado no município de São Mateus, Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil, com coordenadas geográficas de 18° 40' 36" de latitude Sul e 39° 51' 35" de longitude Leste. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo tropical AW (tropical úmido), com chuvas no verão e inverno seco (Alvares et al., 2014). As mudas foram preparadas em tubetes com capacidade volumétrica de 290 cm³ preenchidos com substrato a base de areia, argila, fibras de coco e fertilizante NPK na formulação 04-14-8. Em cada tubete foi semeada uma semente de *Eugenia uniflora* L. Após a semeadura as mudas foram mantidas em casa de vegetação coberta por tela com 30% de sombreamento (sombrite[®]) até atingirem 195 dias. Durante todo o período experimental, as mudas foram irrigadas por sistema localizado do tipo aspersão como lâmina de irrigação de 8 mm d⁻¹, com frequência de rega de 1 hora por dia distribuídas em 4 aplicações. Ao final dos 195 dias, as folhas das mudas foram destacadas da planta e feita a remoção do pecíolo, posteriormente foram digitalizadas em Scanner de mesa na marca HP modelo Deskjet F4280[®], sendo as imagens salvas em formato TagImage File Format (TIFF) com resolução de 75 dpi. As imagens foram processadas com o auxílio do software ImageJ[®] (Schindelin et al., 2015), de onde foi obtido o comprimento (C) ao longo da nervura central, maior largura (L), ambas as medidas em cm (Fig. 1) e a área foliar observada (AFO) em cm². O produto da multiplicação do comprimento com a largura (CL) em cm² também foi definido. Para o ajuste dos modelos, utilizou-se a análise de regressão onde os valores da AFO de 400 folhas foram usados como variável dependente (y) em função de C, L, ou CL como variável independente (x).

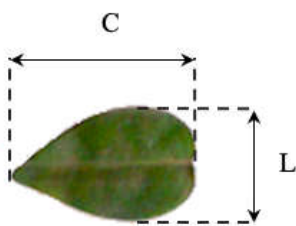


Fig. 1. Representação da medida do comprimento (C) ao longo da nervura principal e largura máxima (L) de folhas de mudas de *Eugenia uniflora* L.

Tabela 1. Denominação e representação dos modelos de equação ajustadas para estimativa da área foliar de mudas de *Eugenia uniflora* L.

Denominação da equação	Representação do modelo
Linear	$AFE = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$
Quadrático	$AFE = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2$
Potencial	$AFE = \hat{\beta}_0 x^{\hat{\beta}_1}$

Foram testados os modelos linear de primeiro grau, quadrático e potencia conforme representado na Tabela 1. Assim, foram obtidas nove equações e seu respectivo coeficiente de

determinação (R^2) para a estimativa da área foliar de *Eugenia uniflora* L. Os parâmetros $\hat{\beta}_0$ (coeficiente linear), $\hat{\beta}_1$ (coeficiente angular) e $\hat{\beta}_2$ (coeficiente quadrático) foram estimados através do método de mínimos quadrados. Todos os modelos foram validados a partir de uma amostra de 100 folhas separadas unicamente para esta finalidade, onde os valores de C, L e CL foram substituídos nas equações obtidas na modelagem determinando assim a área foliar estimada (AFE) em cm². Inicialmente, ajustou-se um modelo de regressão linear simples ($AFE = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$), onde os valores da AFE foram utilizados em função dos valores da AFO. Testou-se as hipóteses $H_0: \hat{\beta}_0 = 0$ versus $H_a: \hat{\beta}_0 \neq 0$ e $H_0: \hat{\beta}_1 = 1$ versus $H_a: \hat{\beta}_1 \neq 1$, por meio do teste t de Student a 5% de probabilidade. A raiz quadrada média do erro (RQME) e o índice de Willmott (d) (Willmott, 1981) também foram definidos através das expressões 1 e 2.

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (AFE - AFO)^2}{n}} \quad (1)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (AFE - AFO)^2}{\sum_{i=1}^n (|AFE - AFO| + |AFO - AFO|)^2} \right] \quad (2)$$

Em que, AFE são os valores estimado de área foliar, AFO são os valores observado de área foliar, \overline{AFO} é a média dos valores da área foliar observada, e n é o número de folhas amostradas usadas para a validação (n = 100). O melhor ajuste foi definido como aquele que apresentou coeficiente linear ($\hat{\beta}_0$) não diferente de zero, coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$) não diferente de um, RQME mais próximos de zero e índice d de Willmott (Willmott, 1981) mais próximo ao unitário. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R Core Team, 2019), com scripts desenvolvidos pelo pacote ExpDes.pt versão 1.2 (Ferreira et al., 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os nove modelos ajustados para estimar a área de *Eugenia uniflora* L. estão representados na Tabela 2. Verifica-se que todos os modelos tiveram boa relação entre as variáveis em estudo, como coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,83, entretanto, os modelos obtidos a partir do produto da multiplicação do comprimento com a largura, apresentaram melhores resultados R^2 com valores acima de 0,98 (Pompelli et al., 2019). O uso de apenas uma variável (C ou L) para o ajuste do modelo na prática é mais fácil de ser executado (Oliveira et al., 2019). De fato, estes modelos tem a facilidade de reduzir pela metade o número de medições em comparativo aos modelos que envolvam mais de uma medida (Santos et al., 2016). Entretanto, esses modelos são específicos, gerando imprecisão na estimativa da área foliar da maioria das espécies (Espindula et al., 2018). Isso acontece, pois, os valores individuais do comprimento e da largura são muito distintos, assim, em combinado apresentam maior grau de precisão (Lavanhole et al., 2018). Apesar da boa relação entre a AFO e CL constatada pelos valores elevados do R^2 , essa característica não pode ser usada individualmente para a seleção de um modelo, pois esta prática pode acarretar em estimativas imprecisas da área foliar (Antunes et al., 2008). Desta forma, antes de ser utilizada em outro experimento, estas equações devem ser validadas através de critérios adequados, utilizando uma nova amostra de folhas diferentes das empregadas no ajuste da modelagem, essa prática é indispensável, pois se a equação obtida não for confiável resultados incorretos podem ser gerados (Khan et al., 2016).

Tabela 2. Equações de modelo linear de primeiro, quadrática e potencia utilizando a área foliar observada (AFO) em função do comprimento (C), largura (L) e produto do comprimento com a largura (CL) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para estimar a área de folhas demudas de *Eugenia uniflora* L.

Modelo	Equação	R^2
Linear	AFE = $-1,51108 + 1,78833(C)$	0,8427
Linear	AFE = $-1,39315 + 2,91865(L)$	0,9095
Linear	AFE = $0,131077 + 0,734225(CL)$	0,9815
Quadrático	AFE = $-0,91177 + 1,21244(C) + 0,12737(C)^2$	0,8460
Quadrático	AFE = $-0,29777 + 1,08654(L) + 0,69318(L)^2$	0,9227
Quadrático	AFE = $0,075937 + 0,772916(CL) - 0,005323(CL)^2$	0,9817
Potencia	AFE = $0,6513(C)^{1,6 \ 219}$	0,8378
Potencia	AFE = $1,4780(L)^{1,6 \ 5 \ 4 \ 1}$	0,9225
Potencia	AFE = $0,8334(CL)^{0,94 \ 3 \ 5}$	0,9817

Tabela 3. Coeficiente linear ($\hat{\beta}_0$), coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$) e coeficiente de determinação (R^2), obtidos das equações com ajuste linear de primeiro grau entre a área foliar estimada (AFE) pelo comprimento (C), largura (L) e produto do comprimento com a largura (CL) em função da área foliar observada (AFO), além da raiz quadrada médio do erro (RQME) e índice de Willmott (d) de folhas de mudas de *Eugenia uniflora* L. utilizadas para validação

Modelo	Variável	$\hat{\beta}_0^{(1)}$	$\hat{\beta}_1^{(2)}$	R^2	RMSE	d
Linear	C	0,36802*	0,88813*	0,8476	0,41964	0,9574
Linear	L	0,19669*	0,92001*	0,9037	0,32749	0,9744
Linear	CL	-0,05672 ^{ns}	1,01974 ^{ns}	0,9770	0,16591	0,9939
Quadrático	C	0,33945*	0,89532*	0,8492	0,41685	0,9583
Quadrático	L	0,15200 ^{ns}	0,92588*	0,9060	0,32656	0,9747
Quadrático	CL	-0,06053 ^{ns}	1,02246 ^{ns}	0,9778	0,16396	0,9941
Potencia	C	0,38010*	0,87957*	0,8473	0,41751	0,9574
Potencia	L	0,15252 ^{ns}	0,92577*	0,9059	0,32670	0,9747
Potencia	CL	-0,06220 ^{ns}	1,02284 ^{ns}	0,9779	0,16366	0,9941

⁽¹⁾Coeficiente linear ($\hat{\beta}_0$) não difere de zero (^{ns}) e significativamente difere de zero (*) pelo teste *t* de Student, ao nível de 5% de significância

⁽²⁾Coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$) não difere de um (^{ns}) e significativamente difere de um (*) pelo teste *t* de Student, ao nível de 5% de significância

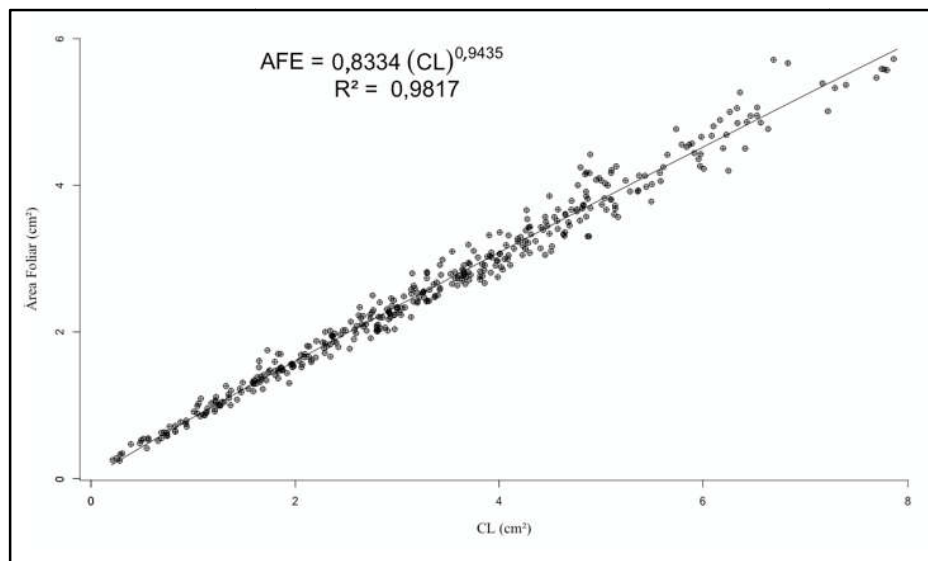


Fig. 2. Equação de modelo linear de segundo grau e coeficiente de determinação (R^2), utilizando a área foliar observada (AFO) como variável dependente, em função do produto do comprimento com a largura (CL) ajustada para estimar a área de folhas de mudas de *Eugenia uniflora*, além do diagrama de dispersão do resíduo

Apenas os modelos linear de primeiro grau quadrático e potencia obtidas a partir do produto da multiplicação do comprimento com a largura apresentaram valores não significativamente diferente de zero para o coeficiente linear ($\hat{\beta}_0$) e não significativamente diferente de um para o coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$). O valor de $\hat{\beta}_0$ é aquele que indica onde a reta da regressão faz intercepto ao eixo da ordenada, assim valores significativos iguais a zero representam que quando a área foliar observada for igual a zero, a área foliar estimada pelos modelos também será igual a zero. Já o valor de $\hat{\beta}_1$ é a relação entre a área foliar observada e a área foliar estimada,

esse valor indica quanto a área foliar estimada irá variar quando houver variações na medida da área foliar observada, quando esse valor é significativamente igual a um, nos mostra que a área foliar observada aumentar unitariamente, a área foliar estimada também terá acréscimo unitário pelos modelos. Porém, entre todas as equações ajustadas, a de modelo potencia obtida a partir de CL apresentou melhor desempenho com valor da raiz quadrada médio do erro (RQME) mais próximo ao zero e valor do índice de Willmott (d) mais próximo de um (Willmott, 1981), além disso, essa equação ainda teve maiores valores de R^2 tanto na modelagem quanto na validação características essas que definem esta equação é a

mais precisa para estima a área das folhas de *Eugenia uniflora* L.O ajuste baseado na combinação de dimensões foliares é constantemente indicado por diversos autores como o mais preciso para frutíferas como *Passiflora spp.* (Morgado et al., 2013), *Vitis vinifera* L. (Buttaro et al., 2015), *Annonacherimila* Mill. (Schmidt et al., 2017), *Litchichinensis*Sonn. (Oliveira et al., 2017) e *Artocarpusheterophyllus* (Oliveira et al., 2019) comprovando a notoriedade destes modelos.Em resumo, considerando os critérios estatísticos estabelecidos neste estudo, o modelo potencia representado pela equação $AFE = 0,8334(CL)^{0,9435}$ onde a variável dependente foi o produto da multiplicação entre o comprimento e a largura (CL) se sobressaiu aos demais. É notório que houve boa relação deste modelo com os pontos observados (Fig. 2). Além do mais, para este ajuste foi utilizado uma amostra com elevado número de folhas (400), como valores de CL variando de 0,21 a 7,86 cm² e valores da AFO variando de 0,24 a 5,72 cm², sendo estes valores bem representativos em relação a população. Essa constatação é importante, pois, segundo Khan et al., (2016), na obtenção dos modelos a amostra deve conter folhas de diferentes tamanhos. Vale ressaltar, que o uso desta equação deve ser feito em casos que não extrapole os valores utilizados para o ajuste (Levini et al., 2017), já que ao contrario pode levar ao dimensionamento errônea da área foliar. Caso se faça necessário o uso deste modelo em situações distintas a deste estudo, uma nova calibragem deve ser realizada. Esse modelo pode estimar a área foliar de forma não destrutiva, permitindo ao pesquisados medir a área de uma mesma planta durante todo seu crescimento vegetativo, podendo ser utilizada a mesma folha desde sua brotação ate a senescência evitando a variações, além disso, essa equação elimina a necessidade de equipamentos caros e mão de obra especializada, sendo uma maneira fácil, rápida, confiável e que economiza tempo gasto (Khan et al., 2016).

Conclusão

A melhor equação para estima a área foliar de *Eugenia uniflora*L. é a de modelo potencia $AFE = 0,8334(CL)^{0,9435}$, obtidas a partir do produto da multiplicação das medidas do comprimento com a largura da superfície foliar. Essa equação atendeu a todos os critérios estatísticos utilizados neste estudo, assim, pode ser utilizada com precisão, de maneira simples, rápida e sem a necessidade de destruição das folhas

REFERÊNCIAS

Alvares, C. A., Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, pp. 711-728.

Antunes, W. C., Pompelli, M. F., Carretero, D. M., Damatta, F. M. 2008. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). *Annals of Applied Biology*, 153, pp. 33-40.

Auricchio, M. T., Bacchi, E. M. 2003. Folhas de *Eugenia uniflora* L. (pitanga): propriedades farmacobotânicas, químicas e farmacológicas. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 62, pp. 55-61.

Blanco, F. F., Folegatti, M. V. 2005. Estimation of leaf area for green house cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Scientia Agricola*, 62, pp.305-309.

Buttaro, D., Roupheal, Y., Rivera, C.M., Colla, G., Gonnella, M. 2015. Simple and accurate allometric model for leaf area estimation in *Vitis vinifera* L. genotypes. *Photosynthetica*, 53, pp. 342-348.

Espindula, M. C., Passos, A. M. A., Araújo, L. F. B., Marcolan, A. L., Partelli, F. L., Ramalho, A. R. 2018. Indirect estimation of leaf area in genotypes of 'Conilon' coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner). *Australian Journal of Crop Science*, 12, pp. 990-994.

Ferreira, E. B.; Cavalcanti, P. P.; Nogueira, D. A. 2018. Package 'ExpDes.pt'.

Khan, F. A., Banday, F. A., Narayan, S., Khan F. U., Bhat, S. A. 2016. Use of Models as Non-destructive Method for Leaf Area Estimation in Horticultural Crops. *International Journal of Applied Sciences*, 4, pp. 162-180.

Lavanhole, D. F.; Oliveira, P. S.; Vitória, E. L.; Aoyama, E. M. 2018. Estimativa de área foliar por meio de relações alométricas em *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. SM sob distintas condições de luminosidade. *Iheringia: Série Botânica*, 73, pp. 363-373.

Levine, D. M., Stephan, D. F.; Szabat, K. A. 2017. Estatistic for managers using Microsoft Excel: global edition. (8th ed.) London: Person. pp. 1-728.

Morgado, M. A. D., Bruckner, C. H., Rosado, L. D. S., Assunção, W., Santos, C. E. M. 2013. Estimativa da área foliar por método não destrutivo, utilizando medidas lineares das folhas de espécies de *Passiflora*. *Revista Ceres*, 60, pp. 662-667.

Oliveira, P. S.; Silva, W.; Costa, A. A. M.; Schmidt, E. R.; Vitória, E. L. 2017. Leaf area estimation in litchi by means of allometric relationships. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39, pp. 1-6.

Oliveira, V. S.; Hell, L. R.; Santos, K. T. H.; Pelegrini, H. R.; Santos, J. S. H.; Oliveira, G. E.; Nascimento, A. L.; Santos, G. P.; Schmidt, O.; Czepak, M. P.; Arantes, S. D.; Alexandre, R. S.; Schmidt, E. R. 2019. Estimation of Leaf Area of Jackfruit Through Non-destructive Method. *Journal of Agricultural Science*, 11, pp.77- 85.

Pompelli, M.F., Santos, J.N.B., Santos, M.A. 2019. Estimating leaf area of *Jatropha nana* through non-destructive allometric models. *AIMS Environmental Science*, 6, pp.59-76.

R Core Team. 2018. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Santos, J. C. C., Costa, R. N., Silva, D. M. R., Souza, A. A., Moura, F. B. P. Silva Junior, J. M., Silva, J. V. 2016. Use of allometric models to estimate leaf area in *Hymenaea courbaril* L. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 28, pp. 357-369.

Scalon, S. P. Q., Scalon Filho, H., Rogoni, M. R., Veraldo, F. 2001. Germinação e crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) sob condições de sombreamento. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 23, pp. 652-655.

Schindelin, J.; Rueden, C. T.; Hiner, Mc.; Eliceiri, K. W. 2015. The Image J Eco system: An Open Platform for Biomedical Image Analysis. *Molecular Reproduction and Development*. 82, pp 518-529.

Schmidt, E. R.; Hueso, J. J.; Pinillos, V.; Steldfeldt, A.; Cuevas, J. 2017. Allometric models for determining leaf area of 'Fino de Jete' cherimoya grown in greenhouse and in the open field. *Fruits*, 72, pp. 24-30.

Vitória, E. L.; Freitas, I. L. J., Locatelli, T., Lacerda, E. G., Valle, J. M., Pereira, R. C., Almeida, P. F. P., Vitoria, R. Z., Simom, C. P, Fernandes, A. A. 2018. Mathematical Models for Leaf Area Estimates of Guava. *Journal of Agricultural Science*, 10, pp. 272-278.

Willmott, C. J. 1981. On the validation of models. *Physical Geography*, 2, pp. 184-194.