

RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

REGRESSÃO MATEMÁTICA PARA ESTIMAR ÁREA FOLIAR DE MUDAS DE TOMATEIRO MESTIÇO E OZENO ATRAVÉS DE MÉTODO NÃO DESTRUTIVO

*¹Jeniffer Ribeiro de Oliveira, ¹Vinicius de Souza Oliveira, ¹Gleyce Pereira Santos, ¹Bruna Alves Salomão, ¹Omar Schmidt, ²Adriel Lima Nascimento, ¹Hérica Chisté, ³Sara Dousseau Arantes and ¹Edilson Romais Schmidt

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

²Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Espírito Santo, Brasil

³Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), Linhares, Espírito Santo, Brasil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 20th July, 2019

Received in revised form

08th August, 2019

Accepted 14th September, 2019

Published online 30th October, 2019

Key Words:

Solanum lycopersicum;
Modelagem; Validação.

*Corresponding author:

Jeniffer Ribeiro de Oliveira

ABSTRACT

Objetivou-se por esse estudo determina a melhor equação que estime a área de folhas de tomateiro das cultivares (*Solanum lycopersicum*) mestiço e ozono através das medidas do comprimento e largura da superfície foliar. Um total de 800 folhas foram utilizadas, onde se obteve suas medidas do comprimento (C), largura (L), área foliar observadas (AFO) e produto da multiplicação do comprimento com a largura (CL). Foram testados os modelos linear de primeiro grau e potencia, obtidos através de AFO como variável dependente em função de C, L ou CL com amostra de 700 folhas. Todos os modelos passaram pelo processo de validação onde, os valores de C, L e CL de 100 folhas separadas para essa finalidade foram substituídos nos modelos propostos obtendo assim a área foliar estimada (AFE). Posteriormente, foi ajustado um modelo de equação linear simples entre AFE e AFO. Os parâmetros β_0 e β_1 foram testados com as seguintes 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. Ainda como critério de validação determinou-se o erro médio (E), erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice de Willmott (d). A área das folhas de tomateiro das mestiço e ozono pode ser estimada pela equação de modelo potencia $AFE = 0,5499(CL)^{0,9233}$ gerada a partir do produto da multiplicação do comprimento com a largura (CL).

Copyright © 2019, Jeniffer Ribeiro de Oliveira et al. 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: Jeniffer Ribeiro de Oliveira, Vinicius de Souza Oliveira, Gleyce Pereira Santos et al. 2019. "Regressão matemática para estimar área foliar de mudas de tomateiro mestiço e ozono através de método não destrutivo", *International Journal of Development Research*, 09, (10), 30957-30961.

INTRODUCTION

A área foliar é importante característica a ser determinada, pois as folhas são responsáveis diretamente para a captação de energia luminosa usada no processo da fotossíntese, produzindo fotoassimilados responsáveis pelo crescimento e o desenvolvimento das plantas (Severino et al., 2004). Sendo parâmetro indispensável em estudos ecológicos, agrônômicos e ecofisiológica, podendo prever o comportamento da planta em relação ao uso de fertilizantes e irrigação (Blanco, Folegatti, 2005; Santos et al., 2018). Nesse sentido, existem métodos diretos e indiretos de se determinar a área de uma folha. Os métodos diretos, tem boa precisão, entretanto necessitam de equipamentos específicos de alto custo, além de na sua maioria exigirem a destruição das folhas o que pode inviabilizar o seu uso em estudos que necessitam do acompanhamento da mesma

planta (Pompelli et al., 2012). Já os métodos indiretos, são simples, permitindo a estimativa da área foliar de forma rápida e precisa, sem uso de equipamentos sofisticados, além de serem não destrutivos, podendo ser utilizados durante todo o desenvolvimento de uma mesma planta (Toebe et al., 2012). Dentre os métodos indiretos, se destaca o uso de modelos matemáticos que visam gerar equações relacionando medidas da superfície foliar como o comprimento, a largura ou sua combinação com a área foliar das plantas (Oliveira et al., 2019a). Estudos comprovam que o uso de modelos matemáticos vem se mostrando precisos na estimativa da área foliar de diversas espécies (Schmidt et al., 2015; Carvalho et al., 2017; Santos et al., 2018; Oliveira et al., 2019b; Pinheiro et al., 2019). Todavia, devido a importância da cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum*) que é uma das principais hortaliças consumidas mundialmente (Monteiro et al., 2008) e

na inexistência de estudos que estime a área das cultivares mestiço e ozeo, objetivou-se por esse estudo propor modelos de regressão matemáticas que estime a área foliar de mudas de tomateiro destas cultivares através das medidas do comprimento e largura da superfície foliar.

METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, um total de 800 folhas comportas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*), sendo 400 folhas da cultivar mestiço e 400 da cultivar ozeo foram utilizadas. As mudas são provenientes da empresa Top Mudas[®], situada no município de Venda Nova do Imigrante, no estado do Espírito Santo, Brasil, com as seguintes coordenadas geográficas: 20° 20' 6" de latitude sul e 41° 7' 49" de longitude oeste. A região se caracteriza segundo a classificação de Köppen pelo clima subtropical úmido do tipo cfa, com verão quente (Alvares *et al.*, 2014). Para o preparo das mudas, utilizou-se bandejas de polietileno com 200 células (Fig. 1). Cada célula tinha capacidade volumétrica de 18 cm³. As células foram preenchidas com substrato comercial Carolina Soil[®]. Foi utilizado 3 sementes por célula para maior eficiência germinativa, sendo feito o desbaste após atingirem cerca de 3 cm selecionando a muda de melhor desenvolvimento. As mudas foram mantidas em viveiro revestido com tela antiofídica até os 31 dias após a semeadura para a cultivar mestiço e até os 24 dias após a semeadura para a cultivar ozeo.

Em laboratório, as folhas foram digitalizadas com scanner de mesa HP Deskjet F4280[®] e salvar em formato em formato Tag Image File Format (TIFF) com resolução de 75 dpi. A partir das imagens com o auxílio do software ImageJ[®] (Schindelin *et al.*, 2015), foi mensurado, de cada folha composta, o maior comprimento (C) em cm, a maior largura (L), em cm (Fig.2) e a área foliar observadas (AFO) em cm². Posteriormente, determinou-se o produto da multiplicação do comprimento com a largura (CL) em cm². Determinou-se os valores mínimos, máximos, médios, amplitude e coeficiente de variação (CV) para cada característica através da estatística descritiva. Para o ajuste da modelagem, inicialmente para cada cultivar utilizou-se 350 folhas compostas, sendo testados os modelos linear de primeiro grau representado por $AFE = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$ e potencial representado por $AF = \hat{\beta}_0 x^{\hat{\beta}_1}$, onde a AFO foi usada como variável dependente (y) em função de C, L e CL, totalizando seis equações. Posteriormente, os parâmetros $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ das equações ajustadas com as mesmas características foram testados pelo análise de covariância através do teste t de student a 5% de probabilidade (Zhang, Liu, 2010; Cirillo *et al.*, 2017) afim de encontrar uma única equação que estimasse a área das folhas das duas cultivares de tomateiro de forma conjunta. Os parâmetros $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ tiveram sua estimativa pelo método dos mínimos quadrados sendo modelo potência pré linearização com logarítmica de base 10 (log) para as variáveis, dependentes (y) e independentes (x): $\log(y) = \log(\hat{\beta}_0) + \hat{\beta}_1 \log(x)$. O coeficiente de determinação (R²) foi obtido para todas as equações. Os modelos foram validados, com uma amostra de 100 folhas compostas, em que os valores de C, L e CL foram substituídos nas equações ajustadas na modelagem, obtendo assim a área foliar estimada (AFE) em cm² de cada equação. Um modelo de equação linear simples representado por $AFE = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$ foi ajustado entre AFE como variável dependente em função da AFO com variável

independente. Foi testado 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. Calculou-se também o erro médio (E), o erro absoluto médio (EAM), a raiz do quadrado média do erro (RQME) e o índice de Willmott (d) (Willmott, 1981) para todos os modelos através das expressões 1, 2, 3, 4.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (AFE - AFO)}{n} \dots \dots \dots (1)$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |AFE - AFO|}{n} \dots \dots \dots (2)$$

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (AFE - AFO)^2}{n}} \dots \dots \dots (3)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (AFE - AFO)^2}{\sum_{i=1}^n (|AFE - \bar{AFO}| + |AFO - \bar{AFO}|)^2} \right] \dots \dots \dots (4)$$

Onde, AFE são os valores estimados da área foliar; AFO são os valores observado da área foliar; \bar{AFO} é a média dos valores da área foliar observada; e n é o número de folhas, sendo n=100 no presente estudo. O melhor modelo foi selecionado baseado nos seguintes critérios: coeficiente linear ($\hat{\beta}_0$) não diferente de zero, coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$) não diferente de um, E, EAM e RQME mais próximos de zero, e índice d de Willmott (Willmott, 1981) mais próximo de um. As análises estatísticas e as representações gráficas foram realizadas no software R (R Core Team, 2019), com auxílio do pacote de dados ExpDes.pt versão 1.2 (Ferreira *et al.*, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média de todas as características das folhas do tomateiro mestiço foram ligeiramente superiores a encontrada para o tomateiro ozeo (Tabela 1). A ampla variabilidade dos dados amostras, superando os 17% para todas as características é fundamental para o ajuste da modelagem. Ampla variabilidade das medidas nas folhas de *Stizolobium cinereum* (Cargnelutti Filho *et al.*, 2018), *Acacia mangium* Willd. (Oliveira *et al.*, 2019b), *Coffea dewevrei* (Schmidt *et al.*, 2019), também foram observadas na busca do melhor ajuste de equação para estimar a área destas espécies. Estes autores sugerem que a ampla variabilidade dos dados amostrais na geração das equações permite seu uso em folhas de diferentes tamanhos, além de vários períodos de desenvolvimento do ciclo da cultura.

Além disso, a utilização de um número elevado de folhas compostas (350 de cada cultivar) obtidas a partir de mudas inteiras, contemplando folhas de diferentes partes da planta e com estádios de desenvolvimento distintos, com formato e dimensões variadas, permite dizer que esta é uma amostra representativa da população (Cargnelutti Filho *et al.*, 2018). Na Tabela 2, note que entre as seis equações ajustadas, apenas a de modelo potência gerada a partir da multiplicação do comprimento com a largura (CL) apresentou similaridade para os parâmetros $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ entre as duas cultivares através da análise de covariância pelo teste t de student (p<0,05). Desta forma, foi possível ajustar um único modelo para prever a área das cultivares de tomateiro mestiço e ozeo de forma conjunta.

Tabela 1. Estatística descritiva com valor mínimo, máximo, médio, amplitude e coeficiente de variação (CV) das variáveis: comprimento (C); largura (L); produto do comprimento com a largura (CL) e área foliar observada (AFO) de folhas de mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) das cultivares mestiço e ozone usadas para a modelagem

Variável	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Amplitude	CV
350 folhas de tomateiro mestiço usadas para a modelagem						
C	cm	2,34	8,23	5,02	5,89	27,08
L	cm	1,54	8,71	5,15	7,17	33,15
CL	cm ²	3,65	65,95	27,92	62,30	53,69
AFO	cm ²	2,01	25,97	11,79	23,96	52,44
350 folhas de tomateiro ozone usadas para a modelagem						
C	cm	1,91	6,07	4,21	4,19	17,68
L	cm	1,38	6,28	4,29	4,90	22,57
CL	cm ²	2,81	36,92	18,61	34,11	34,66
AFO	cm ²	1,61	15,44	8,13	13,83	31,43

Tabela 2. Análise de covariância dos coeficientes linear ($\hat{\beta}_0$) e coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$) das equações de modelo linear de primeiro grau e potencia ajustadas com a área foliar observada (AFO) em função do comprimento (C) e da largura (L) de folhas de mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) das cultivares mestiço e ozone usadas para a modelagem

Modelo	Cultivar	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	R ²	$\hat{\beta}_0^*$	$\hat{\beta}_1^*$
AFE = $\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 C$	Mestiço	-9,75159	4,28827	0,8903	<0,05	<0,05
	Ozone	-4,76573	3,06655	0,7955		
AFE = $\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 L$	Mestiço	-5,39878	3,33469	0,8497	<0,05	<0,05
	Ozone	-2,13087	2,38885	0,8208		
AFE = $\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 CL$	Mestiço	0,675714	0,397954	0,9318	0,057	<0,05
	Ozone	1,164073	0,374646	0,8927		
AFE = $\hat{\beta}_0(C)^{\hat{\beta}_1}$	Mestiço	0,5550	1,8610	0,8830	<0,05	<0,05
	Ozone	0,8519	1,5626	0,7695		
AFE = $\hat{\beta}_0(L)^{\hat{\beta}_1}$	Mestiço	0,8360	1,5825	0,8605	<0,05	<0,05
	Ozone	1,2039	1,3036	0,8174		
AFE = $\hat{\beta}_0(CL)^{\hat{\beta}_1}$	Mestiço	0,5300	0,9343	0,9321	0,119	0,123
	Ozone	0,7434	0,8222	0,8970		

*Valores maior de 0,05 indicadiferença não significativa para os parâmetros $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ entre as duas cultivares através da análise de covariância pelo teste *t* de Student

Tabela 3. Equação de modelo potência utilizando a área foliar observada (AFO) em função do produto do comprimento com a largura (CL) e seu respectivo coeficiente de determinação (R²) para estimar a área de folhas de mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) cultivares mestiço e ozone de forma conjunta

Modelo	Equação	R ²
Potência	AFE = 0,5499(CL) ^{0,9233}	0,9357

Tabela 4. Coeficiente linear ($\hat{\beta}_0$), coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$) e coeficiente de determinação (R²), obtidos das equações com ajuste linear de primeiro grau entre a área foliar estimada (AFE) pelo produto do comprimento com a largura (LW) e a área foliar observada (AFO) de folhas de mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) cultivares mestiço e ozone utilizadas para validação, além do erro médio (E), erro absoluto do erro (EAM), raiz quadrada médio do erro (RQME) e índice d de Willmott

Modelo	Variável	$\hat{\beta}_0^{(1)}$	$\hat{\beta}_1^{(2)}$	R ²	E	EAM	RQME	d
Potencia	CL	0,32520 ^{ns}	0,97871 ^{ns}	0,9346	0,1257	0,9545	1,3493	0,9829

⁽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

O ajuste de modelo potência que estime a área foliar com os dados conjuntos de cultivares de tomateiro mestiço e ozone está representa da Tabela 3. Esse modelo apresentou coeficiente de determinação (R²) maior que 0,90, sendo esse valor considerado adequado por indicar boa relação entre as variáveis analisada (Maldaner *et al.*, 2009). Apesar do aumento do tempo gasto para a obtenção de duas variáveis (C e L) os modelos ajustados a partir do produto da multiplicação destas variáveis são mais adequados na estimativa da área foliar (Aquino *et al.*, 2011). Esses modelos são notoriamente mais citados na literatura como mais precisos para diversas espécies como *Jatropha curcas* (Pompelli *et al.*, 2012), *Coffea canephora* (Schmidt *et al.*, 2015), *Crotalaria juncea* (Carvalho *et al.*, 2017), *Acacia mangium* Willd. (Oliveira *et al.*, 2019b) e *Canavalia rosea* (Pinheiro *et al.*, 2019). Além disso, o modelo linear simples ajustado entre AFE e AFO apresentou coeficiente linear ($\hat{\beta}_0$) estatisticamente iguais a

zero e coeficiente angular ($\hat{\beta}_1$) estatisticamente igual a um. Isso indica, que quando a área foliar observada for zero, a área das folhas estimada pelo modelo será estatisticamente igual a zero e a medida que a área foliar observada aumentar em 1 cm², o modelo irá acrescentar 1 cm² nas estimativa da área foliar. Desta forma, esse modelo possibilita predizer com confiabilidade a área foliar (Toebe *et al.*, 2019). Esta equação, também apresentou bons valores do erro médio (E), erro absoluto médio (EAM), raiz quadrada média do erro (RQME) e índice d de Willmott, o que possibilitou sua seleção. Assim, a regressão de modelo potência, representada pela equação AFE = 0,5499(CL)^{0,9233} gerada a partir do produto da multiplicação do comprimento com a largura (CL), cujo comportamento pode ser visto na Fig. 3 é a mais indicada para a estimativa da área de folhas de tomateiro mestiço e ozone de forma conjunta.



Fig. 1. Representação de mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) utilizadas para a modelagem da área foliar

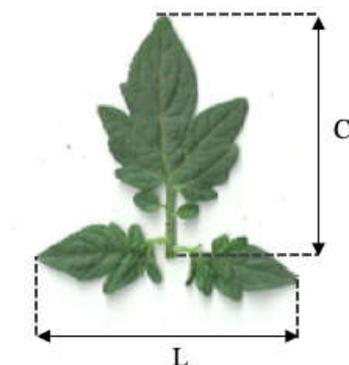


Fig. 2. Representação da medida do comprimento (C) e largura (L) de folhas compostas de mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) utilizadas para a modelagem da área foliar

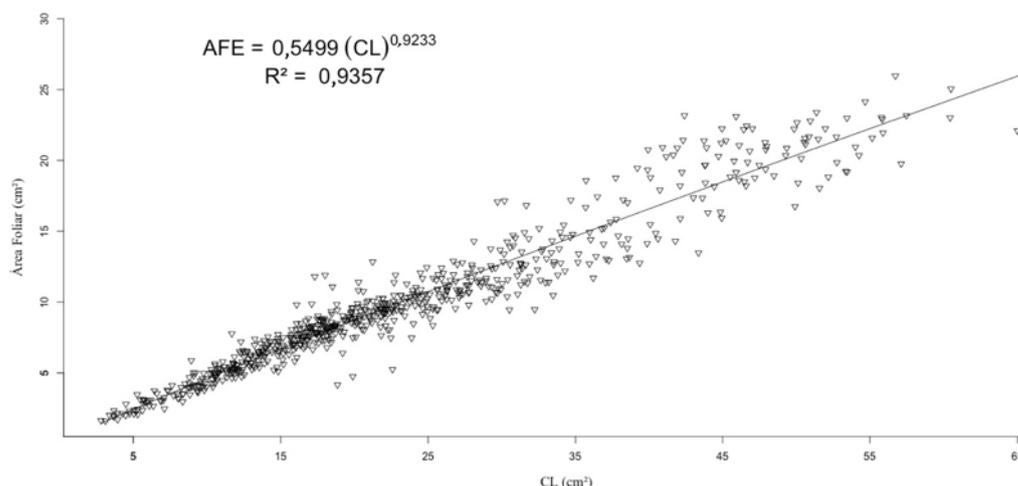


Figura 3. Equação de modelo potência e coeficiente de determinação (R), utilizando a área foliar observada (AFO) como variável dependente, em função do produto do comprimento com a largura (CL) de ajustada para estimar a área de folhas de mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) cultivares mestiço e ozeno

Deve-se ressaltar que esta equação só deve ser utilizada entre os valores estabelecidos neste estudo para de não haja extrapolação dos dados (Levine *et al.*, 2017), desta forma, esse modelo pode ser utilizado para as cultivares ozeno e mestiço, em idade e condições edafoclimáticas semelhantes as deste estudo (Santos *et al.*, 2018), podendo ser utilizada em todo o ciclo da cultura (Oliveira *et al.*, 2019b).

Caso contrário essa equação pode gerar medidas tendenciosas não refletindo a real área das folhas

Conclusão

A estimativa não destrutiva da área foliar das cultivares de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) mestiço e ozeno pode ser

feita de maneira conjunta através da regressão matemática de modelo potência representada pela equação $AFE = 0,5499(CL)^{0,9233}$ gerada a partir do produto da multiplicação do comprimento com a largura.

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.
- Aquino, L.A., Santos Júnior, V. C., Guerra, J. V. S., Costa, M. M. 2011. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. *Bragantia*, 70pp. 832-836.
- Blanco, F. F., Folegatti, M. V. 2005. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Scientia Agricola*, 62, pp. 305-309
- Cargnelutti Filho, A., Toebe, M., Burin, C., Neu, I. M. M., Alves, B. M. 2018. Número de folhas para modelar a área foliar de mucuna cinza por dimensões foliares. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 17, pp. 571-578.
- Carvalho, J. O., Toebe, M., Tartaglio, F. L., Bandeira, C. T., Tambara, A. L. 2017. Leaf area estimation from linear measurements in different ages of *Crotalaria juncea* plants. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89, pp. 1851-1868.
- Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., Nogueira, D. A. 2018. Package 'ExpDes.pt'.
- Levine, DM, Stephan, DF, Szabat, KA 2017. *Estatistic for managers using Microsoft Excel: global edition. (8th ed.)* London: Person. pp. 728.
- Maldaner, I.C., Heldwein, A.B., Loose, L.H., Lucas, D.D.P., Guse, F.I.; Bertoluzzi, M.P. 2009. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. *Ciência Rural*, 39, pp.1356-1361
- Monteiro, C.D., Balbi, M.E., Miguel, O.G., Penteadó, P.T.P.S., Haracemiv, S.M.C. 2008. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate "tipo italiano". *Revista Alimentos e Nutrição*, 19, pp. 25-31.
- Oliveira, V. S., Santos, K.T.H., Pinheiro, A.P.B., Santos, G.P., Santos, J.S.H., Chisté, H., Schmildt, O., Arantes, S.D., Czepak, M.P., Fernandes, A.A., Schmildt, E.R. 2019a. Modeling of the Leaf Area of *Maytenus obtusifolia* Mart. from Scanned Images. *Agricultural Sciences*, 10, pp. 796-806.
- Oliveira, V.S., Galote, J.K.B., Damaceno, I.V., Furtado, N.S., Santos, K.T.H., Santos, J.S.H., Santos, G.P., Chisté, H., Schmildt, O., Czepak, M.P., Arantes, S.D., Vitória, E.L., Schmildt, E.R. 2019b. Estimation of Single Leaf Area of *Acacia mangium* Willd. *International Journal of Plant & Soil Science*. 28, pp. 1-7.
- Pinheiro, A. P. B., Oliveira, V. S., Santos, K. T. H., Santos, J. S. H., Santos, G. P., Silva, J. V. G., Jardim, A. S., Longue, L. L., Nunes, S. F., Azeredo, A. L. R., Pires, F. R., Fernandes, A. A., Schmildt, O., Czepak, M. P., Schmildt, E. R. 2019. Estimation leaf area by composite leaves of *canavalia rosea* seedlings through linear dimensions from last leaflet. *Journal of Agricultural Science*. 11, pp. 299-308.
- Pompelli, M. F., Antunes, W. C., Ferreira D. T. R. G., Cavalcante, P. G. S., Wanderley filho, H. C. L., Endres, L. 2012. Allometric models for non-destructive leaf area estimation of *Jatropha curcas*. *Biomass and Bioenergy*, 36, pp. 77-85.
- R Core Team. 2019. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Santos, R. O., Soares, R. N., Pimentel, M.P.Q., Abreu, J. C., Lima, R. B., Silva, B. M. S. 2018. Modeling the leaf area of *Ormosia paraenses* Ducke by statistical models and artificial neural networks. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78, pp. 511-520.
- Schindelin, J., Rueden, C.T., Hiner, M.C., Eliceiri, K.W. 2015. The Image J Ecosystem: An Open Platform for Biomedical Image Analysis. *Molecular Reproduction and Development*, 82, pp. 518-529.
- Schmildt, E. R., Amaral, J. A. T., Santos, J. S., Schmildt, O. 2015. Allometric model for estimating leaf area in clonal varieties of coffee (*Coffea canephora*). *Revista Ciência Agronômica*, 46, pp. 740-748.
- Schmildt, O., Santana, E. N., Oliveira, V.S., Gouvea, R. R., Souza, L. C., Santos, A. N. M. R., Silva, S. M. S., Santos, K. T. H., Santos, G. P., Fanton, C. J., Arantes, S. D., Schmildt, E. R. 2019. Estimation of Leaf Area by Linear Dimensions in *Coffea dewevrei*. *International Journal of Plant & Soil Science*. 28, pp. 1-8.
- Severino, L. S., Cardoso, G. D., Vale, L. S., Santos, J. W. 2004. Método para determinação da área foliar da mamoneira. *Rev. Oleag. Fibr.*, 8, pp. 753-762.
- Toebe, M., Cargnelutti Filho, A., Loose, L.H., Heldwein, A.B., Zanon, A.J. 2012. Leaf area of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) according to leaf dimensions. *Semina*. 33, pp. 2491-2500
- Toebe, M., Souza, R.R., Mello, A.C., Melo, P.J., Segatto, A., Castanha, A.C. 2019. Leaf area estimation of squash 'Brasileirinha' by leaf dimensions. *Ciência Rural*. 49, pp. 1-11.
- Willmott, C.J. 1981. On the Validation of Models. *Physical Geography*, 2, pp. 184-194.
- Zhang, L.; Liu X. S. 2010. Non-destructive leaf-area estimation for *Berberia purpurascens* across timberline ecotone, southeast Tibet. *Annales Botanici Fennici*, 47, pp. 346-352.
