

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 18 (1)

January/February 2025

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/18120252014>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/2014>



Modelo para estimação da área foliar da cagaiteira por meio de um algoritmo genético

Model for estimating cagaiteira leaf area using a genetic algorithm

Corresponding author

Alejandra Semiramis Albuquerque

Universidade Federal de São João del-Rei

alejandra@ufsj.edu.br

Leandro Mendes de Souza

Universidade Federal de São João del-Rei

Kassilio José Guedes

Universidade Federal de São João del-Rei

Ana Paula Santos Xavier Ferreira

Universidade Federal de São João del-Rei

Resumo. A estimativa da área foliar da cagaiteira é importante por permitir a obtenção de indicadores do crescimento e do desenvolvimento da planta, tais como a intensidade da transpiração, a taxa assimilatória líquida, a área foliar específica e o índice de área foliar, possibilitando a predição da produtividade da cultura. Assim, objetivou-se desenvolver e testar um modelo capaz de estimar a área foliar da cagaiteira utilizando-se um algoritmo genético. Foi possível ajustar o modelo com o método de otimização estocástico proposto. O erro médio encontrado para o conjunto de dados testado foi de aproximadamente $0,218\text{cm}^2$ em um espaço amostral cuja área foliar média foi de $5,370\text{cm}^2$. A informação gerada permite a aplicação do modelo para a estimação da área foliar da cagaiteira em estudos futuros.

Palavras-chave: *Eugenia dysenterica*, inteligência artificial, otimização.

Abstract. The estimation of cagaiteira leaf area is important to have plant development and growth indicators, such as transpiration intensity, net assimilation rate, leaf area ratio, specific leaf area and leaf area index, which allow predicting crop productivity. Thus, the objective of this study was to develop and test a model capable of estimating the cagaiteira leaf area using a genetic algorithm. The model was adjusted with the proposed stochastic optimization method. The mean error found for the tested dataset was approximately 0.218 mm^2 in sample space with mean leaf area of 5.370cm^2 . The information generated allows applying the model to estimate cagaiteira leaf area in future studies.

Keywords: *Eugenia dysenterica*, artificial intelligence, optimization.

Introdução

Algumas espécies frutíferas nativas do Cerrado brasileiro são promissoras para a domesticação e vêm enfrentando pressões crescentes devido à perda de habitat, à degradação ambiental e à exploração desordenada (Chaves et al., 2023). A maioria delas é usada pela população local, embora haja pouco ou nenhum cultivo comercial (Aguilar et al., 2009). Dentre essas espécies que apresentam potencial de uso na

produção agrícola, a cagaiteira (*Eugenia dysenterica*) se destaca pela utilização dos frutos, que se constituem em importantes fontes de fibras, proteínas e vitaminas do complexo B, além de apresentarem aroma e sabor atrativos e peculiares (Morais Cardoso et al., 2011; Oliveira, 2011). Além do aproveitamento dos frutos, a planta tem valor como ornamental, tanífera, melífera e corticeira (Campos Telles et al., 2001).

A folha é uma parte importante da planta por determinar a taxa fotossintética, o acúmulo de matéria seca e o crescimento das culturas, sendo a área foliar um dos principais parâmetros para se avaliar o desenvolvimento das plantas (Schmidt et al., 2014).

As estimativas da área foliar podem ser obtidas de forma destrutiva e não destrutiva, de forma direta ou indireta. Por ser um método de baixo custo, com alta precisão e de rápida avaliação, o método indireto e não destrutivo é o mais utilizado para se estimar a área foliar em culturas agrícolas, possibilitando sucessivas avaliações na mesma planta (Toebe et al., 2012; Azevedo et al., 2019), o que é crucial para os programas de melhoramento genético.

Uma das maneiras de se estimar a área foliar é por meio de técnicas de inteligência artificial (Azevedo et al., 2015), destacando-se os algoritmos genéticos (AGs) pela capacidade de resolução de problemas de otimização. Os algoritmos genéticos são técnicas computacionais, inspiradas na genética e no princípio da evolução das espécies de Darwin, que têm a capacidade de determinar a melhor resposta para o problema. Os algoritmos atuam na otimização dos coeficientes do modelo matemático proposto, com vistas a que os padrões de entrada correspondam aos padrões de saída (Pinto et al., 2022).

Diante dessas perspectivas, objetivou-se desenvolver e testar um modelo capaz de estimar a área foliar da cagaiteira utilizando-se um algoritmo genético.

Material e Métodos

Foram colhidas 886 folhas em diferentes posições das plantas e em diferentes fases de desenvolvimento da cagaiteira (muda, planta jovem e planta adulta). Cada folha foi digitalizada em scanner e foram mensurados o comprimento e a maior largura do limbo, com régua graduada. A área foliar foi obtida a partir das digitalizações com auxílio do software Image Pro Plus 4.5.

O modelo matemático proposto levou em consideração as medições do comprimento e da maior largura da folha, sendo esses valores os padrões de entrada. A saída do modelo foi a área foliar obtida a partir das digitalizações (padrão de saída). Foi proposto o seguinte modelo:

$$A = M \times C^n \times L^p \text{eq. 1}$$

Sendo:

A: área foliar (cm²);

C: comprimento da folha (cm);

L: largura da folha (cm);

M: coeficiente de ajuste de proporcionalidade;

n: expoente de ajuste de comprimento;

p: expoente de ajuste de largura.

Os valores de M, n e p foram ajustados com o algoritmo genético de forma a reduzir o erro no cálculo da área foliar. O ajuste dos valores das

variáveis foi por meio de um processo em que o modelo “aprendeu” como calcular a área a partir dos valores do comprimento e da maior largura da folha. Além da etapa de aprendizagem, foi realizado o processo de teste de desempenho, que é uma avaliação estatística do funcionamento do modelo. Essa etapa consistiu na comparação entre o resultado real do problema e o resultado obtido por meio dos dados fornecidos ao modelo na etapa de teste. Após a realização das etapas de aprendizagem e de teste de desempenho, a informação aprendida pôde ser generalizada (Haykin, 2001).

Foi utilizado um algoritmo genético com 10 indivíduos, codificação binária, taxa de mutação igual a 0,1 e 5000 gerações. Os elementos de entrada dos padrões foram a maior largura e o comprimento da folha medido na nervura central. Os valores de saída dos padrões foram as áreas de cada folha, obtidas pelo software Image Pro Plus 4.5. No problema, a função objetivo, que foi minimizada, foi o erro médio da área calculada quando comparada à área real (equação 2). Após o ajuste, utilizou-se o conjunto de dados para verificar o quão confiável e generalista foi o modelo, avaliando-se sua eficiência, por meio da equação 2 e do cálculo do desvio padrão do erro.

$$Em = \sum_{i=1}^n \frac{|S_C(i) - S_R(i)|}{n} \text{eq.2}$$

Sendo:

Em: erro médio da validação (cm²);

S_C(i): saída calculada para o padrão i (mm²);

S_R(i): saída real para o padrão i (mm²);

n: número de padrões usados.

Resultados e discussão

O erro médio do modelo, obtido pela equação 2, foi de aproximadamente 0,218 cm² para o conjunto de dados analisados, cuja área foliar média foi de 5,370 cm². O desvio padrão do erro entre as áreas foi 0,317 cm². Na figura 1 foram comparadas as áreas foliares reais e calculadas, podendo-se observar as pequenas magnitudes do erro médio e do desvio padrão do erro, uma vez que as curvas do valor real e do valor calculado das áreas foliares tenderam a se sobrepor. Os valores encontrados para os coeficientes foram M= 11,920, n=0,992 e p=0,063, sendo o modelo estabelecido na equação 3.

$$A = 11,920 \times C^{0,992} \times L^{0,063} \text{ eq. 3}$$

Como nesse modelo, vários autores também têm estimado a área foliar a partir de dimensões lineares das folhas de diversas culturas (Tavares Júnior et al., 2002; Blanco & Folegatti, 2003; Lopes et al., 2007; Maldaner et al., 2009; Toebe et al., 2010; Leite et al., 2017), inclusive para mudas de cagaiteira com base em análise de regressão (Oga & Fonseca, 1994), mas não existe na literatura trabalhos dessa natureza para a cagaiteira em diferentes fases de desenvolvimento.

De acordo com Azevedo et al. (2017), a eficiência da predição por meio de técnicas de inteligência artificial depende da variação do formato da folha (comprimento/largura) e dos materiais genéticos utilizados no ajuste. Segundo Queiroga et al. (2003), o formato da folha e a sua variação durante o crescimento das plantas é determinante para o desenvolvimento de modelos estimadores de alta precisão. Assim, a avaliação de plantas em diferentes estádios de desenvolvimento nesse trabalho contribuiu para que o modelo ajustado seja generalista para vários formatos e dimensões da folha de cagaiteira. Além disso, Monteiro et al. (2005), trabalhando com algodoeiro, obtiveram três modelos distintos, um para cada tamanho de

folha, e concluíram que não há necessidade da utilização desses diferentes modelos devido à pequena melhora obtida na estimativa da área foliar. Maldaner et al. (2009) também reportam que equações únicas são calibradas para diferentes tamanhos e idade das folhas com ótima precisão.

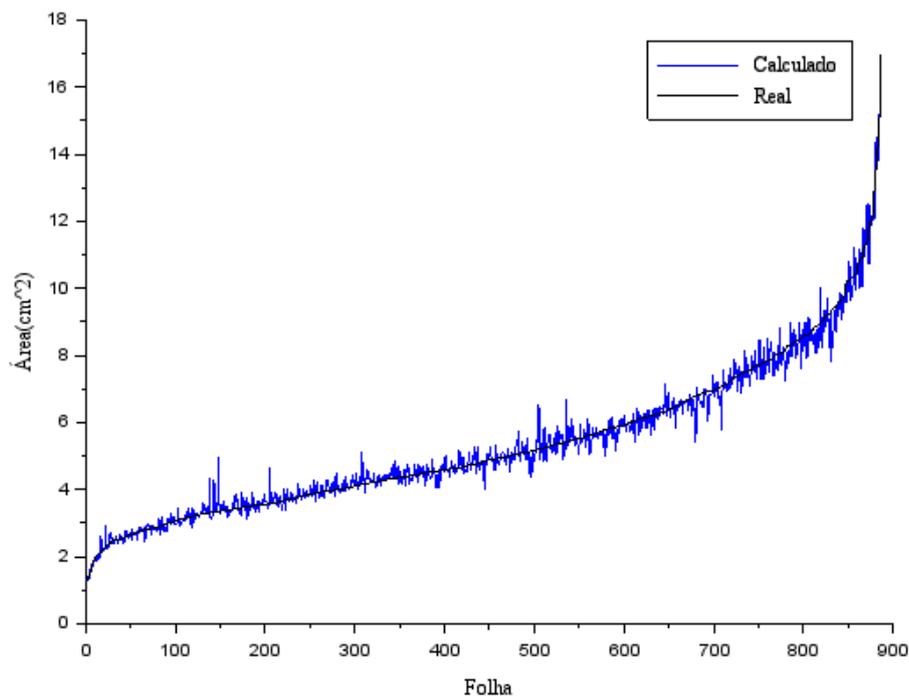


Figura 1. Área foliar real e calculada de cagaiteira.

Conclusão

Demonstrou-se que é possível estimar a área foliar da cagaiteira por meio do modelo obtido, com erro médio de aproximadamente 0,218 cm² para o conjunto de dados analisados, cuja área foliar média foi 5,370cm². O erro médio foi de aproximadamente 4,1% do valor da área média das folhas, evidenciando que o modelo obtido possibilita a obtenção de estimativas precisas da área foliar da cagaiteira, independente da fase de desenvolvimento da planta. A informação gerada permite sua aplicação para se estimar a área foliar da cagaiteira em pesquisas futuras.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Universidade Federal de São João del-Rei/PROPE pela oportunidade da bolsa.

Referências

Aguiar, A.V.; Vencovsky, R.; Chaves, L.J.; Moura, M.F.; Morais, L.K. Genetics and expected selection gain for growth traits in *Eugenia dysenterica* DC. populations. *Bragantia*, v. 68 p.629-637, 2009.

- Azevedo, A. M.; Andrade Júnior, V.C.; Pedrosa, C.E.; Oliveira C.M.; Dornas, M.F.S.; Cruz, C.D.; Valadares, N.R. Application of artificial neural networks in indirect selection: a case study on the breeding of lettuce. *Bragantia*, v.74, n. 4, p.387-393, 2015.
- Azevedo, A.M.; Andrade Júnior, V.C.; Sousa Júnior, A.S.; Santos, A.A.; Cruz, C.D.; Pereira, S.L.; Oliveira, A.J.M. Eficiência da estimação da área foliar de couve por meio de redes neurais artificiais. *Horticultura Brasileira*, v.35, n.1, p.14-19, 2017.
- Azevedo, A.M.; Silveira, V.A.; Oliveira, C.M.; Pedrosa, C.E.; Lemos, V.T.; Valadares, N.; Guimarães, A.G. Predição da área foliar em acerola por redes neurais artificiais e regressão múltipla. *Revista Agrária Acadêmica*, v.2, n.3, p. 96-105, 2019.
- Blanco, F. F.; Folegatti, M. V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira*, v. 21, p. 666-669, 2003.
- Campos Telles, M.P.; Silva, R.S.M.; Chaves, L.J.; Coelho, A.S.G.; Diniz Filho, J.A.F. Divergência entre subpopulações de cagaiteira (*Eugenia dysenterica*) em resposta a padrões edáficos e distribuição espacial. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, p. 1387-1394, 2001.
- Chaves, M.E.D.; Zu Ermgassen Mataveli, G.; Aragão, E.A.; Adami, R.B.; Sanches, M.; Ieda, D. Reverse the Cerrado's neglect. *Nature Sustainability*, v.6, n.9, p. 1028-1029, 2023.
- Haykin, S. *Redes neurais: princípios e prática*. Porto Alegre: Bookman, 2001. 898p.
- Leite, M.L.M.V.; Lucena, L.R.R.; Sá Júnior, E.H.; Cruz, M.G. Estimativa da área foliar em *Urochloa ambicensis* por dimensões lineares. *Revista Agropecuária Técnica*, v.38, n.1, p.9-16, 2017.
- Lopes, S. J.; Brum, B.; Santos, V. J.; Fagan, E. B.; Luz, G. L.; Medeiros, S. L. P. Estimativa da área foliar de meloeiro em diferentes estádios fenológicos por fotos digitais. *Ciência Rural*, v. 37, n.4, p. 1153-1156, 2007.
- Maldaner, I.C.; Heldwein, A.B.; Loose, L.H.; Lucas, D.D.P.; Guse, F.I.; Bortoluzzi, M.P. Modelos de determinação não destrutiva da área foliar em girassol. *Ciência Rural*, v.39, n.5, p.1356-1361, 2009.
- Monteiro, J.E.B.A.; Sentelhas, P.C.; Chiavegato, E.J.; Guiselini, C.; Santiago, A.V.; Prael, A. Estimativa da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. *Bragantia*, v.64, n.1, p.15-24, 2005.
- Morais Cardoso, L. de; Martino, H.S.D.; Moreira, A.V.B.;Ribeiro,S.M.R.; Pinheiro Sant'ana, H.M. Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: Physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. *Food Research International*, v.44, p.2151 – 2154, 2011.
- Oga, F.M.; Fonseca, C.E.L. Um método rápido para estimar área foliar em mudas de cagaiteira (*Eugenia dysenterica* D.C.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.29, p. 571-577, 1994.
- Oliveira, D.L. Viabilidade econômica de algumas espécies medicinais nativas do Cerrado. *Estudos*, v.38, p.301 – 332, 2011.
- Pinto, A.R.F.; Martarelli, N.J.; Nagano, M.S. Algoritmo genético: principais gaps, trade-offs e perspectivas para futuras pesquisas. *Trends in Computational and Applied Mathematics*, v.23, n.3, p.413-438, 2022.
- Queiroga, J.L.; Romano, E.D.U.; Souza, J.R.P.; Miglioranza, E. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. *Horticultura Brasileira*, v.21, n.1, p. 64-68, 2003.
- Tavares Junior, J. E.; Favarin, J. L.; Dourado Neto, D.; Maia, A. De H. N.; Fazuoli, L. C.; Bernardes, M. S. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. *Bragantia*, v.61, p.199-203, 2002.
- Toebe, M.; Brum, B.; Lopes, S. J.; Cargnelutti Filho, A.; Silveira, T. R. Estimativa da área foliar de *Crambe byssinica* por discos foliares e por fotos digitais. *Ciência Rural*, v.40, n.2, p. 445- 448, 2010.
- Toebe, M.; Cargnelutti Filho, A.; Loose, L.H.; Heldwein, A.B., Zanon, A.J. Área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de dimensões foliares. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, n.1, p. 2491-2500, 2012.
- Schmidt, E. R.; Amaral, J.A.T.; Schmidt, O.; Santos, J.S. Análise comparativa de equações para estimativa da área foliar em cafeeiros. *Coffee Science*, v.9, n.2, p. 155-167, 2014.