

Estimativa da Área Foliar da Alface Repicada Por Meio de Redes Neurais Artificiais

Sabrina D. Oliveira, Frank F. Capuchinho, Diogo S. Sousa,
Gustavo H. B. Pinheiro, Carlos E. B. Barbosa, Sueli M. F.
Alves & Francisco R. Melo

As redes neurais artificiais (RNA's) são modelos matemáticos e existem diversas aplicações desta ferramenta na agricultura. Objetivou-se com este estudo avaliar a eficiência da RNA na estimativa da área foliar da alface. Utilizou-se folhas de alface e para o desenvolvimento da MLP foram inseridas como variáveis de entrada a largura e o comprimento das folhas determinados utilizando uma régua, e como saída a área foliar estimada pelo software ImageJ. Para comparação dos dados estimados e observados foram calculados indicadores estatísticos. A rede mostrou-se um método rápido e promissor na estimativa da área foliar para a cultura da alface.

Palavras-chave: *imagej; neurônios artificiais; lactuca sativa.*

Artificial neural networks (ANN's) are mathematical models and there are several applications of this tool in agriculture. The objective of this study was to evaluate the efficiency of ANN in estimating the leaf area of lettuce. Lettuce leaves were used and for the development of the MLP, the width and length of the leaves determined using a ruler were inserted as input variables, and the leaf area estimated by the ImageJ software as output. To compare the estimated and observed data, statistical indicators were calculated. The net proved to be a fast and promising method for estimating leaf area for lettuce.

Keywords: *imagej; artificial neurons; lactuca sativa.*

Introdução

A *Lactuca sativa* L. popularmente conhecida como alface, é uma hortaliça folhosa difundida no Brasil, que gera grande importância econômica para o país, devido apresentar em sua composição elevados teores de vitaminas, ser rica em fibras e sais minerais.¹

A cultura apresenta uma vasta variedade, sendo encontrada alface de folhas lisas ou crespas. A folha é responsável pelo processo respiratório e a compreensão da superfície foliar pode auxiliar no manejo da cultura, sendo possível observar a demanda hídrica da mesma e calcular o índice de área foliar.² De acordo com MEIRA e colaboradores³ a área foliar (AF) é uma importante aliada do monitoramento do desenvolvimento da planta e produtividade das culturas.

Para a estimativa da AF, existem diversas metodologias que são dívidas em métodos diretos e indiretos, destrutivos ou não destrutivos. Na mensuração por meio de métodos diretos são utilizados equipamentos de custo elevado que possibilitam a determinação da AF diretamente na planta, sem que mesma seja destruída.⁴ Já a determinação indireta pode ser realizada por meio de dimensões lineares, onde modelos são ajustados e a determinação é distinta para cada cultura.⁵

Os métodos destrutivos são aqueles onde ocorre a destruição do tecido vegetal e os não destrutivos utilizam modelos matemáticos, conjuntos complexos de medidas, e a estimativa pode ser realizada também por meio de análise digital de imagens, com o auxílio de softwares, em que a desvantagem relacionada a esses métodos está em sua calibração, visto que se não calibrados de forma correta podem ser geradas mensurações imprecisas.⁶

Como alternativa aos métodos convencionais aplicados para a estimativa da AF, as redes neurais artificiais (RNAs) vem se destacando como um método econômico e promissor na resolução de diversos problemas agronômicos. As RNA's simulam o funcionamento dos neurônios humanos e apresentam eficiência na resolução de sistemas não lineares complexos.⁷

Estudos vem sendo realizados com o intuito de comprovar a eficiência desta ferramenta na agricultura. AZEVEDO e colaboradores⁸ utilizou a RNA para predizer a AF da aceroleira, com o intuito de verificar a eficiência da metodologia em comparação com modelos de regressão múltipla e observou resultados satisfatórios. O mesmo autor testou o uso da RNA na estimativa da área foliar da couve.⁸ ROCHA e colaboradores⁹ aplicou a técnica com o objetivo de obter estimativas do índice de área foliar da cultura do tomate industrial, no qual o autor concluiu que sistemas computacionais inteligentes possibilitam obter as estimativas desejadas.

Com isso, este trabalho teve como objetivo verificar a eficiência das redes neurais artificiais na estimativa da área foliar da cultura da alface.

Material e Métodos

Os dados utilizados para a realização deste estudo são oriundos de um experimento realizado na estação experimental da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER). Foram utilizadas 50 folhas de alface repicada, onde foram escolhidas folhas de interesse comercial para determinação dos seguintes parâmetros: largura (L), comprimento (C) e área foliar (AF).

A L e C foram determinados com o auxílio de uma régua graduada, no qual a mensuração foi realizada de forma manual e diretamente na folha. A AF da cultura foi estimada por meio do software ImageJ, que possui livre acesso. Foram separadas e identificadas folhas de interesse comercial, as imagens foram captadas com o auxílio de uma câmera digital, em seguida foram processados e obtidos valores de AF em cm^2 (Figura 1).

Para a preparação e treinamento das redes foi utilizado o software de acesso livre GNU Octave versão 6.4.0. No treinamento foi utilizado o algoritmo de *back-propagation*, com topologia do tipo *Perceptron* de Múltiplas Camadas (MLP) para a aprendizagem das RNAs. Para o treinamento o conjunto de dados foi separado em dois tipos de variáveis, variável de saída e entrada (Tabela 1):¹⁰

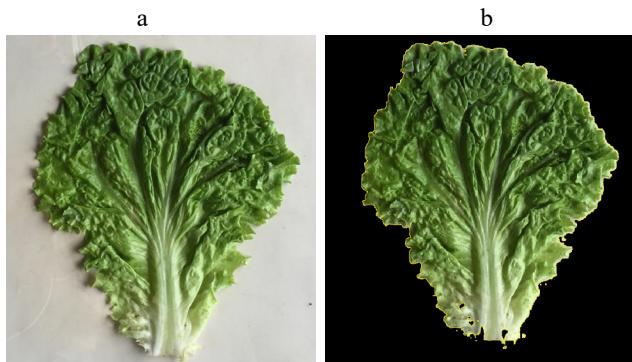


Figura 1. a) Imagem capturada na coleta de dados. b) Imagem gerada a partir do software ImageJ.

Tabela 1. Variáveis inseridas na camada de entrada e camada de saída da RNA na fase de treinamento.

Variáveis	
Entrada	Saída
L (cm)	AF ImageJ (cm ²)
C (cm)	

L igual a largura do limbo foliar; C igual ao comprimento; AF igual área

De acordo com recomendação de Alves¹¹ os dados foram separados de forma aleatória em três conjuntos:

- Conjunto de treinamento foi composto por 65% do total de dados (33 folhas);
- Conjunto de validação foi composto por 25% do total de dados (12 folhas);
- Conjunto de teste foi composto por 10% do total de dados (5 folhas).

Com o intuito de garantir a equalização dos dados, as variáveis foram normalizadas em uma faixa de 0 e 1 de acordo com a Equação 1:

$$V_n = 1 + \frac{V_{obs} - V_{max}}{V_{max} - V_{min}} \quad (1)$$

Em que: V_n igual valor normalizado, adimensional; V_{obs} igual valor observado a ser normalizado; V_{min} igual valor mínimo da amostra; V_{max} igual valor máximo da amostra.

O número máximo de épocas de treinamento foi arbitrado como 10000, o EQM (erro quadrático médio) mínimo para parada foi estabelecido como 1.0x10-4. Foram testadas todas as combinações possíveis de rede e o critério de seleção da melhor rede foi o menor valor do Erro Quadrático Médio (EQM) encontrado nas RNAs.

A função hiperbólica dada por $T_{ansig} = 2/[1 + \exp(-2x) - 1]$ foi aplicada como função de ativação para os neurônios das camadas escondidas e para a camada de saída foi utilizada a função linear dada por. lin (x) igual X

Posteriormente, os resultados estimados pela RNA foram desnormalizados retornando a sua grandeza original, para que ocorresse a comparação dos resultados estimados pela RNA, conforme Equação 2:

$$V_{dn} = V_{max} + (V_n - 1) * (V_{max} - V_{min}) \quad (2)$$

Em que: V_{dn} igual resultado desnormalizado; V_n igual valor normalizado; V_{min} igual valor mínimo da amostra; V_{max} igual valor máximo da amostra.

Os valores obtidos com o auxílio do software ImageJ de AF foram comparados aos valores estimados pela RNA, em que a comparação foi realizada com o intuito de verificar o índice de assertividade da rede. Para tal comparação foram calculados os seguintes indicadores:

- Coeficiente de correlação (r) 12, conforme Equação 3:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2][\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]}} \quad (3)$$

Em que: r igual coeficiente de correlação de Pearson; xi igual valores estimados; yi igual valores observados; x igual média dos valores estimados; y igual média dos valores observados; n igual quantidade de padrões de teste.

- Coeficiente de determinação (R^2), conforme Equação 4:

$$R^2 = r^2 \quad (4)$$

Em que: R^2 igual a coeficiente de determinação; r igual a coeficiente de correlação de Pearson.

- Índice de concordância (c),¹³ conforme Equação 5:

$$c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \quad (5)$$

Em que: c igual índice de concordância de Willmont; x_i igual valores estimados; y_i igual valores observados; x igual média dos valores estimados; y igual média dos valores observados; n igual quantidade de padrões de teste.

- Índice de desempenho (id) (Equação 6):

$$id = r \cdot c \quad (6)$$

Em que: Id igual índice de desempenho; r igual coeficiente de correlação de Pearson; c igual índice de concordância de Willmont.

O Id da RNA foi classificado de acordo com Camargo e Sentelhas (1997),¹⁴ conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Análise do índice de desempenho da RNA.

Valor de id	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 - 0,85	Muito bom
0,66 - 0,75	Bom
0,61 - 0,65	Mediano
0,51 - 0,50	Sofrível
0,41 - 0,50	Mau
< 0,41	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997)

A comparação dos valores médios determinados pelo software ImageJ e os valores estimados pela RNA foi realizada aplicando o Teste-t student.

Resultados e Discussão

Foi possível estimar valores médios de AF por meio da rede desenvolvida. Com o intuito de verificar a assertividade da RNA foram calculados os seguintes indicadores estatísticos: Coeficiente de correlação (r), índice de concordância de Willmont (c), índice de desempenho (id) (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (R^2), índice de concordância (c) e índice de desempenho (id), obtidos na comparação entre os dados de área foliar determinados experimentalmente (in locu) e estimados pela RNA.

Indicadores			
r	c	Id	Classificação Id
0,8161	0,9971	0,8137	Muito bom

AF- área foliar (cm^2); Desempenho: Critérios de Classificação de Camargo e Sentelhas (1997).

Em relação ao coeficiente de correlação (r), foi observado um valor de $r = 0,8161$, apresentando uma elevada associação entre os valores determinados pelo ImageJ e os valores estimados pela RNA (Tabela 3), visto que de acordo com MARTINS e colaboradores (2016)¹⁵ quanto mais próximo de 1 melhor é o grau de associação, fato que confirma a capacidade da RNA em obter as estimativas desejadas. AZEVEDO e colaboradores (2019)⁸ estudando a aplicabilidade das RNAs em predizer a AF da aceroleira encontrou valores superiores ($r = 0,9927$) aos encontrados neste estudo, comprovando a eficiência da RNA em comparação com modelos de regressão múltipla.

Com o intuito de avaliar o grau de exatidão entre os dados observados e os estimados pela RNA, avaliou-se o índice de concordância. Esta medida varia de 0 (nenhuma concordância) a 1 (concordância perfeita). Foi encontrado um valor de c de 0,9971, muito próximo de 1, constatando-se uma concordância forte entre os valores estimados e determinados pelo software (Tabela 3). SOARES e colaboradores (2015)¹⁶ observou uma concordância forte em seu estudo avaliando o desempenho de redes neurais artificiais na predição da produtividade da cultura do milho.

Por meio da relação entre o coeficiente de correlação e o índice de concordância foi possível avaliar o índice de desempenho das estimativas e observou-se um id de 0,8137 (Tabela 3), classificado como muito bom segundo Camargo e Sentelhas (1997).¹⁴

A Figura 2 apresenta a relação entre os valores observados obtidos com o auxílio do software ImageJ e os valores estimados através da MLP. Foi observado um coeficiente de determinação (R^2) de 0,6660 indicando que 66,60% da informação da AF da alface observada pode ser explicada

pela AF estimada pela RNA. AZEVEDO e colaboradores (2017)⁷ encontrou valores superiores aos deste estudo ($R^2=0,9643$) analisando a eficiência da MLP em predizer a área foliar da cultura da couve. SOARES e colaboradores (2015)¹⁶ constaram em seu estudo que a RNA com topologia do tipo MLP treinada com algoritmo *backpropagation*, apresentam grande capacidade no desenvolvimento de ferramentas que auxiliem no setor agrícola.

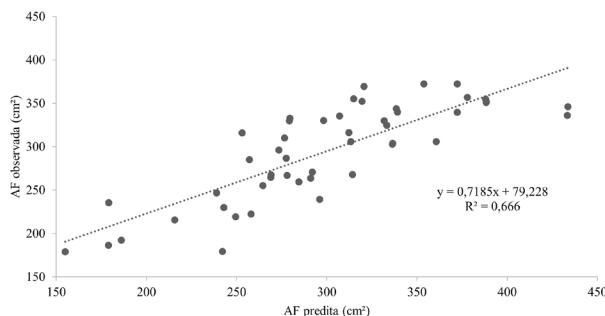


Figura 2. Relação entre os valores de área foliar (AF) observados e estimados pela RNA.

A Tabela 4 apresenta o resultado do Teste-t Student para a comparação entre os valores médios obtidos através do software ImageJ e os valores estimados pela RNA. Observa-se que não houve diferença significativa a 5 % de probabilidade entre os valores médios observados utilizando o software ImageJ com os valores estimados pela RNA desenvolvida, podendo-se afirmar que a rede consegue estimar a AF da cultura da alface.

Tabela 4. Teste-t para os valores médios determinados pelo software ImageJ e valores médios estimados pela RNA.

	Área foliar	
	ImageJ	RNA
Média	298,9967	294,0437
Variância	3831,7207	2969,8170
Observações	50,0000	
gl	49,0000	
p-value	0,6700	

AF: área foliar (cm²); Gl: graus de liberdade; p-value: teste de t-student significativo a 5% de probabilidade.

Conclusões

Foi observada uma correlação acima de 99% comprovando a eficiência da RNA em estimar valores de área foliar da cultura da alface. A RNA mostrou-se um método econômico e promissor para se obter estimativas de área foliar para a cultura da alface, visto que os métodos tradicionais necessitam de equipamentos caros, tempo e podem fornecer mensurações imprecisas quando não calibrados de forma correta.

Referências

- SILVA, C. B. da; SANTOS, M. A. L. dos; SANTOS, D. P. dos; SANTOS, C. G. dos; SANTOS, V. R. dos; SÁ, M. B. de. Productivity of lettuce grown in field and environment protected in response the irrigation blades and saline levels. Research, Society and Development, **2020**, 9, 10, 8549109143.
- COSTA, J. do N.; FERNANDES, R. N.; A. MARIA, M. de; ALMEIDA, C. L. de; LIMA, J. S.; VALNIR JÚNIOR, M. Métodos para estimativa da área foliar em alface. IN: V INOVAGRI International Meeting. QUITO: **2019**.
- MEIRA, L. A.; PEREIRA, L. E. T.; SANTOS, M. E. R.; TECH, A. R. B. USPLleaf: Automatic leaf area determination using a computer vision system. Revista Ciênc. Agron., **2020**, 51, 4, 20207300.
- GUIMARÃES, M. J. M.; COELHO FILHO, M. A.; GOMES JUNIOR, F. de A.; SILVA, M. A. M.; ALVES, C. V. O.; LOPES, I. Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de mandioca. Revista de Ciências Agrarias, **2019**, 62.
- SCHWAB, N. T.; STRECK, N. A.; REHBEIN, A.; RIBEIRO, B. S. M. R.; ULHMANN, L. O.; LANGNER, J. A.; BECKER, C. C. Dimensões lineares da folha e seu uso na determinação do perfil vertical foliar de gladiolo. Bragantia, Campinas, **2014**, 73, 2, (97-105).
- PINHEIRO, F. S.; LYRA, G. B.; ABREU, M. C.; ARTHUT JUNIOR, J. C.; SILVA, L. D. B.; LYRA, G. B.; SANTOS, E. O. Área foliar de mudas de urucum (*Bixa orellana* L.) estimada por diferentes métodos: uma análise comparativa. Ciênc. Florest., **2020**, 30, 3.
- 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 estimativa da área foliar de couve por meio de redes neurais artificiais. Horticultura brasileira, **2017**, 35, 1.
- AZEVEDO, A. M.; SILVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, C. M.; PEDROSA, C. E.; LEMOS, V. T.; VALADARES, N. R.; GUIMARÃES, A. G. Predição da área foliar em acerola por redes neurais e regressão múltipla. Revista Agrária Acadêmica, **2019**, 2, 3, (96-105).

9. ROCHA, I.J.F.; ALVES, G.R.; BARBOSA, C.E.B.; ALVES, S.M.; MELO, F.R. Redes neurais artificiais aplicadas na estimativa do índice de área foliar utilizando imagens de sensoriamento remoto. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, **2022**, 8, 5, (36460-36478).
10. BRAGA, A.P.; CARVALHO, A.P.L.F.; LUDEMRIR, T.B. Redes Neurais Artificiais: Teorias e Aplicações. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., **2014**. 226p.
11. ALVES, G.R. Estimativa da produtividade da soja com redes neurais artificiais 2016. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, **2016**.
12. SCHNEIDER, P.R. Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal. Santa Maria: UFSM/CEPEF, **1998**. 236p.
13. WILLMONT, C.J. On the validation of models. *Physical Geography*, Palm Beach, v.2, n. 2, p.184-194, **1981**.
14. CAMARGO, Â. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, **1997**, 5, 1, (87-97).
15. MARTINS, E. dos R. BINOTI, M. L. M. da S.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; DUTRA, G. C. Configuração de redes neurais artificiais para estimativa do afilamento do fuste de árvores de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciênc. Agrárias*, **2016**, 11, 1, (33-38).
16. SOARES, F. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; RUSS, J. L. Predição da produtividade da cultura do milho utilizando rede neural artificial. *Ciênc. Rural*, Santa, **2015**, 45, 11, (1987-1993).

Sabrina D. Oliveira*, Frank F. Capuchinho, Diogo S. Sousa, Gustavo H. B. Pinheiro, Carlos E. B. Barbosa, Sueli M. F. Alves & Francisco R. Melo

Universidade Estadual de Goiás - Câmpus Central - Sede: CET - Br 153, N° 3105.

*E-mail: sabrina9632oliveira@gmail.com