

COMPARAÇÃO ENTRE DUAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA CLASSIFICAÇÃO DO TEOR DE FÓSFORO FOLIAR EM TOMATES

LEONARDO PINTO DE MAGALHÃES¹, IVAN ARITZ ALDAYA GARDE², RITA DE CÁSSIA DOMINGOS³, FABRÍCIO ROSSI⁴

¹ Doutor, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, leonardo.magalhaes@alumni.usp.br

² Prof. Dr., Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São João da Boa Vista-SP

³ Profa. Dra., Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São João da Boa Vista-SP

⁴ Prof. Associado, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga-SP

Apresentado no

LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 - Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: No Brasil, em função da característica natural dos principais solos, a quantidade de aplicação de fertilizantes fosfatados é alta. Por isso, diagnosticar a quantidade de fósforo (P) absorvida pelas plantas permite um manejo mais eficiente deste nutriente. Dentro deste contexto, a proposta deste trabalho foi aplicar conceitos teóricos e numéricos de Redes Neurais Artificiais com o principal objetivo de classificar o teor de P. As análises realizadas indicaram que os índices mais relacionados com os teores de P (via Análise de Componentes Principais) foram o excesso de verde (ExG), o verde normalizado (Gn) e o excesso de verde-vermelho (ExGR) calculados tanto com a parte abaxial da folha quanto com a adaxial. Um teste foi feito com uma rede neural com os índices anteriores adicionando outros índices, como o MPRI (*Modified Photochemical Reflectance Index*), o Bn (Azul Normalizado) e o o VEG (*Vegetative Index*). A rede neural com a utilização de seis entradas apresentou maior acurácia do que a com 12.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum lycopersicum*, índices vegetativos, visão computacional

COMPARISON BETWEEN TWO NEURAL NETWORKS IN LEAF PHOSPHORUS CONTENT CLASSIFICATION IN TOMATOES

ABSTRACT: In Brazil, due to the natural characteristics of the primary soils, the amount of application of phosphate fertilizers is high. Therefore, diagnosing the amount of phosphorus (P) absorbed by plants allows more efficient management of this nutrient. Within this context, this work aimed to apply theoretical and numerical concepts of Artificial Neural Networks with the primary objective of classifying the P content. The performed analyses indicated that the indexes most related to the P

contents (via Principal Component Analysis) were excess green (ExG), normalized green (Gn), and excess green-red (ExGR) calculated both with the abaxial and adaxial parts of the leaf. A test was done with a neural network with the previous indices adding other indices, such as the MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index), the Bn (Normalized Blue), and the VEG (Vegetative Index). The neural network using six inputs showed greater accuracy than the one with 12.

INTRODUÇÃO: Redes neurais artificiais (*RNAs*) têm sido utilizadas em diferentes aplicações na agricultura como a avaliação de deficiência de nutrientes (ALEKSANDROV, 2022). Uma das questões a se avaliar em uma *RNAs* são as entradas da rede, ou seja, os valores que serão inseridos para treinamento e classificação. O uso de índices vegetativos para construção de *RNAs* na avaliação da quantidade de nutrientes nas folhas pode ser uma alternativa, pois a deficiência e quantidade de nutrientes se relaciona com a cor das mesmas (STEIN et al., 2014). A análise do teor de P nas folhas é essencial para um manejo correto desse nutriente (WITHERS et al., 2018). Por isso, o presente trabalho procurou comparar duas *RNAs* com diferentes quantidades de índices vegetativos para treinamento da rede, com o objetivo de estabelecer quais índices podem ser utilizados na classificação dos teores de P bem como qual arquitetura da rede seria mais adequada (com seis ou 12 entradas).

MATERIAL E MÉTODOS: Os índices avaliados foram: o Verde, o Azul e o Vermelho Normalizados (Gn, Bn e Rn), VARI (GITELSON et al., 2002), VEG (HAGUE et al., 2006), ExG (WOEBBECKE et al., 1995), ExGR (MEYER, CAMARGO NETO, 2008), MPRI (YANG et al., 2008), DGCI e TGI (HUNT et al., 2013). Para seleção dos índices foi realizada Análise de Componentes Principais (*ACP*) no software R com dados obtidos em experimento realizado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo (USP), em Pirassununga-SP. As doses de fósforo (P) foram: 0, 25, 50, 75 e 100% da dose recomendada para a solução nutritiva para o tomateiro. Aos 22, 36, 50 e 64 dias após o transplântio (DAT) foram coletadas a 4ª folha totalmente expandida a partir do ápice como determinado por MALAVOLTA (1989), em um total de 80 em cada análise. As imagens foram obtidas tanto da face adaxial quanto da face abaxial das folhas, em um escâner de mesa. Com um algoritmo escrito na linguagem Python foram calculados os índices vegetativos bem como desenvolvidas duas redes neurais (uma com seis e outra com 12 entradas), do tipo perceptron multicamadas, com 10 neurônios utilizando validação cruzada. O valor de P nas folhas foi classificado como adequado (saída 1) quando estava acima de 2 g dm⁻³ e inadequado (saída 0) quando abaixo desse valor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Em relação aos índices utilizados, os selecionados foram os três primeiros (ExG, Gn e ExGR) utilizando tanto a parte abaxial quanto adaxial para seu cálculo (maiores valores do Cos2) em uma rede neural e os seis primeiros na segunda (ExG, Gn, ExGR, MPRI, Bn e VEG), ver figura 1.

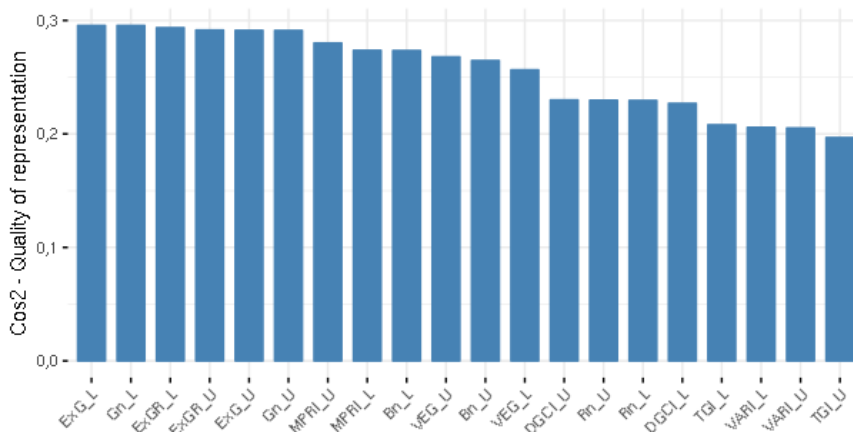


FIGURA 1. Conteúdo de cosseno da primeira análise de componentes principais para os índices analisados.

O valor do eixo y da figura 1 indica a qualidade de representação de cada índice vegetativo na representação dos dados. Quanto maior o valor de Cos2, melhor aquele dado representa a variação na análise, nesse caso a variação de P nas folhas.

A rede 1 apresentou maior acurácia dos testes (tabela 1), indicando que sua utilização é mais indicada para classificar o teor de P nas folhas.

TABELA 1. Desempenho das redes neurais.

ÍNDICE	Acurácia (Média)	Variância dos testes	Desvio Padrão dos testes
Rede 1 (6 entradas)	0,775	0,024	0,156
Rede 2 (12 entradas)	0,650	0,024	0,049

CONCLUSÕES: Pelos resultados obtidos conclui-se que utilizar seis entradas na rede neural (com uso de três índices com a parte abaxial e adaxial das folhas) foi suficiente para classificar o teor de P nas folhas do tomateiro.

AGRADECIMENTOS: Este trabalho foi em parte financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001.

R.C. Domingos agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo 2016/024561-0) e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP, processo 0527/18).

REFERÊNCIAS: ALEKSANDROV, Vladimir. Identification of nutrient deficiency in plants by artificial intelligence. **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.L.], v. 44, n. 3, p. 1-10, 24 jan. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-022-03363-0>.

GITELSON, Anatoly A.; KAUFMAN, Yoram J.; STARK, Robert; RUNDQUIST, Don. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 80, n. 1, p. 76-87, abr. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257\(01\)00289-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257(01)00289-9).

HAGUE, T.; TILLET, N. D.; WHEELER, H.. Automated Crop and Weed Monitoring in Widely Spaced Cereals. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 21-32, mar. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-6787-1>.

HUNT, E. Raymond; DORAISWAMY, Paul C.; MCMURTREY, James E.; DAUGHTRY, Craig S.T.; PERRY, Eileen M.; AKHMEDOV, Bakhyt. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [S.L.], v. 21, p. 103-112, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.020>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1989. 201p.

MEYER, G. E.; CAMARGO NETO, J. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 63, n. 2, p. 282-293, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2008.03.009>.

STEIN, Beth R.; THOMAS, Valerie A.; LORENTZ, Laura J.; STRAHM, Brian D.. Predicting macronutrient concentrations from loblolly pine leaf reflectance across local and regional scales. **Giscience & Remote Sensing**, [S.L.], v. 51, n. 3, p. 269-287, 4 maio 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15481603.2014.912875>.

WITHERS, Paul J. A.; RODRIGUES, Marcos; SOLTANGHEISI, Amin; CARVALHO, Teotonio S. de; GUILHERME, Luiz R. G.; BENITES, Vinicius de M.; GATIBONI, Luciano C.; SOUSA, Djalma M. G. de; NUNES, Rafael de S.; ROSOLEM, Ciro A.. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-13, 7 fev. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>.

WOEBBECKE, D. M.; MEYER, G. E.; VON BARGEN, K.; MORTENSEN, D. A. Shape features for identifying young weeds using image analysis. **Transactions of the ASAE**, 38(1), 271-281, jan. 1995.

YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy. In: Pecora - The Future of Land Imaging... Going Operational, 17. 2008, Denver, Colorado, USA. **Proceedings...** Maryland: (ASPRS), 2008.