DETECÇÃO DE DOENÇAS EM CULTIVOS CÍTRICOS A PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Victória Hellena Matusevicius e de Castro [1], Taya Cristo Parreiras [2], Édson Luis Bolfe [3]

[1] Discente de graduação em Engenharia Agrícola - UNICAMP. Bolsista de Iniciação Científica do CNPq. E-mail: v245192@dac.unicamp.br; [2] Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UNICAMP. Bolsista CAPES. E-mail: t234520@dac.unicamp.br; [3] Pesquisador da EMBRAPA Agricultura Digital. E-mail: edson.bolfe@embrapa.br

RESUMO:

Cerca de 50% da produção mundial de citros advém do Brasil, que gerou divisas de 60 bilhões de dólares com exportações em 50 anos. Todavia, estima-se que essa quantia seria maior com o controle dos casos de doenças que afetam a citricultura. No estado de São Paulo, em 2021, quase 40% dos talhões estavam afetados. Diante desse cenário, é necessário realizar detecções rápidas e precisas das doenças, para que haja uma melhor gestão das ações e dos insumos, aumento da produtividade e da receita ao produtor rural. Tendo em vista que o sensoriamento remoto é cada vez mais aplicado no contexto da agricultura digital, foi realizada uma revisão de literatura referente a abordagem do tema nos últimos 5 anos, na base *Web of Science*, que mostraram que a detecção de doenças com uso de sensores multiespectrais e hiperespectrais acoplados a veículos aéreos é promissora, principalmente aqueles que contém a banda *Red Edge*.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura digital, citricultura, doenças, NDVI

INTRODUÇÃO:

Em 2050, a população mundial atingirá mais de 9 bilhões de pessoas, sendo necessário aumentar a produção de alimentos em 70% sem expansão de área plantada e com menor degradação ambiental, reduzindo o uso de agroquímicos (FAO, 2017). O Brasil configura-se no mercado global como um dos maiores fornecedores de alimentos, assim, é urgente que as cadeias produtivas se tornem mais

eficientes e sustentáveis, cumprindo com os objetivos do desenvolvimento sustentável definidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) (Massruhá et al., 2020).

As geotecnologias são importantes ferramentas para atingir esses objetivos, sendo parte da transformação digital da agricultura (Massruhá et a., 2020). Por meio do sensoriamento remoto (SR), são geradas informações espacializadas da produção através da aquisição de fotografias aéreas e orbitais em diferentes canais do espectro eletromagnético, processadas e analisadas por meio de diferentes ferramentas e métodos, como o *machine learning* (Ponzoni et al., 2012).

O SR baseia-se nas interações (absorção, transmissão ou reflexão) entre a radiação eletromagnética (REM) emitida pelo sol, em forma de ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos (λ) e os objetos da superfície terrestre, que variam conforme propriedades físicas dos mesmos. Essas interações, influenciadas por condições ambientais e fisiológicas das plantas, podem ser medidas por sensores orbitais, suborbitais e terrestres, se tornando fontes de informações valiosas para o SR (Ponzoni et al., 2012).

A interação da REM com as folhas das plantas pode ser analisada principalmente em três diferentes canais ópticos: no visível (VIS), que envolve as cores reais nos λ entre 0,4 e 0,72 μm, no infravermelho próximo (NIR), com λ entre 0,72 e 1,1 μm, e no infravermelho médio

(MIR), entre 1,1 e 3,2 µm. Nesses canais, ocorrem variações devido aos pigmentos fotossintéticos (no VIS), à estrutura interna das folhas (no NIR) e à presença de água na planta (no MIR) (Ponzoni et al., 2012).

A partir de imagens aéreas e observações de campo, foram desenvolvidos, ainda na década de 1960, os chamados índices de vegetação (IV), que são medidas radiométricas adimensionais, geradas por equações que relacionam as diferentes bandas (VIS, NIR e MIR), capazes de "realçar" a vegetação nas imagens e fornecer informações acerca da área foliar, da biomassa verde, do teor de clorofila, entre outros, possibilitando a modelagem e análise das plantas quanto ao seu estado geral de saúde, crescimento e desenvolvimento (Ponzoni et al., 2012).

Nos últimos anos, pesquisadores têm se dedicado a avaliar o potencial do sensoriamento no monitoramento de doenças em diversas culturas, a exemplo dos cultivos anuais como batata (Afzaal et al., 2021), na fruticultura, como abacate (Hariharan et al., 2019), e na área florestal, como pinus (Deng et al., 2020). Com algoritmos *machine learning* e *deep learning*, imagens multiespectrais e hiperespectrais (altíssima resolução espectral, em centenas de bandas curtas e contíguas), esses autores têm demonstrado que essa combinação pode auxiliar na detecção precoce de doenças agrícolas, visando contribuir com o manejo e com a aplicação de insumos em taxas variáveis.

Em 50 anos, o Brasil gerou 60 bilhões de dólares em receitas com a exportação de frutas cítricas (Neves et al., 2010). Além de possuir forte impacto econômico, a citricultura também apresenta grande relevância social, tendo em vista que ao longo da cadeia de produção citrícola cada emprego direto gera dois indiretos (Neves et al., 2010). Em 2021, foram 44.837 novas admissões de trabalhadores no setor (CITRUSBR, 2022).

Entretanto, a perda causada por doenças detectadas tardiamente, como a *Huanglongbing* (HLB), com alto potencial destrutivo que pode afetar todas as variedades comerciais e causar perdas de até 70% na produtividade (Da Graça, 1991; Bové, 2006); a Clorose Variegada dos Citros (CVC), comum em plantas mais velhas, caracterizando-se pelos sintomas de deficiência nutricional (clorose) e frutos de tamanho reduzido (Rossetti & De Negri, 2011); e o cancro cítrico, grave doença que gera lesões necróticas e está presente em cerca de 15% dos talhões (Goto, 1992), limita os benefícios econômicos. Nesse cenário, a verificação da aplicabilidade do SR na detecção precoce das doenças que acometem a citricultura no país se faz necessária.

OBJETIVOS:

Levantar o potencial de aplicação do SR na detecção precoce das doenças que afetam a citricultura, identificando variáveis, técnicas e ferramentas de análise.

MATERIAL E MÉTODOS:

Para a análise, foi realizada uma revisão sistemática da literatura (Galvão & Ricarte, 2020) considerando publicações dos últimos 5 anos (2017-2022). Como estratégia de busca, utilizou-se a base *Web of Science* e os seguintes termos chave: *citriculture, disease* e *remote sensing*. O resultado da busca foi exportado em formato.xlsx, e os artigos foram selecionados a partir do seguinte critério de inclusão: se tratar de proposta metodológica de uso do sensoriamento remoto na detecção de doenças que afetam a produção de citros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Atualmente, para detecção de doenças *in loco*, há uma dependência de bom treinamento para identificação visual da enfermidade em estágio inicial ou da amostragem de grande número de plantas para fazer o teste de PCR, que pode gerar falsos negativos (Bové, 2006; Graham et al., 2004). Entretanto, os custos envolvidos, a incapacidade de detecção humana e a espera pelo resultado podem contribuir para o alastramento das doenças, já que plantas assintomáticas são capazes de transmitir HLB e clorose variegada dos citros (Luvisi et al., 2016). A partir da filtragem proposta na metodologia, dos 18 artigos resultantes, seis propuseram metodologias de

detecção remota e/ou em tempo real de doenças que afetam a produção de citros.

Chang et al. (2020) utilizaram uma câmera multiespectral (MicaSense RedEdge) embarcada em um veículo aéreo não-tripulado (VANT) para analisar as variações de características morfológicas e de IV de dosséis infectados e sadios de citros nos EUA. Os autores mostraram que o volume do dossel é uma variável relacionada à infestação por HLB, e que pode ser efetivamente estimada com imagens de VANT. Além disso, diferenças significativas foram encontradas nos IV de árvores saudáveis e doentes, principalmente o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e índices gerados com bandas *Red Edge* (RE).

Richard et al. (2018) buscaram modelar a ocorrência e a distribuição espacial de HLB em pomares de citros, no Quênia, utilizando informações fenológicas e de temperatura da superfície, derivadas de imagens de 250 m de resolução (menor unidade representada) do sensor MODIS, embarcado nos satélites Terra e Aqua. Os autores combinaram as variáveis de SR com dados ambientais para avaliar a susceptibilidade dos *habitats* circundantes à ocorrência dos vetores da doença, e verificaram que as imagens de satélite melhoraram, atingindo precisão de 92%.

A detecção precoce das plantas afetadas é crucial para a melhor atuação e manejo de insumos. Abdulridha et al. (2019) mostraram, com dados do sensor hiperespectral Resonon Pika L 2.4 embarcado em um drone multirotor, que a reflectância de folhas e frutos de citros infectados com cancro muda em todos os (λ), em especial no canal RE, inclusive em indivíduos assintomáticos. Os autores atingiram precisão superior a 90% com classificações de plantas sadias e doentes, em diferentes estágios nos EUA, e salientam que alterações no teor de água e na estrutura do dossel, que ocorrem em estágios iniciais, são capturadas por índices de vegetação, principalmente gerados com bandas RE.

Deng et al. (2020) compararam imagens hiperespectrais obtidas com VANT multirotor com sensor portátil e coeficiente de correlação de 0,96 entre as duas fontes de dados. Em seguida, utilizando redes neurais, com dados de características espectrais do dossel na forma de métricas e índices de vegetação gerados a partir de uma pré-filtragem de bandas, entre eles NDVI, os autores conseguiram detectar com 99,7% de acurácia a ocorrência de HLB em áreas de cultivo de citros na China.

Pourazar et al. (2019) avaliaram o potencial de imagens multiespectrais capturadas com sensor MicaSense RedEdge e um VANT multirotor, em distinguir plantas de citros infectadas ou não com HLB no Irã. Após uma etapa de seleção, os autores observaram que as bandas do vermelho, infravermelho próximo e RE apresentaram maior diferença entre indivíduos sadios e doentes. Com um modelo *Random Forest* que contava com essas bandas e índices de vegetação derivados, os autores atingiram precisão de 85% na detecção das plantas doentes (precisão de usuário e produtor). Ademais, o estudo mostrou que a etapa de calibração radiométrica não melhorou os resultados.

Por outro lado, Garza et al. (2020) analisaram potencial de imagens VIS para detectar a ocorrência de HLB em pomares de citros nos EUA. Os autores correlacionam o índice triangular verde (TGI) com informações biofísicoquímicas (área foliar, teor de clorofila e de nutrientes). Os resultados indicam que variações no TGI podem ser parcialmente explicadas por diferenças no teor de clorofila, no índice de área foliar e no status nutricional de plantas afetadas por HLB ou podridão da raiz.

CONCLUSÕES:

Os estudos analisados indicam a eficiência e viabilidade de sensores multiespectrais e hiperespectrais embarcados em VANTs para a detecção e monitoramento de doenças na citricultura no contexto da agricultura digital. Observou-se que as bandas e índices do canal RE têm sido os mais eficientes. Contudo, são desafios para o pleno uso dessa ferramenta, as variações decorrentes de menor quantidade de bandas espectrais e o alto custo de operação, principalmente para

sensores hiperespectrais. A ausência de estudos nacionais na *Web of Science,* a partir do critério de busca adotado, sugere a necessidade de ampliar a revisão em outras bases em novos estudos dessa natureza.

REFERÊNCIAS:

AFZAAL, Hassan; FAROOQUE, Aitazaz A.; SCHUMANN, Arnold W.; HUSSAIN, Nazar; MCKENZIE-GOPSILL, Andrew; ESAU, Travis; ABBAS, Farhat; ACHARYA, Bishnu. Detection of a Potato Disease (Early Blight) Using Artificial Intelligence. Remote Sensing, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 411, 25 jan. 2021.

ABDULRIDHA, J.; BATUMAN, O.; AMPATZIDIS, Y. VANT-Based Remote Sensing Technique to Detect Citrus Canker Disease Utilizing Hyperspectral Imaging and Machine Learning. Remote Sensing, v. 11, p. 1373, 2019.

BOVÉ, J. M. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. Journal of Plant Pathology, v. 88, p. 7-37.

CHANG, A. J.; YEOM, J.; JUNG, J. H. et al. Comparison of Canopy Shape and Vegetation Indices of Citrus Trees Derived from VANT Multispectral Images for Characterization of Citrus Greening Disease. Remote Sensing, v. 12, p. 4122, 2020.

CITRUSBR - Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. Geração de empregos na citricultura cresce 17% em 2021. 2022. Disponível em: https://citrusbr.com/noticias/geracao-de-empregos-na-citricultura-cresce-17-em-2021/. Acesso em 25 de outubro de 2022.

DA GRAÇA, J. V. Citrus Greening Disease. Annual Review of Phytopathology, v. 29, p. 109-136.

DENG, X. L.; ZHU, Z. H.; YANG, J. C. et al. Detection of Citrus Huanglongbing Based on Multi-Input Neural Network Model of VANT Hyperspectral Remote Sensing. Remote Sensing, v. 12, p. 2678, 2020.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations.The Future of Food and Agriculture - Trends and Challenges, Rome, 2017. Disponível em: http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf . Acesso em 03 de agosto de 2020.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão Sistemática da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação. Filosofia da Informação, v. 6, p. 57-73, 2020.

GARZA, B. N.; ANCONA, V.; ENCISO, J. et al. Quantifying Citrus Tree Health Using True Color VANT Images. Remote Sensing, v. 12, p. 170, 2020.

GOTO, M. Citrus canker. In: KUMAR, J.; CHAUBE, H.; MUKHOPADHYAY, A. Plant diseases of international importance. Vol. III. Diseases of fruit crops. Nova Jersey: Prentice Hall, 1992.

GRAHAM, A.J; ATKINSON, P.M; DANSON, F.M. Spatial analysis for epidemiology. Acta Tropica, v. 91, p. 219-225, 2004.

HARIHARAN, J.; FULLER, J.; AMPATZIDIS, Y. et al. Finite Difference Analysis and Bivariate Correlation of Hyperspectral Data for Detecting Laurel Wilt Disease and Nutritional Deficiency in Avocado. Remote Sensing, v. 11, p. 1748.

LUVISI, A.; AMPATZIDIS, Y. G.; DE BELLIS, L. Plant Pathology and Information Technology: Opportunity for Management of Disease Outbreak and Applications in Regulation Frameworks. Sustainability, v. 8, p. 831, 2016.

MASSRUHÁ, S. M. F. S. et al. A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. A.; OLIVEIRA, S. R. M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.;

BOLFE, E. L. Agricultura Digital: Pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília: Embrapa, 2020. p. 20-45.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; MILAN, P. et al. O retrato da citricultura brasileira. Ribeirão Preto: Markestrat, 2010. 138 p.

PONZONI, F.J; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. 2. ed. São Paulo; Oficina de Textos, 2012. 176 p.

POURAZAR, H.; SAMADZADEGAN, F.; JAVAN, F. D. Aerial multispectral imagery for plant disease detection: radiometric calibration necessity assessment. European Journal of Remote Sensing, v. 52, p. 17-31, 2019.

RICHARD, K.; ABDEL-RAHMAN, E. M.; MOHAMED, S. A. et al. Importance of Remotely-Sensed Vegetation Variables for Predicting the Spatial Distribution of African Citrus Triozid (Trioza erytreae) in Kenya. ISPRS Internation Journal of Geo-Information, v. 7, p. 429, 2018.

ROSSETTI, V.; DE NEGRI, J. D. Clorose Variegada dos Citros - Revisão. Citrus Research & Technology, v. 32, p. 61-66, 2011.