

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

FITOPATOMETRIA: HISTÓRICO E EVOLUÇÃO

Sophia Machado Ferreira da Silva, Breno Benvindo dos Anjos, Lauana Pellanda de Souza, André da Silva Xavier, Fábio Ramos Alves, Matheus Ricardo da Rocha, Willian Bucker Moraes.

Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário s/n, 29500-000 – Alegre – ES, Brasil, machadofsofia@gmail.com, bbdanjos@gmail.com, lauanaps@hotmail.com, andre.s.xavier@ufes.br, fabioramosalves@yahoo.com.br, matheus.phyto@gmail.com, willian.fito@gmail.com.

Resumo

Historicamente, a quantificação de doenças de plantas tem sido realizada por meio da avaliação visual através do uso de ferramentas ou sensores. No entanto, os últimos vinte anos têm sido marcados por avanços significativos nas tecnologias de imagem e sensoriamento remoto, culminando em um impacto direto na área da fitopatologia e em seus conceitos associados. Devido a importância da quantificação da intensidade de doenças e os avanços associados a sua evolução nos últimos anos, objetivou-se sintetizar, explicitar e fundamentar as informações concernentes ao histórico e evolução da fitopatometria. O estudo foi conduzido a partir de um levantamento bibliográfico relacionado ao tema abordado. Para compilar informações sobre o tema abordado, revisões foram realizadas em livros, publicações em periódicos e artigos científicos. De acordo com a revisão, houve progressos significativos fundamentados em análises de imagens e ferramentas de medição automática ou semiautomática para a quantificação de doenças em plantas.

Palavras-chave: Quantificação. Doenças de plantas. Fitopatologia.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônoma - Agronomia

Introdução

As doenças de plantas, causadas por diversos microrganismos fitopatogênicos, como bactérias e fungos, representam uma das principais causas de perdas agrícolas. Para combater eficazmente essas doenças e minimizar a perda de rendimento, é fundamental contar com métodos confiáveis e precisos para avaliar a severidade de doenças (BOCK *et al.*, 2010; SHI *et al.*, 2023).

A fitopatometria, segundo a definição proposta por Nutter *et al.* (1991), pode ser entendida como a "avaliação de doenças" e constitui um ramo importante da fitopatologia, que se dedica à estimativa e medição da quantidade de doenças em plantas. Esse campo abrange atividades de detecção, identificação e quantificação das doenças, contribuindo para a pesquisa associada ao comportamento e progresso de uma determinada doença, assim como no monitoramento, auxiliando na tomada de decisão quanto ao manejo adequado.

Historicamente, a quantificação das doenças de plantas tem sido realizada por meio de dois métodos: a avaliação visual e o uso de instrumentos ou sensores, o que resultou nos termos "estimativa" para a abordagem visual e "medição" para a abordagem instrumental. Entretanto, os últimos vinte anos têm sido marcados por avanços significativos nas tecnologias de imagem e sensoriamento remoto, impactando diretamente a área da fitopatologia e seus conceitos associados. As tecnologias de detecção e análise de imagens têm experimentado progressos substanciais, proporcionando novas possibilidades para a fitopatologia. Além disso, a inteligência artificial emergiu como um campo revolucionário nesse contexto, abrindo novos horizontes para a obtenção de medidas objetivas quanto a intensidade de doenças em plantas (BOCK *et al.*, 2021).

A detecção de sintomas e a classificação de doenças em plantas por meio de métodos digitais, como técnicas de imagem e algoritmos, têm se tornado uma tendência crescente. Essa tarefa é de grande magnitude, e as soluções computadorizadas visam simplificar o trabalho do fitopatologista, empregando técnicas específicas para doenças particulares e tipos de plantas específicos (SILVA, *et*

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

al., 2022). Diante do exposto, objetivou-se sintetizar, explicitar e fundamentar as informações concernentes ao histórico e evolução da fitopatometria.

Metodologia

O estudo foi conduzido a partir de um levantamento bibliográfico relacionado ao tema abordado. Para tanto, foram consultadas referências teóricas respeitadas e atualizadas utilizando-se livros, publicações em periódicos e artigos científicos. Com o intuito de aprofundar a discussão sobre a fitopatometria, realizou-se uma análise crítica para verificar a veracidade dos dados expostos, atentando-se para possíveis incoerências e contradições. Essa abordagem permitiu uma avaliação minuciosa das informações disponíveis, visando garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos na pesquisa.

Resultados

Em 1892, Nathan Cobb introduziu uma série de diagramas destinados a auxiliar na avaliação da severidade da ferrugem no trigo (*Puccinia triticina*), marcando o início do reconhecimento da importância das estimativas visuais. Esse sistema inicial foi concebido para padronizar as avaliações de severidade, incorporando um conjunto de diagramas de área padrão (DAPs) conhecido como "Escala Cobb". Essa escala ordinal consistia em cinco classes distintas, correspondendo a níveis de severidade de 1%, 5%, 10%, 20% e 50%, utilizados com a finalidade de classificar ao invés de realizar uma interpolação para gerar estimativas de porcentagem mais precisas.

Após anos, foram desenvolvidas chaves de campo com o propósito de mensurar a severidade de doenças em campos de produção por completos, unindo elementos de escalas ordinais qualitativas e quantitativas. Um exemplo notável é a chave de 9 classes, adotada para avaliar a severidade da requeima da batata (ANON, 1947).

O uso de diagramas de doenças como um modelo de referência padrão, tanto antes quanto durante as avaliações (JAMES *et al.*, 1968; COBB, 1892), e o treinamento de avaliadores com o auxílio de imagens (NUTTER; SCHULTZ, 1995) foi uma sugestão para aprimorar a acurácia e confiabilidade das estimativas visuais de severidade.

Subsequentemente, o Sistema de Avaliação de Doença (SAD) passou a abranger uma série de representações ilustrativas que refletiam aumentos graduais e quantificados na gravidade das doenças, exibindo padrões similares aos sintomas reais. Esse sistema foi desenvolvido para abarcar uma ampla gama de doenças (DIXON; DOODSON, 1971; BOCK *et al.*, 2010;). As diretrizes gerais para a criação de um SAD foram delineadas nos estágios iniciais da literatura (LARGE, 1966), o que direcionou pesquisadores que incorporaram avanços na análise de imagens para a medição precisa da gravidade real e a elaboração desses diagramas (BOCK *et al.*, 2010).

Durante os estágios iniciais da fitopatometria, houve um reconhecimento da necessidade de pré-processar dados ordinais para análise. McKinney (1923) propôs o conceito de "índice de infecção" que condensou a frequência de classificações de classes de severidade em uma escala ordinal. Marsh *et al.* (1937) observaram que o índice de severidade da doença transformava dados potencialmente não lineares em uma expressão contínua adequada para análise estatística. E, consequentemente, tal abordagem conferiu maior confiabilidade a essa metodologia.

Inúmeras pesquisas têm investigado o impacto de diversos fatores na acurácia e confiabilidade do design e avaliação de DAPs. Esses fatores abrangem a experiência do avaliador (YADAV *et al.*, 2013), o patossistema específico em consideração, a quantidade de diagramas utilizados e a estrutura e cor dos próprios DAPs (FRANCESCHI *et al.*, 2020). Além disso, os procedimentos adotados durante o desenvolvimento e validação dos DAPs, aliados a outros fatores relevantes, podem influenciar a precisão geral desses diagramas (MELO *et al.*, 2020).

O amplo acesso a scanners e câmeras digitais portáteis no início dos anos 2000, e o avanço de softwares específicos para análise de imagens de doenças de plantas, teve um papel fundamental em facilitar a criação de DAPs (DELPONTE *et al.*, 2017). Neste sentido, a obtenção de imagens está se tornando cada vez mais simples no campo agrícola e as aplicações inteligentes que se baseiam em imagens agrícolas têm sido amplamente empregadas em diversos aspectos da agricultura (DONG *et al.*, 2022).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

A maioria dos estudos atuais utilizam imagens de folhas de plantas para identificar doenças, empregando visão computacional, aprendizado de máquina e técnicas de aprendizado profundo (AHMAD *et al.*, 2023). Uma avaliação eficaz de doenças de plantas abrange a identificação de múltiplas doenças em diferentes culturas, bem como a detecção simultânea de várias doenças (BARBEDO, 2016). Além disso, inclui a estimativa da severidade das doenças e a proposição de medidas úteis para controlar a propagação dessas doenças (WANG *et al.*, 2017; SYED-AB-RAHMAN *et al.*, 2022).

Nos últimos anos, estudos têm incorporado técnicas de aprendizado profundo, que realizam a extração automática de recursos e alcançaram maior precisão em comparação com as abordagens tradicionais (KAMALARIS *et al.*, 2018; AGARWAL *et al.*, 2020).

Técnicas de processamento de imagem foram empregadas na quantificação da doença das estrias no milho, sendo relatado que os métodos baseados em computador são mais precisos do que a análise visual tradicional (MARTIN *et al.*, 1998). A confiança em técnicas tradicionais de processamento de imagens tornou-se popular nas últimas três décadas, pois elas auxiliam na avaliação precisa de doenças (MARTINELLI *et al.*, 2015). Entretanto, essas técnicas requerem extração manual de recursos, o que é demorado e suscetível a vieses pessoais, já que diferentes estudos podem considerar recursos diversos como mais importantes (AHMAD *et al.*, 2023).

Discussão

A patometria vegetal foi inicialmente proposta por Large (1953) na obra que aborda a requeima da batata (*Phytophthora infestans*). A fitopatometria é também conhecida como "avaliação de doenças" e representa uma área especializada dentro da fitopatologia que se dedica a quantificar a extensão das doenças em plantas (NUTTER *et al.*, 1991).

É uma ferramenta relevante para obter uma compreensão mais aprofundada dos impactos das doenças nas culturas agrícolas e florestais, bem como para desenvolver estratégias eficazes de manejo e controle fitossanitário. Através da avaliação de doenças, é possível gerar dados valiosos que contribuem para o avanço do conhecimento e a tomada de decisões informadas no âmbito da fitopatologia e da agricultura em geral. Assim, torna-se imprescindível adotar um método padronizado para avaliar com precisão a severidade da doença. A severidade é uma estimativa visual que considera a porcentagem da área doente em relação à área total da unidade amostral, porém, é uma avaliação subjetiva, podendo ser influenciada pelo viés do avaliador (KRANZ, 1998; NUTTER; ESKER, 2006).

Gregory (1982) ratificou cinco requisitos de quantificação de doenças de plantas em relação às análises de perda de rendimento que foram anteriormente propostos por Large (1966). Dentre esses, indicavam que era necessária uma descrição da morfologia e desenvolvimento da cultura sadia, um estudo do desenvolvimento da doença nas plantas no condição de campo, a preparação de diagramas de área padrão para avaliação detalhada da intensidade da doença, além da realização de ensaios de campo ao longo de vários anos, avaliando o progresso da doença usando a chave de campo para as avaliações da doença e registrando os rendimentos de parcelas com infecção não controlada em comparação com parcelas mantidas livres da doença, e o uso das curvas de progresso da doença para selecionar pontos de avaliação específicos que definirão a severidade em relação à perda de rendimento. Na fitopatometria, é essencial ter uma compreensão clara do estado saudável das plantas em estudo, bem como dos diferentes estágios dos sintomas da doença. A confecção de diagramas, chaves de campo ou outros métodos desenvolvidos para auxiliar nas avaliações também desempenha um papel fundamental nesse contexto. No entanto, os demais requisitos estão diretamente relacionados à análise dos resultados da avaliação de doenças, especialmente no que diz respeito à avaliação de perda de rendimento.

A quantificação de doenças de plantas é de extrema importância por uma variedade de razões cruciais. Entre elas, destaca-se a compreensão do impacto das doenças no rendimento das culturas, a quantificação da resistência a doenças de plantas, a avaliação e comparação de métodos de controle da eficiência de métodos de controle, bem como o estudo da coevolução de populações de plantas e patógenos, além da análise da epidemiologia de doenças e ecologia de patógenos (MADDEN *et al.*, 2007; BOCK *et al.*, 2010, 2016).

Somente nas últimas duas décadas é que se reconheceu a importância de submeter o SAD a testes visando melhorias na sua exatidão, precisão e confiabilidade. Para esse fim, a obtenção de valores reais de severidade é essencial, e uma variedade de métodos estatísticos como a regressão linear,

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

análise de concordância, entre outros, tem sido empregada para avaliar a precisão e exatidão das estimativas. Além disso, esses métodos visam investigar as fontes e extensões dos erros nas estimativas (BOCK *et al.*, 2010; MADDEN *et al.*, 2007).

A abordagem da fitopatometria é essencialmente quantitativa e estabelece uma estreita conexão com a epidemiologia botânica desde a década de 70. Como resultado disso, progrediu para um campo especializado da fitopatologia, sendo estudada principalmente por epidemiologistas de doenças de plantas (TRONSMO *et al.*, 2020).

Atualmente, diversas abordagens baseadas em sensores são empregadas para avaliar a gravidade das doenças em plantas. Entre essas abordagens, algumas utilizam inteligência artificial, demonstrando o potencial de fornecer estimativas precisas da severidade. No entanto, em muitos patossistemas, a avaliação visual da doença ainda é considerada o padrão e provavelmente continuará sendo assim nos próximos anos, destacando a essencialidade da acurácia na estimativa visual (BOCK *et al.*, 2021).

Conclusão

Houve progressos significativos fundamentados em análises de imagens e ferramentas de medição automática ou semiautomática para a quantificação de doenças em plantas. Entretanto, as avaliações visuais, sejam qualitativas ou quantitativas, continuam sendo o método mais frequentemente empregado para avaliar a severidade das doenças, tanto em estudos em ambientes controlados como em pesquisas de campo.

Referências

AGARWAL, M. *et al.* Development of Efficient CNN model for Tomato crop disease identification. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, v. 28, p. 100407, 2020.

AHMAD, A. *et al.* A survey on using deep learning techniques for plant disease diagnosis and recommendations for development of appropriate tools. **Smart Agricultural Technology**, v. 3, n. 1, p. 1-13, 2023.

ANON. The measurement of potato blight. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 31, n. 1-2, p. 140-141, 1947.

BARBEDO, J. G. A. A review on the main challenges in automatic plant disease identification based on visible range images. **Biosystems engineering**, v. 144, p. 52-60, 2016.

BOCK, C. H. *et al.* Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. **Plant Science**, v. 29, n. 2, p. 59-107, 2010.

BOCK, C. H. *et al.* Accuracy of plant specimen disease severity estimates: concepts, history, methods, ramifications and challenges for the future. **Cabi Reviews**, v. 2016, p. 1-21, 2016.

BOCK, C. H. *et al.* A phytopathometry glossary for the twenty-first century: towards consistency and precision in intra- and inter-disciplinary dialogues. **Tropical Plant Pathology**, v. 47, n. 1, p. 14-24, 2021.

COBB, N. A. *et al.* Contributions to an economic knowledge of the Australian rusts (Uredineae). **Agricultural Gazette of New South Wales**, v. 3, p. 44-48, 1892.

DEL PONTE, E. M. *et al.* Standard area diagrams for aiding severity estimation: scientometrics, pathosystems, and methodological trends in the last 25 years. **Phytopathology**, v. 107, n. 1, p. 1161-1174, 2017.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

DIXON, G. R.; DOODSON, J. K. Assessment keys for some diseases of vegetable, fodder and herbage crops. **Journal of the National Institute of Agricultural Botany**, v. 12, p. 299-307, 1971.

DONG, J. *et al.* Data-centric annotation analysis for plant disease detection: strategy, consistency, and performance. **Frontiers In Plant Science**, v. 13, n. 1037655, p. 1-19, 2022.

FRANCESCHI, V. T. *et al.* A new standard area diagram set for assessment of severity of soybean rust improves accuracy of estimates and optimizes resource use. **Plant Pathology**, v. 69, n. 1, p. 495-505, 2020.

JAMES, W.C. *et al.* The relationship between leaf blotch caused by *Rhynchosporium secalis* and losses in grain yield of spring barley. **Annals of Applied Biology**, v. 62, n. 2, p. 273-288, 1968.

KAMILARIS, A. *et al.* Deep learning in agriculture: A survey. **Computers and electronics in agriculture**, v. 147, p. 70-90, 2018.

KRANZ, J. The methodology of comparative epidemiology. In: KRANZ, J.; ROTEM, J. **Experimental techniques in plant disease epidemiology**. 1. ed. Heidelberg: Springer-Verlag, 1998.

LARGE, E. C. Some recent developments in fungus disease survey work in England and Wales. **Annals of Applied Biology**, v.40, n. 1, p.594-599, 1953.

LARGE, E. C. Measuring plant disease. **Annual Review Phytopathology**, v. 4, n. 1, p. 9-26, 1966.

MADDEN, L. V. *et al.* (2007) The study of plant disease epidemics. APS Press, St. Paul, MN, USA.

MAHLEIN, A.K. *et al.* Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. **Remote Sensing Of Environment**, v. 128, p. 21-30, 2013.

MARSH, R. W. Studies upon the copper fungicides: the distribution of fungicidal properties among certain copper compounds. **Annals of Applied Biology**, v. 24, n. 1, p. 853-866, 1937.

MCKINNEY, H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v. 26, n. 1, p. 195-218, 1923.

MELO, V. P. *et al.* Reproducibility of the development and validation process of standard area diagram by two laboratories: an example using the *Botrytis cinerea*/*Gerbera jamesoni* pathosystem. **Plant Disease**, v. 104, n. 1, p. 2440-2448, 2020.

MARTIN, D. P. *et al.* Microcomputer-based quantification of maize streak virus symptoms in **Zea mays**. **Phytopathology**, v. 88, n. 5, p. 422-427, 1998.

MARTINELLI, F. *et al.* Advanced methods of plant disease detection. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 1-25, 2015.

NUTTER, F. W.; SCHULTZ, P. M. Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. **Canadian Journal of plant pathology**, v. 17, n. 2, p. 174-184, 1995.

NUTTER, F. W. *et al.* Disease assessment terms and concepts. **Plant disease**, v. 75, p. 1187-1188, 1991.

NUTTER, F. W.; ESKER, P. D. The role of psychophysics in phytopathology. **European Journal of Plant Pathology**, v.114, n.2, p.199-213, 2006.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

SHI, T. *et al.* Recent advances in plant disease severity assessment using convolutional neural networks. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2023.

SILVA, D. A. da *et al.* An automatic phytopathometry system for chlorosis and necrosis severity evaluation of asian soybean rust infection. **Computers And Electronics In Agriculture**, v. 192, p. 1-11, 2022.

SYED-AB-RAHMAN, S. F. *et al.* Citrus disease detection and classification using end-to-end anchor-based deep learning model. **Applied Intelligence**, v. 52, n. 1, p. 927-938, 2022.

TRONSMO, A.M. *et al.* (2020). Plant pathology and plant diseases. CABI, Wallingford, UK.

WANG, G. *et al.* Automatic image-based plant disease severity estimation using deep learning. **Computational intelligence and neuroscience**, v. 2017, 2017.

YADAV, N. V. S *et al.* Development and validation of standard area diagrams to aid assessment of pecan scab symptoms on fruit. **Plant Pathology**, v. 62, p. 325-335, 2013.