

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

IMAGENS MULTIESPECTRAIS ADQUIRIDAS POR VANTS: FERRAMENTA PARA A DETECÇÃO PRECOCE DE DOENÇAS

**Dalila da Costa Gonçalves¹, Wilian Rodrigues Ribeiro¹, Waldir Jaccoud
Machado², Rômulo Leal Polastrel², Diego Gomes Júnior², Nathale Bicalho
Corrêa Dalvi², Alisson Rodrigues Nunes².**

¹Universidade Federal do Espírito Santo - *Campus* Alegre, Alto Universitário, s/n Guararema, Alegre - ES, 29500-000- Brasil. dalilant@hotmail.com, wilianrodrigues@msn.com.

²Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo, Alegre, Avenida Doutor Olívio Correa Pedrosa, 566, Centro - CEP: 29.500-000. waldir.machado@idaf.es.gov.br, romulo.polastrel@idaf.es.gov.br, diego.junior@idaf.es.gov.br, nathale.dalvi@idaf.es.gov.br, alisson.nunes@idaf.es.gov.br

Resumo

As doenças que prejudicam as plantas têm impacto considerável tanto na produção agrícola quanto na economia global do setor. A aplicação de tecnologias de monitoramento remoto para avaliar a saúde das plantas representa abordagem inovadora com potencial para garantir a vitalidade e o rendimento das colheitas, além da redução nos custos de produção. A aquisição precoce de informações sobre o estado das culturas e a detecção antecipada de doenças desempenham papel fundamental ao possibilitar a administração eficaz das enfermidades no campo, em benefício da saúde das plantas. Isso viabiliza a implementação de medidas adequadas para preservar a sanidade vegetal e manter a produtividade agrícola. Esta revisão da literatura teve como objetivo explicar o modo pelo qual o sensoriamento remoto pode efetivamente contribuir para identificação precoce de doenças por meio do uso de imagens multiespectrais provenientes de câmeras acopladas a VANTS, especialmente no contexto agrícola que enfrenta desafios devido às mudanças climáticas. Tais abordagens não apenas contribuem para o controle das doenças, mas também têm o potencial de aprimorar a produtividade. **Palavras-chave:** Georreferenciamento. Identificação da doença. Sensoriamento remoto. Defesa vegetal.

Área do Conhecimento: Engenharia agrônoma
Introdução

O atual sistema de produção de alimentos encontra-se em vulnerabilidade sem precedentes diante das doenças, uma ameaça que está em contínuo crescimento, especialmente devido às mudanças climáticas que favorecem o surgimento de enfermidades. O crescimento populacional em constante ascensão exerce pressão cada vez mais intensa sobre os sistemas de cultivo, com a busca por maior produtividade e qualidade dos produtos se faz urgente. No entanto, as plantas cultivadas enfrentam gama diversificada de patógenos, abrangendo fungos, bactérias, vírus e nematoides, os quais podem instigar enfermidades capazes de reduzir significativamente o rendimento das colheitas e comprometer a excelência dos produtos finais (GONÇALVES *et al.*, 2021).

Os pesticidas químicos têm sido solução confiável para enfrentar esses desafios. No entanto, é crucial destacar que a utilização indiscriminada desses produtos pode desencadear consequências significativas, abrangendo desde problemas de saúde humana até perturbações no ecossistema. Isso sem mencionar os ônus financeiros adicionais que recaem sobre os próprios agricultores (VASCONCELLOS *et al.*, 2020; PERUZZOLO *et al.*, 2021). Como resposta a essa preocupação, diversas nações já adotaram medidas para restringir a importação de produtos que façam uso de agroquímicos. Portanto, é de extrema importância o desenvolvimento de métodos ágeis e precisos para a detecção precoce e diagnóstico de pragas e doenças, a fim de proteger as safras das perdas substanciais de produtividade.

As imagens obtidas por meio câmeras multiespectrais e hiperespectrais acopladas a VANTS oferecem abordagem extremamente eficaz para monitorar e avaliar o estado das culturas, identificando

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

problemas de saúde das plantas e embasar decisões fundamentadas. Isso visa aprimorar não apenas a produtividade agrícola, mas também promover gestão ambiental sustentável (ZHANG, *et al.*, 2019). Neste sentido, a exploração de ferramentas de sensoriamento remoto com o propósito de monitorar a saúde das plantas é essencial para garantir a vitalidade e a produtividade das colheitas.

Esta revisão da literatura teve como objetivo explicar o modo pelo qual o sensoriamento remoto pode efetivamente contribuir para identificação precoce de doenças por meio do uso de imagens multiespectrais e hiperespectrais provenientes de câmeras acopladas a VANTs, especialmente no contexto agrícola que enfrenta desafios devido às mudanças climáticas.

Metodologia

A presente pesquisa classifica-se como qualitativa, e consiste em revisão bibliográfica que tratou de sintetizar as informações relevantes sobre o tema. A fim de reunir amostra representativa de estudos na detecção e monitoramento de doenças e pragas de plantas com tecnologia de sensoriamento remoto, foi realizada pesquisa de banco de dados no Google Scholar, ScienceDirect e Wiley Online Library. Para conduzir a pesquisa de literatura foram utilizados os descritores "imagens multiespectrais e hiperespectrais de câmeras acopladas a VANTs", publicados nos últimos 10 anos (2013 a 2023). Após leitura, foram selecionados os artigos que abordavam a utilização de imagens multiespectrais e hiperespectrais para facilitar a detecção da doença em campo e seus maiores desafios. Os artigos selecionados foram utilizados para discussão deste ensaio.

Resultados

A pesquisa bibliográfica resultou na identificação de cerca de 580 artigos que discutem o emprego de imagens multiespectrais e hiperespectrais como instrumentos facilitadores na detecção de doenças em contextos de campo. Após a fase de coleta, uma análise minuciosa dos estudos pertinentes foi conduzida, visando aprofundar o entendimento sobre este tema específico.

O uso de sistemas de monitoramento remoto para rastrear doenças e pragas em plantas está em constante crescimento, impulsionado pelos avanços na era digital e na agricultura 4.0. Os veículos aéreos não tripulados (VANTs), também conhecidos como drones, constituem ferramenta emergente no campo do sensoriamento remoto e são uma das ferramentas tecnológicas com maior potencial a serem incorporadas ao conjunto de recursos da agricultura de precisão utilizadas pelos agricultores, particularmente no que diz respeito a imagens multiespectrais capturadas através de câmeras digitais ou sensores multiespectrais. Pesquisas (CALDERÓN, *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2019; KHAN, *et al.*, 2022) visando à identificação de doenças em diversas culturas por meio de imagens hiperespectrais vem crescendo.

A aplicação de imagens multiespectrais e hiperespectrais por meio de câmeras acopladas em VANTs envolve a consideração de ampla gama de fatores, que vão desde a configuração do sensor e a coleta de dados até o processamento das imagens. Após a obtenção das imagens multiespectrais ou hiperespectrais originais, o estágio de pré-processamento se torna essencial para obter informações espectrais precisas. Isso é realizado com a assistência de softwares e aprendizado profundo, que abrange categoria de algoritmos construídos sobre redes neurais artificiais, visando aprimorar a qualidade espectral e espacial das imagens. O sensoriamento remoto pode efetivamente contribuir para a identificação precoce de doenças por meio do uso de imagens multiespectrais e hiperespectrais por meio de câmeras acopladas em VANTs, porém em condições de campo esta tecnologia ainda é desafiadora.

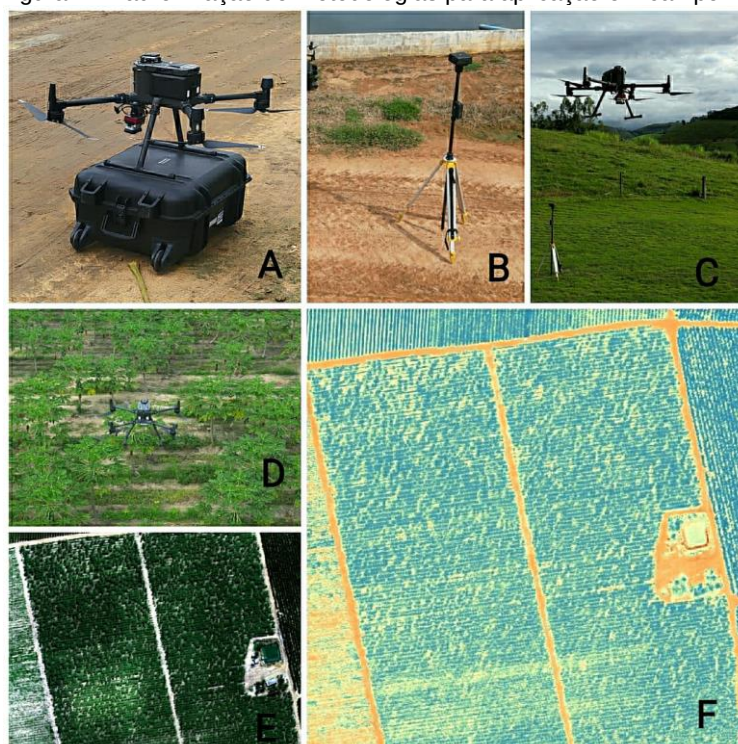
Discussão

Os progressos recentes nos campos de informação e comunicação têm impulsionado a evolução da agricultura digital. As imagens multiespectrais e hiperespectrais aerotransportadas é ferramenta que pode auxiliar na detecção antecipada de estresses bióticos, especialmente as doenças. A integração destas imagens com técnicas de aprendizado profundo tem sido amplamente investigada no âmbito da agricultura de precisão (LU *et al.*, 2020; KHAN, *et al.*, 2022; BARBEDO, 2023). As tecnologias de sensoriamento remoto que empregam imagens multiespectrais e hiperespectrais, são fundamentadas

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

nas assinaturas espectrais (KHAN, *et al.*, 2022). Essas imagens frequentemente contemplam várias centenas de bandas estreitas que abrangem gama mais ampla de comprimentos de onda, incluindo aqueles além do espectro visível (GUI, *et al.*, 2021). Acredita-se que os patógenos exerçam influência significativa sobre a estrutura celular das plantas, o que, por conseguinte, ter impacto substancial nos comprimentos de onda na região do infravermelho próximo. Isso permite a detecção de diferenças nos espectros. A obtenção de imagens espectrais envolve várias etapas, que vão desde a seleção e aquisição da plataforma, escolha do sensor até o processamento dos dados, a Figura 1 demonstra os passos para obtenção destes dados.

Figura 1 - Padronização de metodologias para aplicação em campo



Fonte: o autor.

A: Escolha do equipamento (Dji Drone Matrice 300 RTK); B: Equipamento de calibração (RTK); C: Treinamento e calibração; D: sobrevoo na área de diagnóstico; E: Processamento das imagens (Imagem RGB) e F Imagens após o processamento (NDVI).

Imagens hiperespectrais e multiespectrais consistem no procedimento de empregar sensor de imagem espectral para capturar e processar os dados de refletância provenientes do espectro eletromagnético, resultando na obtenção de assinatura espectral correspondente a cada pixel na imagem do objeto de interesse (Figura 1). Essas imagens coletadas por câmeras especiais registram a refletância da luz em diferentes partes do espectro, permitindo a detecção de diferenças sutis nas propriedades das superfícies e dos objetos (BARBEDO, 2023).

Área de estudos relacionada aos cultivos de campo, identificar com precisão uma doença ou praga específica em condições reais de cultivo é desafio significativo. Isso se deve ao fato de que várias fontes de estresse para as culturas podem acontecer simultaneamente, o que implica que as interferências ambientais adicionam camada adicional de complexidade à tarefa de estabelecer padrões consistentes (ZHANG, *et al.*, 2019). Outro aspecto crucial a ser enfatizado é a complexidade em estabelecer protocolos e métodos analíticos padronizados para lidar com a abundante rede de informações contida nas imagens, principalmente por não serem fixas em cada avaliação.

Estudos (CALDERÓN *et al.* 2014; ABDULRIDHA, *et al.*, 2020) demonstraram a viabilidade de detectar a infecção em plantas usando imagens termais, multiespectrais e hiperespectrais de alta resolução adquiridas com VANTs. Em nossos copilados, constatou-se que alguns estudos de fato foram

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

realizados por meio do emprego de conjuntos de bandas espectrais aerotransportadas em ambiente de campo, destacamos os Poblete *et al.* (2020) encontraram as regiões espectrais do azul (bandas entre 400 e 450 nm) como as mais significativas para detectar os sintomas do *Xylella fastidiosa* em oliveiras, também destacaram a importância de estudar métodos para diferenciar com maior acurácia o estresse biótico do abiótico. Estes autores enfatizaram a relevância de avaliar a diversidade dentro da copa das árvores afetadas, uma vez que as folhas amostradas de árvores infectadas exibiram notável variação espectral em relação à severidade da infecção.

De acordo com Khan *et al.* (2020), em plantas de trigo afetadas por oídio, foi observada uma ligeira variação na concentração de pigmentos e na capacidade fotossintética durante o estágio inicial da infecção. Entretanto, esses aspectos apresentaram uma redução significativa à medida que a doença progredia. As bandas mais cruciais para a detecção precoce do oídio foram identificadas na faixa do infravermelho próximo. Em relação à detecção da fusariose em trigo, Zhang *et al.* (2019) desenvolveram um mapa utilizando dados hiperespectrais para esclarecer a importância de comprimentos de onda específicos na distinção entre tecidos saudáveis e afetados por *Fusarium* no trigo de inverno. Da mesma forma, ao estudar a podridão do carvão na soja, Nagasubramanian *et al.* (2019) identificaram áreas de pixels sensíveis e demonstraram que o modelo proposto considerou amplamente as regiões espaciais com sintomas visíveis da doença.

A obtenção de imagens multiespectrais por meio de VANTs também se mostrou um método eficaz para detectar e monitorar sintomas de doenças florestais, especialmente a descoloração das folhas, como evidenciado por DASH *et al.* (2017). Finalmente, ABDULRIDHA *et al.* (2020) empregaram uma abordagem que combina imagem hiperespectral abrangendo o espectro de 380 a 1020 nm com técnicas de aprendizado de máquina para detectar vários estágios de desenvolvimento do oídio em abóbora, incluindo os estágios assintomático, inicial, intermediário e avançado da doença.

De acordo com Lu *et al.* (2020), o uso do sensoriamento remoto com imagens hiperespectrais, capturadas por satélites e drones, tem demonstrado sucesso significativo na extração de informações ricas dessas imagens. A integração de câmeras hiperespectrais em VANTs possibilita a detecção ágil e eficaz de plantas doentes, permitindo estratégias mais adequadas para o monitoramento de doenças, visando à minimização de prejuízos. É importante notar que, apesar dos benefícios dessa tecnologia em contextos agrícolas, a maioria das pesquisas ainda se concentra em ambientes laboratoriais. Isso ocorre porque os atuais tecnologias e algoritmos de análise são otimizados para funcionar em ambientes controlados de laboratório (BARBEDO, 2023).

Os estudos destacam a necessidade de pesquisa adicional para avaliar a precisão da detecção em situações de infecções mistas, considerando, por exemplo, plantas afetadas por múltiplas doenças. Espera-se que a integração de inteligência artificial e aprendizado de máquina melhore a precisão da detecção, enquanto a disponibilidade de dados de satélites e VANTs aumenta a acessibilidade dessa tecnologia aos agricultores em todo o mundo.

Conclusão

O propósito fundamental desta análise teórica foi oferecer suporte tanto a pesquisadores quanto a profissionais da agricultura, visando proporcionar uma compreensão mais abrangente dos avanços na área da agricultura de precisão, juntamente com as potencialidades e limitações das imagens hiperespectrais em relação ao combate de pragas e doenças agrícolas. Adicionalmente, buscamos fomentar a adoção dessa tecnologia de elevado valor. Também apresentamos sugestões que apontam para possíveis direções de pesquisa futura no contexto das imagens hiperespectrais aplicadas à agricultura de precisão, uma vez que ainda há uma escassez significativa de dados de pesquisa nesse domínio.

É crucial adotar abordagem de produção agrícola sustentável, na qual a detecção de infestações de pragas e patógenos no estágio inicial é imperativa. Isso permite a implementação de práticas de manejo criteriosas para mitigar os problemas, fortalecer o conhecimento científico buscando aprimorar as técnicas existentes e desenvolver novas metodologias aplicáveis em campo. Embora haja desafios a serem superados, essa tecnologia tem o potencial de revolucionar a agricultura ao permitir uma detecção precoce e eficaz de problemas nas lavouras, contribuindo para uma produção agrícola mais eficiente e sustentável.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Referências

- ABDULRIDHA, J.; AMPATZIDIS, Y.; ROBERTS, P.; KAKARLA, S. C. Detecting powdery mildew disease in squash at different stages using UAV-based hyperspectral imaging and artificial intelligence. **Biosystems engineering**, v. 197, p. 135-148, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.001>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511020301926?casa_token=UAtYmdSp7W0A AAAA:oLLCb7JX7L1SqY9FqgO6jphe0XnWNACDKYrKn6KyJeB4ce0vLaWqA0qFYjA-2qRh3RerNuu2SvY. Acesso em: 29 jul. 2023.
- BARBEDO, Jayme Garcia Arnal. A review on the combination of deep learning techniques with proximal hyperspectral images in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 210, p. 107920, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107920>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169923003083?casa_token=rl-T3cV6-AAAAA:9NhHhe8eXleic_6o7L-nQm8H_UNWL1hivSFcrPWEzu1QCdgK8Lk7ilf7nL6slEtGXKdakRCOhI4. Acesso em: 29 jul. 2023.
- CALDERÓN, R.; MONTES-BORREGO, M.; LANDA, B. B.; NAVAS-CORTÉS, J. A.; ZARCO-TEJADA, P. J. Detection of downy mildew of opium poppy using high-resolution multi-spectral and thermal imagery acquired with an unmanned aerial vehicle. **Precision Agriculture**, v. 15, p. 639-661, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9360-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-014-9360-y#citeas>. Acesso em: 29 jul. 2023.
- GONÇALVES, D. C.; RIBEIRO, W. R.; GONCALVES, D. C.; MENINI, L.; COSTA, H. Recent advances and future perspective of essential oils in control Colletotrichum spp.: A sustainable alternative in postharvest treatment of fruits. **Food Research International**, v. 150, p. 110758, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110758>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399692100658X?casa_token=UfDguFmBf8IAA AAA:Gv_rhlmxAY9Sn2nenTdVqq8A5XpqIEo0Aa_hKVJaj6_Bmy_IWagF_Vc4J2Ote5n7R7vOrAg5B44. Acesso em: 24 jul. 2023.
- DASH, J. P.; WATT, M. S.; PEARSE, G. D.; HEAPHY, M.; DUNGEY, H. S. Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 131, p. 1-14, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271617302745>. Acesso em: 27 jul. 2023.
- GUI, J.; FEI, J.; WU, Z.; FU, X.; DIAKITE, A. Grading method of soybean mosaic disease based on hyperspectral imaging technology. **Information Processing in Agriculture**, v. 8, n. 3, p. 380-385, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.10.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317320302122>. Acesso em: 29 jul. 2023.
- KHAN, A.; VIBHUTE, A. D.; MALI, S.; PATIL, C. H. A systematic review on hyperspectral imaging technology with a machine and deep learning methodology for agricultural applications. **Ecological Informatics**, v. 69, p. 101678, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101678>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954122001285?casa_token=0NjiUfQ3_EcAAA AA:5yl2RKS20ucLkaMj9Efv0xliNPNmNSiDdfxNdUxtqun2HLh9SWhryXrJhHrX1xGrHUxyislvkGU. Acesso em: 27 jul. 2023.
- KHAN, I. H.; LIU, H.; CHENG, T.; TIAN, Y.; CAO, Q.; ZHU, Y.; YAO, X. Detection of wheat powdery mildew based on hyperspectral reflectance through SPA and PLS-LDA. **International Journal of Precision Agricultural Aviation**, v. 3, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20200301.67>. Disponível em: <http://ijpaa.org/index.php/ijpaa/article/view/67/65>. Acesso em: 27 jul. 2023.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

LU, B.; DAO, P. D.; LIU, J.; HE, Y.; SHANG, J. Recent advances of hyperspectral imaging technology and applications in agriculture. **Remote Sensing**, v. 12, n. 16, p. 2659, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12162659>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/16/2659>. Acesso em: 07 ago. 2023.

NAGASUBRAMANIAN, K.; JONES, S.; SINGH, A. K.; SARKAR, S.; SINGH, A.; GANAPATHYSUBRAMANIAN, B. Plant disease identification using explainable 3D deep learning on hyperspectral images. **Plant methods**, v. 15, p. 1-10, 2019. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0479-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13007-019-0479-8#citeas>. Acesso em: 10 ago. 2023.

PERUZZOLO, Marina Carvalho; GRANGE, Luciana; RONQUI, Ludimilla. **Mortalidade de abelhas sem ferrão *Scaptotrigona bipunctata* sob os efeitos dos herbicidas paraquat e diquat**. Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR, v. 24, n. 1cont, 2021. <https://doi.org/10.25110/arqvet.v24i1cont.2021.8408>. Disponível em: <https://ojs.revistasunipar.com.br/index.php/veterinaria/article/view/8408/4126>. Acesso em: 28 jul. 2023.

POBLETE, T.; CAMINO, C.; BECK, P. S. A.; HORNERO, A.; KATTENBORN, T.; SAPONARI, M.; ZARCO-TEJADA, P. J. Detection of Xylella fastidiosa infection symptoms with airborne multispectral and thermal imagery: Assessing bandset reduction performance from hyperspectral analysis. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 162, p. 27-40, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.02.010>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271620300496?casa_token=idXZbOVNhEAAA:dSkjicNz16QaQ6fAQvGlgVg2pvqa1U-TkLbJbGJ8uuzaKyQZ7DK89DMFyWkagTFFOkpyyY5t5_U. Acesso em: 04 ago. 2023.

VASCONCELLOS, P. R. O.; RIZZOTTO, M. L. F.; OBREGÓN, P. L.; ALONZO, H. G. A. Exposição a agrotóxicos na agricultura e doença de Parkinson em usuários de um serviço público de saúde do Paraná, Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 28, p. 567-578, 2020. <https://doi.org/10.1590/1414-462X202028040109>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cadsc/a/rZvWqRcHvNfYrQmvpZp46Ft/?lang=pt&format=html>.

ZHANG, J.; HUANG, Y.; PU, R.; GONZALEZ-MORENO, P.; YUAN, L.; WU, K.; HUANG, W. Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 165, p. 104943, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104943>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816991930290X?casa_token=hghDFpgCDDoA AAAA:EXFLUgxfkUEl6mmZX0pPiF98DyS486T-u0DW8h-9-CXIA5wYq6HuBW-5A5B16EF4Ms52ILRwBs8. Acesso em: 27 jul. 2023.

ZHANG, N.; PAN, Y.; FENG, H.; ZHAO, X.; YANG, X.; DING, C.; YANG, G. Development of Fusarium head blight classification index using hyperspectral microscopy images of winter wheat spikelets. **Biosystems Engineering**, v. 186, p. 83-99, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.06.008>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511019301291?casa_token=0XtBo6OFhBYAAA:rG5tX8a3yLYfFZuQTsz8DwVQgD4Aglxf3kTeBoalFt0ohZcOAgVLH4todxwa9QQ68K8x19hJxd4. Acesso em: 29 jul. 2023.

Agradecimentos

Ao Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (Idaf), a Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (Seag), a Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovação e Educação Profissional (SECTI) e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES).