

Aplicações do Sensoriamento Remoto na Fitonematologia: Uma Revisão de Literatura



Francisco Jorge Carlos de Souza Junior; Mayara Castro Assunção;
Arieleno Augusta Rodrigues Mello; Jaime Corbiniano Santos Neto; Liany
Regina Bezerra de Oliveira Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco

RESUMO

A agroindústria é um dos pilares fundamentais no desenvolvimento econômico do Brasil. Entre os principais problemas fitossanitários, as doenças são de enorme preocupação para o setor rural, os organismos podem causar perdas de formas diretas e indiretas, principalmente os fitonematoides. Os fitonematoides se destacam por causarem danos em diversas culturas, como a soja, café, algodão, cana de açúcar, entre outros. Sendo fundamental o uso de tecnologia para amenizar esses danos, o sensoriamento remoto se consolida como uma ferramenta para auxiliar no manejo das fitonematoses. O sensoriamento remoto é realizado por equipamentos com sensores multiespectrais, filmadoras e câmeras, que facilitam a visibilidade e a tomada de decisão no manejo das doenças causadas por fitonematoides.

Palavras chave: Agricultura de precisão, Sensoriamento Remoto. Fitonematoides

ABSTRACT

Agribusiness is one of the fundamental pillars in Brazil's economic development. Among the main phytosanitary problems, diseases are of great concern to the rural sector, organisms can cause losses in direct and indirect ways, mainly phytomatomatoids. Phytonematoids stand out for causing damage in several crops, such as soy, coffee, cotton, sugar cane, among others. Since the use of technology to mitigate these damages is essential, remote sensing is consolidated as a tool to assist in the management of phytonmatoses. Remote sensing is performed by equipment with multispectral sensors, camcorders and cameras, which facilitate visibility and decision-making in the management of diseases caused by phytonmatoids.

Key Words: Precision agriculture, Remote sensing, Phytonematodes

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), o comércio agrícola internacional tem rendimentos superiores a um trilhão de dólares, sendo mais de 800 milhões de dólares apenas com alimentos (FAO, 2015). A agroindústria tem sido crucial para o crescimento econômico brasileiro, correspondendo aproximadamente a 291 bilhões de dólares, a maior parcela é do ramo agrícola, que corresponde a 68% desse valor, seguida pela pecuária com 32% (CNA, 2020). O agronegócio brasileiro em 2019 foi responsável por 43,2% da exportação do país,

gerando lucros de US\$ 96,8 bilhões, representando 21,4% do PIB nacional, quando se contabiliza os bens e serviços gerados pelo setor agrícola (MAPA, 2020).

Entre os problemas fitossanitários que afetam as principais culturas cultivadas mundialmente, as doenças se destacam principalmente por causar perdas produtivas causadas pela ação direta ou indireta dos patógenos, dentre eles, os fitonematoides destaca-se por afetarem diversas culturas globalmente, apenas na cultura da soja são responsáveis por perdas de 10% na produção nos Estados Unidos da América e de mais de 5% no Brasil (MACHADO et al., 2019). No Brasil os fitonematoides são considerados um dos principais fatores limitantes ao aumento e à manutenção da produtividade para as principais culturas de interesse agrônômico (OERKE et al., 2010).

Visando o manejo correto das doenças causadas por fitonematoides é importante a identificação do agente causal além do acompanhamento da disseminação na área. Apenas uma pequena falha no monitoramento do agente fitopatogênico resulta em implicações tanto na produção agrícola, como na segurança alimentar. Em resposta à crescente demanda por alimentos surgem novas técnicas voltadas aos sistemas de produção, baseada em pesquisas voltadas à eficiência. Dentre elas, as técnicas de acompanhamento das culturas proporcionam examinar o desenvolvimento da cultura e os diversos tratamentos culturais aplicados (GIMENEZ et al., 2008).

Visando medidas de controle de doenças cada vez mais eficientes, é extremamente importante conhecer os danos causados pelas doenças para estabelecer eficientes controles (FANTIN; DUARTE, 2009). A quantificação de doenças de plantas é um dos mais importantes campos de atuação da fitopatologia (JAMES, 1974). A fitopatometria possui extrema importância, podendo ser comparada a análise etiológica da doença, entretanto junto ao mesmo faz-se necessária a quantificação dos danos acarretados pela presença dos patógenos envolvidos, para a análise do mesmo tem-se a avaliação da incidência e a severidade apresentada pelo ataque dos patógenos (BELASQUE JÚNIOR et al., 2005).

É fundamental a realização de estudos epidemiológicos, principalmente a quantificação de doenças de plantas, para viabilizar métodos de controle de doenças no desenvolvimento de medidas de manejos eficazes (NAUE et al., 2011). Segundo Naue et al. (2011) o sensoriamento remoto é uma técnica que se vale da utilização de um conjunto de sensores, equipamentos para processamento de dados com projeção inicial ao estudo de ambientes terrestre, a mesma utiliza-se de uma tecnologia que trabalha com base nas informações sobre os objetos a serem estudados sem que haja contato físico entre os mesmos.

O sensoriamento remoto quando utilizado na agricultura para quantificação de doenças, baseia-se na radiação que é refletida da biomassa, em específico das folhas, sendo sua quantidade e qualidade de radiação refletida alterada de acordo com fatores, sendo a sanidade dos tecidos vegetais um deles variando e diferenciando sua reflectância dos tecidos saudáveis dando possibilidade de quantificação e pelas diferenças (WENDLING, 2014). Portanto, o presente estudo tem por objetivo comparar a utilização do sensoriamento remoto aplicados a estudos com nematoides parasitas de plantas.

2. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão bibliográfica realizada em diversos bancos de dados, porém com foco nos bancos de dados oficiais da PubMed, Scopus, Web of Science e Google Scholar. O período da coleta do material foi entre janeiro e julho de 2020. Como fonte de coleta foram utilizados diversos trabalhos publicados relacionados à fundamentação teórica do sensoriamento remoto, bem como na utilização em estudos com fitonematoides em diferentes patossistemas. Os trabalhos utilizados foram selecionados em relação ao tema em questão deste trabalho. Após a seleção foi realizada a análise dos trabalhos científicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No levantamento bibliográfico, foram selecionados 35 trabalhos e estudos na área de nematologia visando demonstrar a aplicabilidade do sensoriamento remoto. Foi observado que nas diversas aplicações do sensoriamento remoto, a utilização da área da cobertura vegetal possui uma evidência em diversas pesquisas realizadas na área da fitonematologia, com o enfoque principal para a folha, que além de formar o dossel vegetal é nela que ocorrem as interações estudadas da radiação solar com a planta (PONZONI, 2001). Foi observado que índices como *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Vegetation Condition Index* (VCI) são bastante utilizados para acompanhamento do progresso vegetativo, principalmente o estresse vegetativo e avaliação da produção da cultura, que podem estar diretamente relacionados ao estresse hídrico, além da relação de possível ataque de fitopatógenos (SILVA et al., 2020).

Os sensores remotos são sensíveis a um padrão de comprimentos de onda através da radiação eletromagnética, que é emitida e refletida pelas plantas. Esta radiação serve como fonte de informações sobre a cultura, podendo ser consultado o seu estágio de desenvolvimento e os problemas fitossanitários no cultivo (LAMPARELLI et al., 2001). Entre as variáveis que interferem na reflectância da planta estão os estresses provocados por doenças (CANTERI et al., 1996).

O uso do sensoriamento remoto para estudos de danos ocasionados em plantas por doenças ocasionadas por fitonematoides tem avançado constantemente nos últimos anos (ORTEGA; SANTIBÁÑEZ, 2007). Cada cultura emite e reflete uma radiação distinta, que é resultado das condições ambientais e variação fenotípica de cada espécie. Sendo a refletância bastante sensível a fatores que são causados por ataque de patógenos nas culturas, pois os tecidos vegetais quando estressados por esses agentes bióticos apresentam refletância diferente de tecidos vegetais normais. É observada uma diminuição da refletância, uma vez que o tamanho, a forma, a morfologia e até a anatomia do tecido infectado difere de um tecido vegetal sadio. Através dessa observação é possível quantificar doenças por diferenças de refletância utilizando o sensoriamento remoto (MORAES, 2007; NIU et al., 2020). Segundo Miyoshi et al. (2018) o uso de imagens multiespectrais do VANT auxilia a tomada rápida de decisões principalmente no monitoramento da cultura.

Dentre os problemas fitossanitários das monoculturas ou culturas extensivas do Brasil, os fitonematoides parasitas constituem um dos principais fatores restritivos ao aumento e à manutenção da produtividade e com isso apresentam possibilidades crescentes no emprego de tecnologias como a agricultura de precisão (OERKE et al., 2010). O sensoriamento remoto é aplicado na fitonematologia na área de quantificação de doenças de plantas por meio da radiação refletida das folhagens, utilizando técnicas de fotografias aéreas infravermelhas e radiômetros de múltiplo espectro, usados para medir a refletância da folhagem, além de ser direcionada para detecção e delimitação de áreas infestadas por fitonematoides, com o intuito de elaborar métodos de manejo viáveis (MORAES, 2007; MARTINS et al., 2015).

A identificação da presença de fitonematoides em uma área pode ser feita com o uso de imagens de satélite compostas por diferentes bandas do espectro eletromagnético que podem ser usadas para calcular índices espectrais de vegetação (HATFIELD et al. 2008; JENSEN; EPIPHANIO, 2011). Tais índices espectrais podem discriminar a vegetação de outros alvos de superfície, expressar o vigor da planta e identificar vegetação verde e saudável, diferenciando-a de estressada (WANG et al. 2012; MARSHALL et al. 2016; XUE; SU, 2017; AMARAL et al. 2019).

A ação dos fitopatógenos na alteração da região do visível e do infravermelho acontece quando os agentes patogênicos infectam a planta, provocando mudança na absorção da luz incidente, pois ocorre uma série de mudança interna na planta resultante da redução do teor de clorofila, variações nos demais pigmentos e na estrutura interna do tecido vegetal. A alteração da absorção da luz incidente ocasionam influência direta na refletância espectral na faixa do infravermelho próximo de tecidos vegetais infectados

(MOREIRA, 2011). Confirmando o estudos de Canteri et al. (1996), que relataram que quanto maior a severidade da doença, maior será a refletância.

Na cultura da soja (*Glycine max* L.) a técnica do sensoriamento remoto é bastante empregada para detectar a presença do nematóide do cisto, *Heterodera glycines*, por meio da análise espectrorradiometria da área (BAJWA et al., 2017; KULKARNI et al., 2008). Em estudo de Santos Junior et al. (2002) foram observadas correlação da infestação de *H. glycines* com a resposta espectral da área de cultivo de soja quando infestada pelo patógeno, essa influência permitiu tanto a detecção, como o mapeamento das áreas no experimento com *H. glycines*.

Contina et al. (2018) empregaram o sensoriamento remoto para estudar o padrão espacial e a dinâmica espaço-temporal da progressão *Globodera pallida* em campo de produção de batata (*Solanum tuberosum* L.). Trabalhando com a cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), Marchiorato et al. (2002) observaram o comportamento de *Meloidogyne incognita*, e observaram a influência do fitonematoides na reflectância, através da observação em plantas de algodoeiro que apresentavam em suas raízes uma alta densidade populacional de *M. incognita*, possuíam uma menor taxa de biomassa e portanto uma menor reflectância, que era utilizada na técnica para detectar fitonematoides. Semelhantemente, Palacharla (2011) também utilizou o sensoriamento remoto na cultura do algodão, porém para avaliar a infestação de *Rotylenchulus reniformis*.

Nos estudos com a cultura da cana de açúcar (*Saccharum* spp.) realizado por Menegatti e Silva (2010) foi observado que as plantas quando era infestada por fitonematoides, ocorriam diversos processos nas plantas, desde a redução das raízes e porte da planta, que era justamente detectada nas áreas em que ocorria a maior reflectância, analisando por meio de imagens de satélites.

Estudos com a cultura do café (*Coffea* spp.) se aplica o uso de sensoriamento remoto orbital, a partir de imagens multiespectrais RapidEye e obtiveram dados relacionados a diferenciação e mapeamento da sanidade (saudáveis, moderadamente saudáveis e severamente infectadas) de plantas infectadas por fitonematoides a partir da variação espectral nas folhas (MARTINS et al., 2017), e analisaram o teor de macro e micronutrientes das plantas (MARTINS et al., 2019), e a partir desses parâmetros foi possível discriminar as áreas que encontravam-se sob influência de fitonematoides, em ambos os estudos. Oliveira et al. (2019) detectaram a presença de fitonematoides em lavouras de café em diversas altitudes, usando imagens aéreas por meio do sensoriamento remoto.

Em estudo de suscetibilidade e tolerância de cultivares da beterraba (*Beta vulgaris* L.) Joalland et al. (2018) utilizaram a técnica de sensoriamento remoto por meio de drones e sensores para realizar projeções de rendimento da cultura com base na suscetibilidade da cultura. Hillnhütter et al. (2011) utilizaram o sensoriamento remoto para detectar *Heterodera schachtii* em campos de produção de *B. vulgaris*.

Em hortaliças, Silva-Sánchez et al. (2019) utilizou o sensoriamento remoto para estudar o rendimento de plantas de berinjela (*Solanum melongena* L.) em relação ao enxerto, como forma de controle dos nematoides das galhas, *Meloidogyne* spp., por meio da análise das plantas em níveis de folha única e copa inteira. Em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), Žibrat et al. (2019) usaram a ferramenta para avaliar a aplicabilidade do sensoriamento remoto hiperespectral para identificação precoce do estresse hídrico e infestações por *Meloidogyne* spp.

Em estudo florestais, Qin et al. (2016) estudando a doença da murcha do pinheiro (*Pinus* spp.) causada pelo fitonematoide *Bursaphelenchus xylophilus*, utilizaram o sensoriamento remoto para definir diagnóstico precoce da doença a fim de possibilitar alertas e previsões com relação a técnicas de manejo eficientes para um bom desenvolvimento e conseqüentemente uma boa produtividade de árvores de pinheiro saudáveis. Também estudando *B. xylophilus*, Kim et al. (2017) utilizou a ferramenta do sensoriamento remoto para realização de levantamento da espécie em relação à infestação em área de *Pinus* spp. Já em campo de seringueira (*Hevea brasiliensis*) a ferramenta é utilizada para estudos de infestação do *Meloidogyne exigua*, visando determinar pontos de amostragem e divisão das áreas com diferentes níveis de graus de desfolha na cultura (DUARTE et al., 2019; LEMES et al. 2019).

3. CONCLUSÃO

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta na fitonematologia, pois permite de maneira rápida e eficiente detectar a doença em áreas de cultivo, em relação a levantamento clássico com a amostragem de toda a área. Com o uso do sensoriamento remoto há um direcionamento das atividades de manejo em uma propriedade, como é o caso das aplicações de químicos que são feitas de maneira localizada, diminuindo os gastos do produtor e preservando o meio ambiente.

Portanto, a utilização do sensoriamento remoto permite o acompanhamento de grandes áreas de produção agrícola, auxiliando na obtenção da máxima produtividade, permitindo diferenciar áreas de plantas assintomáticas infectadas de áreas não infectadas. A expectativa é que estes conjunto de técnicas serão bastante utilizados nos próximos anos, ajudando a prevenir grandes perdas, pois a identificação será cada vez

mais rápida em campo, aumentando a produtividade e gerando produtos de maior valor em qualidade.

4. REFERÊNCIAS

AMARAL, E. S.; SILVA, D. V.; DOS ANJOS, L.; SCHILLING, A. C.; DALMOLIN, Â. C.; MIELKE, M. S. Relationships between reflectance and absorbance chlorophyll indices with RGB (Red, Green, Blue) image components in seedlings of tropical tree species at nursery stage. **New Forests**, v. 50, n. 3, p. 377-388, 2019.

BAJWA, S. G.; RUPE, J. C.; MASON, J. Soybean disease monitoring with leaf reflectance. **Remote Sensing**, v. 9, n. 2, p. 127, 2017.

BELASQUE JÚNIOR, J., BASSANEZI, R.B., SPÓSITO, M.B., RIBEIRO, L.M., JESUS JUNIOR, W.C.; AMORIM, L. Escalas diagramáticas para avaliação da severidade do cancro cítrico. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, p. 387-393, 2005.

CANTERI, M. G.; DALLA PRIA, M.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Uso de radiômetro de múltiplo espectro para quantificar danos. **Fitopatologia Brasileira**, v. 21, p. 350, 1996.

CANTERI, M. G.; DALLA PRIA, M.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Uso de radiômetro de múltiplo espectro para quantificar danos. **Fitopatologia Brasileira**, v. 21, p. 350, 1996.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Panorama do Agro**. 2020. Disponível em: <http://https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro#_ftn1>. Acesso: 02/07/2020.

CONTINA, J. B.; DANDURAND, L. M.; KNUDSEN, G. R. A spatial analysis of the potato cyst nematode *Globodera pallida* in Idaho. **Phytopathology**, v. 108, n. 8, p. 988-1001, 2018.

DUARTE, D. M.; SILVA, C. R. D.; LEMES, E. M.; COELHO, L.; RODRIGUES, F. Analysis of Infestation of Nematode *Meloidogyne exigua* in a Rubber Tree Plantation in the Triângulo Mineiro Region. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, p. 1-7, 2019.

FANTIN, G.M.; DUARTE, A.P. **Manejo de doenças na cultura do milho safrinha**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2009.

GIMENEZ, L. M.; ANJOS, W. G. **Agricultura de precisão**. Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 2008.

HATFIELD, J. L.; GITELSON, A. A.; SCHEPERS, J. S.; WALTHALL, C. L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. **Agronomy Journal**, v. 100, S-117, 2008.

HILLNHÜTTER, C.; MAHLEIN, A. K.; SIKORA, R. A.; OERKE, E. C. Remote sensing to detect plant stress induced by *Heterodera schachtii* and *Rhizoctonia solani* in sugar beet fields. **Field Crops Research**, v. 122, n. 1, p. 70-77, 2011.

JAMES, W.C. Assessment of plant disease and losses. **Annual Review Phytopathology**, v. 12, p. 27-48, 1974.

JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2011.

JOALLAND, S.; SCREPANTI, C.; VARELLA, H. V.; REUTHER, M.; SCHWIND, M.; LANG, C.; LIEBISCH, F. Aerial and ground based sensing of tolerance to beet cyst nematode in sugar beet. **Remote Sensing**, v. 10, n. 5, p. 787, 2018.

KIM, M.; BANG, H.; LEE, J. Use of unmanned aerial vehicle for forecasting pine wood nematode in boundary area: A case study of Sejong Metropolitan Autonomous City. **Journal of Korean Society of Forest Science**, v. 106, n. 1, p. 100-109, 2017.

KULKARNI, S. S.; BAJWA, S. G.; RUPE, J. C.; KIRKPATRICK, T. L. Spatial correlation of crop response to soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*). **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 4, p. 1451-1459, 2008.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001.

LEMES, E. M.; MACHADO, T. V.; GONTIJO, L. N.; ANDRADE, S. L.; TORRES, J. L.; SANTOS, M. A.; COELHO, L. Detection of rubber tree orchards infested by *Meloidogyne exigua* using vegetation indexes obtained from satellite images. **New Forests**, p. 1-15, 2019.

MACHADO, A. C. Z.; SILVA, S. A.; FERRAZ, L. C. C. B. **Métodos em Nematologia Agrícola**. Piracicaba : Sociedade Brasileira de Nematologia, 2019.

MARCHIORATO, I. A.; RUDORFF, B. T.; SANTOS, J. M.; SANTOS JUNIOR, R. F. Utilização do sensoriamento remoto para a detecção de *Meloidogyne incognita* em algodão. In: **Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão**, 2, 2002, Viçosa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2002.

MARSHALL, M.; OKUTO, E.; KANG, Y.; OPIYO, E.; AHMED, M. Global assessment of vegetation index and phenology lab (VIP) and global inventory modeling and mapping studies (GIMMS) version 3 products. **Biogeosciences**, v. 13, n. 3, p. 625–639, 2016.

MARTINS, G. D.; GALO, M. D. L. B. T.; VIEIRA, B. S.; JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X. Mapping Nutrients Content in a Nematode-Infected Coffee Plantation by Empirical Models Derived from RapidEye Image. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 3, p. 164-177, 2019.

MARTINS, G. D.; GALO, M. L. B. T.; VIEIRA, B. S. Detecting and mapping root-knot nematode infection in coffee crop using remote sensing measurements. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 10, n. 12, p. 5395-5403, 2017.

MARTINS, L. M.; CASTRO, J.P.; BENTO, R.; SOUSA, J. J. Monitorização da condição fitossanitária do castanheiro por fotografia aérea obtida com aeronave não tripulada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 2, p. 184-190, 2015.

MENEGATTI, S.; SILVA, J. **Nematoides em Cana-de-açúcar**. 2010. Disponível em:<http://www.cana.com.br/biblioteca/cartilha_praga/nematoides.pdf>. Acesso: 12/08/2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Vendas externas do agronegócio somam US\$96,8 bilhões em 2019**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/@/@search?SearchableText=US%24+96%2C8+bilh%C3%B5es>>. Acesso: 15/08/2020.

MIYOSHI, G. T.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G.; HONKAVAARA, E., NÄSI, R.; MORIYA, É. A. S. Radiometric block adjustment of hyperspectral image blocks in the Brazilian environment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 15-16, p. 4910-4930, 2018.

MORAES, S. A. **Quantificação de doenças de plantas**. 2007. Disponível em:<http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/doencas/index.htm>. Acesso: 02/06/2020.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4.ed. atual. E ampl. – Viçosa, MG : Ed. UFV, 2011.

NAUE, C.R.; MARQUES M.W.; LIMA, N.B.; GALVÍNCIO, J.D. Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v 3, n 3, p 190-195, 2011.

NIU, H.; ZHAO, T.; WESTPHAL, A.; CHEN, Y. A low-cost proximate sensing method for early detection of nematodes in walnut using Walabot and scikit-learn classification algorithms. In **Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping**, v. 11414, p. 114140K, 2020.

OERKE, E. C.; GERHARDS, R.; MENZ, G.; SIKORA, R. A. **Precision Crop Protection - The Challenge and Use of Heterogeneity**. Nova York: Springer, 2010.

OLIVEIRA, A. J.; ASSIS, G. A.; FARIA, E. R.; SOUZA, J. R.; VIVALDINI, K. C.; GUIZILINI, V.; WOLF, D. F. Analysis of nematodes in coffee crops at different altitudes using aerial images. In: **European Signal Processing Conference**, 27, 2019, Corunas: EUSIPCO, 2019. p. 1-5.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **Frear as pragas e as doenças das plantas: especialistas planejam medidas a nível global**. 2015. Disponível em:< <https://www.fao.org/br/fpdpepmng.asp>>. Acesso: 02/07/2020.

ORTEGA, R. A.; SANTIBÁÑEZ, O. A. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.). **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 58, p. 49-59, 2007.

PALACHARLA, P. K. **Machine learning driven model inversion methodology to detect reniform nematodes in cotton**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia elétrica) - Mississippi State University, Mississippi, 2011.

Ponzoni, F. J. **Comportamento espectral da vegetação**. In: Meneses, P.R.; Madeira Netto, J.S. Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília: Editora Universidade de Brasília/Embrapa Cerrados, 2001. p. 157-199.

QIN, L.; WANG, X.; JIANG, J.; YANG, X.; KE, D.; LI, H.; WANG, D. Use hyperspectral remote sensing technique to monitoring pine wood nomatode disease preliminary. In: **Hyperspectral Remote Sensing Applications and Environmental Monitoring and Safety Testing Technology**. International Society for Optics and Photonics, 2016. p. 101561L.

SANTOS JUNIOR, R.F.; SANTOS, J.M.; RUDORFF, B.F.T.; MARCHIORATO, I.A. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 355-360, 2002.

SILVA-SÁNCHEZ, A.; BUIL-SALAFRANCA, J.; CABRAL, A.C.; URIZ-EZCARAY, N.; GARCÍA-MENDÍVIL, H.A.; SORRIBAS, F.J.; ARAUS, J.L.; GRACIA-ROMERO, A. Comparison of Proximal Remote Sensing Devices for Estimating Physiological Responses of Eggplants to Root-Knot Nematodes. **Proceedings**, v. 18, n. 9, p. 1-7, 2019.

SILVA, A. B.; PESSI, D. D.; SILVA, N. M. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Vegetation Condition (VCI) of the Tadarimana Indigenous Land to Identify Susceptible Areas to Forest Fire. **Biodiversidade Brasileira**, v. 10, n. 1, p 63, 2020.

WANG, K.; XIANG, W. N.; GUO, X.; LIU, J. Remote sensing of forestry studies. In: Okia, C. A. (Eds.). **Global perspectives on sustainable forest management**, Rijeka: BoD–Books on Demand, 2012, p. 205-216.

WENDLING, A. **Sensoriamento remoto para identificação da variabilidade no índice de massa da soja e auxílio no diagnóstico de suas causas**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

XUE, J.; SU, B. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. **Journal of Sensors**, v. 2017, n. 1353691, p. 1-17, 2017.

ŽIBRAT, U.; SUSIČ, N.; KNAPIČ, M.; ŠIRCA, S.; STRAJNAR, P.; RAZINGER, J.; VONČINA, A.; UREK, G.; STARE, B. G. Pipeline for imaging, extraction, pre-processing, and processing of time-series hyperspectral data for discriminating drought stress origin in tomatoes. **MethodsX**, v. 6, p. 399-408, 2016.