Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão

Remote sensing as a toll for the study of plant diseases on agriculture: a revision

Carine Rosa Naue¹, Marília Wortmann Marques¹, Nelson Bernardes Lima¹, Josicléda Domiciano Galvêncio²

¹Doutoranda (o) do Programa de Pós Graduação em Fitopatologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Avenida Dom Manuel de Medeiros Dois Irmãos – Recife, CEP: 52171-900, PE – Brasil. E-mail: crnaue@yahoo.com.br, mariliawmarques@hotmail.com, nblima@hotmail.com

²Professora do Departamento Ciências Geográficas UFPE. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 Cidade Universitária, Recife - PE - CEP: 50670-901 | Fone PABX: (81) 2126.8000. E-mail: josicleda@hotmail.com

Artigo recebido em 07/12/2010 e aceito em 09/02/2011

Resumo

Para que estudos epidemiológicos e medidas de controle de doenças de plantas fossem realizados foi necessário o desenvolvimento de métodos de quantificação de doenças. As doenças podem ser avaliadas por métodos diretos ou indiretos e dentre os métodos diretos encontram-se a estimativa dos parâmetros de incidência e severidade e as técnicas de sensoriamento remoto. Em estudos de doenças de plantas, o sensoriamento remoto, além de ser utilizado para quantificação, também poderá servir para a detecção de plantas infectadas. A detecção de doenças de plantas ou até mesmo sua quantificação, através do sensoriamento remoto, baseia-se na radiação refletida das folhagens. As diferenças de reflectância podem ser obtidas pelo sensoriamento remoto multispectral, que tem sido utilizado de forma eficiente para controlar a incidência de um número de patógenos de plantas e atualmente por medidas hiperespectrais. O objetivo deste artigo é apresentar uma revisão sobre o uso do sensoriamento remoto na detecção e análise de doenças de plantas. Os estudos apresentados aqui mostram que o sensoriamento remoto é uma ferramenta que pode ser utilizada para detectar plantas doentes de forma rápida e eficiente em pequenas e grandes áreas geográficas. Além disso, pode detectar plantas infectadas, dispensar a coleta e o processamento de amostras em laboratório permitindo levantamentos precisos e confiáveis, em curto espaço de tempo, independente do tamanho da área em questão. Além disso, pode proporcionar diversos estudos na área de fitopatologia e afins.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, doenças de plantas, hiperespectral

Abstract

For epidemiological studies and measures to control plant diseases were carried out was necessary to develop methods of quantifying disease. The diseases can be assessed by direct or indirect methods and among the direct methods are estimating the incidence and severity parameters and remote sensing techniques. In studies of plant diseases, remote sensing is used to quantify, can also serve for detection of infected plants. The detection of plant diseases or even to quantify, through remote sensing, based on reflected radiation from foliage. The differences in reflectance can be obtained by multispectral remote sensing, which has been used effectively to control incidence a number of plant pathogens and recently, hyperspectral measurements. The aim of this paper is present a review on use of remote sensing in detection and analysis of plant diseases. The studies presented here show that remote sensing is a tool that can be used to detect diseased plants quickly and efficiently in large and small geographic areas. Moreover, it can detect infected plant, waive the collection and processing of lab samples allowing accurate and reliable surveys in a short space of time, regardless of size of the area. In addition, several studies can provide in the area of plant pathology and related areas.

Key-words: remote sensing, diseased plants, hyperspectral.

Introdução

A ocorrência de doença em plantas é considerada um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento da agricultura. As doenças comprometem a produção das culturas, causam grandes prejuízos aos produtores e consumidores e provocam perdas financeiras incalculáveis. Conforme Ghini & Bettiol (2000) são estimadas perdas mundiais de até 30% da produção agrícola devido aos problemas fitossanitários.

Para a realização de estudos epidemiológicos e de controle de doenças de plantas foi necessário o desenvolvimento de métodos de quantificação de doenças, designado pelo termo fitopatometria (Agrios, 2005). Doenças de plantas podem ser avaliadas por métodos diretos, onde a estimativa da quantidade de doença é feita diretamente pelos sintomas, ou por métodos indiretos, onde a quantidade de doença é estimada pela população do patógeno. Dentre os métodos diretos encontram-se a estimativa dos parâmetros incidência e severidade e as técnicas de sensoriamento remoto (Maffia et al., 2007). Em estudos de doenças de plantas, o sensoriamento remoto, além de ser utilizado para quantificação, também pode servir para a detecção de plantas infectadas e/ou áreas atacadas por fitopatógenos.

O sensoriamento remoto é definido como uma tecnologia que adquire informações sobre objetos sem manter contato físico com os mesmos (Lillesand & Kiefer, 1994). Neste mesmo contexto, segundo Novo (1989), sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, entre outros, com a finalidade de estudar o ambiente terrestre por meio do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as diversas coberturas que compõem a superfície terrestre. Essa ferramenta está restrita a instrumentos que medem a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo em estudo (Nilsson, 1995). A energia eletromagnética é a que se encontra em maior quantidade na Terra e tem sua origem no Sol, de onde se propaga para todo espaço, por meio de ondas eletromagnéticas, na forma de radiação. A intensidade da radiação eletromagnética que atinge um sensor é o parâmetro utilizado para a obtenção dos dados dos alvos da superfície terrestre que, posteriormente são transformados em uma medida passível de interpretação.

Os diversos tipos de radiação eletromagnética são representados pelo espectro eletromagnético que contém comprimentos de onda curtos, incluindo radiação gama e raios X e grandes comprimento de onda, que abrangem as microondas e as ondas de rádio. Algumas faixas (bandas) do espectro eletromagnético apresentam denominações espaciais relacionadas com as suas características e são usualmente chamadas de espectro óptico, espectro visível, espectro solar e espectro termal.

Dentre as diferentes aplicações do sensoriamento remoto, a cobertura vegetal tem sido estudada ao longo dos anos sob diferentes níveis de Naue, C. R., Marques, M. W., Lima, N. B., Galvêncio, J. D.

abordagem. A interação entre a energia eletromagnética e a vegetação passou a ser estudada, a partir do momento em que foi descoberto que os vegetais extraem da radiação eletromagnética parte da energia que necessitam para viver. Dos elementos que formam a planta e, conseqüentemente, um dado dossel vegetal, a folha é o principal constituinte do sistema, pois é basicamente nela onde ocorrem as interações da energia solar com a planta (Ponzoni, 2001).

Estudos caracterizados como “Comportamento Espectral da Vegetação” contribuem para o aprimoramento do conhecimento entre a energia eletromagnética e a vegetação (folhas ou dosséis). O termo “comportamento espectral” está associado aos conceitos de reflectância, absortância e transmitância, ou seja, para caracterizar o comportamento espectral da vegetação é necessário ter conhecimento do processo de interação entre a radiação eletromagnética em termos destes três fenômenos físicos. Destes fenômenos, a reflectância é o mais utilizado em estudos de vegetação envolvendo técnicas de sensoriamento remoto.

Em relação às propriedades espectrais da vegetação, as folhas quando saudáveis apresentam um comportamento espectral característico em três regiões do espectro eletromagnético: região do visível (0,4 a 0,7 μ m), região do infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μ m) e região do infravermelho médio (1,3 a 2,6 μ m). No entanto, fatores como deficiência nutricional, idade e doenças podem interferir nas propriedades espectrais da folha nessas regiões do espectro eletromagnético.

A detecção de doenças de plantas ou até mesmo sua quantificação por meio do sensoriamento remoto, baseia-se na radiação refletida das folhagens. A quantidade e a qualidade da radiação refletida a partir das folhas são dependentes de vários fatores, entre eles a sanidade do tecido vegetal, que quando infectado por fitopatógenos reage causando o sintoma. Os sintomas podem ser primários, resultantes da ação direta do patógeno sobre os tecidos do órgão afetado, como manchas foliares e podridões de frutos, e secundários ou reflexos, que são exibidos pela planta em órgãos distantes do local de ação do patógeno, como subdesenvolvimento da planta e murchas vasculares. Dependendo do tipo do sintoma, tecidos infectados apresentam menor reflectância na região do infravermelho, quando comparados com tecidos saudáveis, possibilitando a sua detecção e quantificação pelas diferenças de reflectância (Guan & Nutter, 2002; West et al., 2003).

As diferenças de reflectância podem ser obtidas pelo sensoriamento remoto multispectral, que tem sido utilizado de forma eficiente para verificar a incidência de um número de patógenos de plantas (Everitt et al., 1999; Kobayashi et al., 2001; Nilsson, 1991; Raikes & Burpee, 1998) e atualmente por medidas hiperespectrais (Bravo et al., 2003; Zhang et al., 2003; Zwigelaar, 1998). Essas ferramentas foram empregadas em diferentes trabalhos e os resultados mostram-se promissores em relação a sua eficiência para a detecção e quantificação de doenças de plantas.

Para se obter um maior entendimento da utilização destas ferramentas aos estudos de doenças de

plantas é necessário o conhecimento de alguns fundamentos do sensoriamento remoto.

Comportamento espectral da vegetação

É fundamental o conhecimento do comportamento espectral da vegetação, pois a partir deste poderá ser feita a escolha da região do espectro sobre a qual se pretende adquirir os dados referentes aos estudos. Conforme, Assunção & Farmaggio (1989) o comportamento espectral da vegetação pode ser obtido pelo conhecimento de sua interação com a energia eletromagnética em três regiões do espectro. Os principais aspectos relacionados a estas regiões são:

Região do visível (0,4 a 0,7 μ m): a refletância espectral desta região é determinada pelos pigmentos existentes nas plantas podendo variar de espécies para espécie. Os pigmentos são encontrados nos cloroplastos e são divididos em clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%). Devido às características dos pigmentos, a absorção de energia é maior no comprimento de onda de 0,48 μ m para clorofila “b” e de 0,68 μ m para clorofila “a”, sendo menos intensamente absorvida entre 0,54 e 0,62 μ m.

Região do infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μ m): nesta região existe pequena absorção da radiação eletromagnética e considerável espalhamento interno devido à interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Geralmente, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e consequentemente, maior será também a refletância. A absorção da radiação eletromagnética pela água é geralmente baixa nesta região e a refletância espectral é geralmente constante.

Região do infravermelho médio (1,3 a 2,6 μ m): nessa região a refletância espectral é devida a água presente no interior da planta. A água absorve na região correspondente aos comprimentos de onda de 1,3 a 2,5 μ m, principalmente nas faixas de absorção próximas a 1,4, 1,9 e 2,7 μ m. Já os picos de refletância, nesta mesma região, ocorrem entre as regiões de absorção de água, entre 1,6 e 2,2 μ m.

Estas três regiões que compõem o espectro de resposta da vegetação e também o restante das regiões do espectro eletromagnético podem ser detectadas e registradas por sensores multiespectrais e hiperespectrais.

Dentre essas três regiões, as mais utilizadas em trabalhos relacionados a doenças de plantas, são as regiões do visível (Lippert et al. 2009) e do infravermelho próximo (Santos Junior et al. 2002). Essas regiões são as que melhor detectam os sintomas de doenças de plantas, uma vez que, na grande maioria das doenças ocorre a degeneração do protoplasma, seguida de morte de células, tecidos e órgãos ou anomalias no crescimento das plantas.

Sistemas de sensores

Um sistema de sensor, segundo Novo, (1989) pode ser definido como um dispositivo capaz de detectar e registrar a energia eletromagnética em uma determinada faixa do espectro e transformá-la em um

Naue, C. R., Marques, M. W., Lima, N. B., Galvêncio, J. D.

sinal capaz de ser convertido em informações que possam ser produtos passíveis de interpretação, seja na forma de imagem, gráficos ou tabelas.

Sensores multiespectrais são normalmente os mais empregados para se obter informações utilizando-se o sensoriamento remoto, porém estes sensores possuem resolução espectral limitada, o que impossibilita a extração de informações mais detalhadas sobre o comportamento espectral dos alvos. Nos últimos anos, um dos avanços mais significativos foi o desenvolvimento de sensores hiperespectrais e de software para análise desse tipo de dado. O sensoriamento remoto hiperespectral, também conhecido como Espectroscopia de Imageamento pode ser realizado em mais de cem bandas, com larguras normalmente da ordem de 0,01 a 0,02 μ m. Desta forma, em relação aos tradicionais sensores multiespectrais, os sensores hiperespectrais oferecem possibilidades de uma melhor discriminação entre as feições espectrais presentes nos materiais da superfície terrestre. Para cada *pixel* da cena, eles podem adquirir um espectro de forma praticamente contínua, produzindo dados com resolução espectral suficiente para identificar materiais por meio de suas feições de absorção (Shippert, 2004).

Existem diferentes tipos de instrumentos que captam a energia eletromagnética e podem ser utilizados no sensoriamento remoto, entre eles estão câmaras com filmes e flechas em diferentes combinações, radiômetros, sistemas de vídeos, radares, sensores a bordo satélites, aeronaves, balões, helicópteros e *hand held* (Nilsson, 1995). Estes instrumentos podem ser classificados em função da fonte de energia ou em função do tipo de produto que produzem. Se a classificação for feita quanto à fonte de energia, eles poderão ser chamados de passivos, como os Satélites NOAA, Landsat, MODIS, dentre outros, que são aqueles que não possuem fonte própria de radiação e detectam apenas a radiação solar, emitida ou transmitida pelos objetos da superfície, ou ativos, como o Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que produzem sua própria radiação eletromagnética emitindo-a e depois registrando a resposta que retorna após a interação com o alvo.

A classificação realizada em função do tipo do produto abrange os sensores não imageadores e os imageadores. Sensores não imageadores (radiômetros e espectraloradiômetros), não geram imagem da superfície sensorizada, mas sim gráficos que são transferidos para um computador acoplado. Ao contrário destes, os sensores imageadores geram uma imagem da superfície observada e geralmente estão a bordo de aeronaves ou satélites.

Para a detecção e quantificação de doenças de plantas poderão ser utilizados os dois tipos de sensores. A escolha dos sensores irá depender do objetivo da pesquisa, bem como da disponibilidade dos equipamentos.

Tendo o conhecimento do espectro da vegetação e dos tipos de sensores que são capazes de detectar e registrar as mudanças no comportamento espectral das plantas será abordado a seguir a utilização

do sensoriamento remoto nos estudos de doenças de plantas.

Sensoriamento remoto e sua aplicação aos estudos de doenças de plantas

Estudos com o intuito de manejo ou controle de doenças de plantas são amplamente realizados. Para avaliação da eficiência de tratamentos frente à fitopatógenos, pesquisas têm confrontado medidas de reflectância com métodos de avaliação visual. Neste sentido, Silva et al. (2009), compararam medidas de reflectância (% de luz solar refletida pelas plantas) no comprimento de onda próximo ao infravermelho, com métodos de avaliação visual para avaliar a eficiência de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja *Glycine max* L. Estes autores observaram que a reflectância mostrou-se um método rápido, de alta correlação com produtividade e com o menor coeficiente de variação entre os métodos de avaliação em teste, além de verificaram algumas vantagens em relação aos métodos de avaliação visual, como: obtenção de informações sem que haja contato físico com o objeto, possibilidade de se obter repetidas observações, realização de leituras em uma faixa espectral não captada pelo olho humano, aumento na velocidade de aquisição dos dados e redução do esforço de trabalho, pois se baseia nas propriedades radiantes das plantas.

Neste mesmo sentido Danielsena & Munk (2004), testaram o método visual e o sensoriamento remoto para avaliar a severidade do míldio em oito cultivares de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). As medidas de reflectância ofereceram uma avaliação confiável, rápida, fácil, não destrutiva e imparcial para avaliação da severidade do míldio dentro da mesma cultivar, entretanto entre as cultivares não foi possível a utilização desta ferramenta, pois a reflectância das folhas são dependentes da anatomia da folha, que geralmente apresenta diferença entre cultivares da mesma espécie. Os autores relataram que o método visual foi o mais apropriado quando foi avaliada a severidade da doença entre cultivares e que este método é, freqüentemente, o único disponível, uma vez que, os custos dos equipamentos que medem a reflectância ainda restringem sua aplicabilidade.

A quantificação precisa da área foliar lesionada em função de doenças de plantas é a uma tarefa extremamente trabalhosa. A contagem de lesões e posterior medida de seu comprimento e largura são atividades realizadas, geralmente em trabalhos experimentais em laboratório. Na busca por métodos mais precisos e menos laboriosos, Lippert et al. (2009) utilizaram a espectrorradiometria para avaliar o comportamento espectral da espécie *Eucalyptus camaldulensis* atacada pelo patógeno *Phaeophleospora eucalypti*, considerando diferentes níveis de dano na área foliar. Os resultados mostraram que as folhas muito atacadas e as folhas não atacadas foram melhores diferenciadas nos comprimentos de onda entre 550nm e 950nm, intervalo compreendido nas respectivas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Analisando essas

duas regiões foi observado que no espectro visível, as diferenças de valores de reflectância entre os níveis de dano foram altamente significativas, porém as leituras de reflectância na região do infravermelho não apresentaram diferenças significativas em relação aos níveis de dano. Como a energia eletromagnética na região do espectro visível, em plantas sadias, é capturada pela clorofila para realização da fotossíntese e a doença causada por *P. eucalypti* causam sintomas de manchas foliares que interferem na fotossíntese pode-se afirmar que a região do espectro do visível foi a que melhor detectou a ocorrência de *Phaeophleospora eucalypti* nos diferentes níveis de danos testados.

Quando os fitopatógenos infectam plantas, a absorção da luz incidente apresenta mudanças no intervalo da região do visível e do infravermelho. Este acontecimento é devido, provavelmente, a diminuição do teor de clorofila, alterações em outros pigmentos e na estrutura interna da folha. A mudança na absorção da luz incidente, consequentemente, influencia a reflectância de plantas infectadas. Se uma planta está doente, alterações na sua fisiologia irão acontecer resultando em mudanças na reflectância, devido à diminuição do conteúdo de clorofila e também na estrutura interna da folha. Doenças de plantas, em alguns casos, diminuem o teor de clorofila, e a absorção da radiação solar incidente na planta doente, resulta em uma diminuição na região do visível e consequentemente a reflectância geralmente é maior na faixa do visível. A alta reflectância das plantas verdes na faixa do infravermelho próximo é, principalmente, devido a estrutura interna das folhas. Plantas doentes também podem apresentar diferentes graus de alterações que levam a uma diminuição da reflectância espectral na faixa do infravermelho próximo. Diante deste conhecimento, Zhang et al., (2003) utilizaram imagens hiperespectrais para detecção da requeima do tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) em grandes áreas de plantio de tomate. Os autores relataram que esta doença foi diagnosticada pelo sensoriamento remoto hiperespectral e que a região que melhor proporcionou o diagnóstico foi a do infravermelho próximo, devido ao fato desta doença alterar a estrutura interna da folha e devastar rapidamente lavouras de tomate.

O sensoriamento remoto também pode ser utilizado para detectar e avaliar patógenos que causam podridões de raízes. Os sintomas reflexos, como o amarelecimento e a murcha das folhas são a base da detecção remota para este tipo de doença. Com instrumentos de sensoriamento remoto, além dos sintomas reflexos é possível detectar o estresse das plantas, antes de ocorrer à murcha visível, taxas de fotossíntese e conteúdo de água, o que não é possível ao nível de olho humano. Reynolds et al., (2010) utilizaram o sensoriamento remoto hiperespectral, com resultados satisfatórios, para avaliar a podridão de raízes causada por *Rhizoctonia solani* em beterraba (*Beta vulgaris* L.), em substituição a escala de avaliação visual, que é um método destrutivo e as plantas inteiras são retiradas do solo para avaliação da quantidade de pus exudado da raiz principal da planta.

Em estudos de doenças de plantas causadas por nematóides, o sensoriamento remoto também é muito empregado. Essa ferramenta foi utilizada para detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja e mostrou-se viável quando foi utilizada com medidas de espectrorradiometria de campo, nas regiões do visível e do infravermelho próximo. A partir desta ferramenta, Santos Junior et al., (2002) assumiram que o patógeno *H. glycines* influenciou a resposta espectral das plantas de soja e consequentemente foi possível detectar e mapear áreas de soja infestadas.

Neste mesmo contexto, Marchiorato et al., (2002) detectaram em plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) o nematóide *Meloidogyne incognita*, onde plantas situadas em pontos de maior densidade populacional de nematóide e consequentemente menor biomassa, apresentaram uma menor refletância.

Utilizando um sensor óptico ativo comercial, que automaticamente calcula o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), Motomiya et al. (2007) conseguiram determinar a intensidade de infestação de nematóide em algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio. As leituras do NDVI obtidas confirmam que a variação de doses de fertilizante nitrogenado afeta significativamente a expressão do sintoma “carijó” e o desenvolvimento das plantas de algodoeiro.

Outros patógenos que podem ser detectados e quantificados pelo sensoriamento remoto são os fitovírus. Estes infectam plantas e causam sintomas como, clorose e/ou necrose, mosaico, tumores, bolhosidade, distorções foliares, atrofiamento, entre outros sintomas, mas também podem ser assintomáticos até determinados períodos de desenvolvimento das plantas. O controle para doenças causadas por vírus, em sua grande maioria é preventivo, como, por exemplo, a utilização de plantas livre do patógeno, porém nem sempre é possível, pois, muitas vezes, plantas apresentam-se assintomáticas até determinados períodos de desenvolvimento e assim, os sintomas, que são um dos métodos usualmente utilizado para o diagnóstico da doença ainda não estão presente e visível ao olho humano.

Grisham et al., (2010) utilizaram o sensoriamento remoto hiperespectral com o objetivo de diferenciar folhas de duas cultivares de cana-de-açúcar infectadas com o vírus do amarelecimento foliar da cana-de-açúcar – *Sugarcane yellow leaf virus* (ScYLV) e de plantas assintomáticas. Imagens hiperespectrais mostraram que a refletância foliar foi eficaz em prever a infecção viral em 73% das folhas analisadas nas duas cultivares. As diferenças espectrais foram observadas na região ultravioleta (220-320nm); violeta e azul (400-500nm); laranja, verde e amarelo (500-590nm), vermelho (590-650) e infravermelho próximo (740-850), sendo que todas as regiões foram importantes para diferenciar as plantas assintomáticas infectadas e não infectadas.

Considerações Finais

- O sensoriamento remoto aplicado aos estudos de doenças de plantas pode ser utilizado para detectar plantas doentes de forma rápida e eficiente;

- Plantas infectadas por fitopatógenos, porém assintomáticas ao olho humano podem ser diagnosticadas por meio de sensores que mostram mudanças no comportamento espectral da planta;

- O sensoriamento remoto dispensa a coleta e o processamento de amostras em laboratório permitindo levantamentos precisos e confiáveis, em curto espaço de tempo, independente do tamanho da área em questão;

O sensoriamento remoto pode detectar e monitorar doenças que ocorrem em grandes áreas plantas, contribuindo para uma melhor produtividade e reduzindo os riscos de poluição por agrotóxicos.

Referências

- AGRIOS, G.N. 2005. **Plant Pathology**. San Diego: Academic Press, 922p.
- ASSUNÇÃO, G.V., FORMAGGIO, A.R. 1989. **O sensoriamento remoto na agricultura: conceitos Básicos, metodologias e aplicações**. São José dos Campos: INPE: 217p.
- BRAVO, C.; MOSHOU, D.; WEST, J.; MCCARTNEY, A.; RAMON, H. 2003. Early disease detection in wheat fields using spectral reflectance. **Biosystems Engineering**. v. 84, p. 137–145.
- DANIELSENA, S.; MUNK, L. 2004. Evaluation of disease assessment methods in quinoa for their ability to predict yield loss caused by downy mildew. **Crop Protection**. v. 23, p. 219–228.
- EVERITT, J.H.; ESCOBAR, D.E.; APPEL, D.N.; RIGGS, W.G.; DAVIS, M.R. 1999. Using airborne digital imagery for detecting oak wilt disease. **Phytopathology**. v. 83, p. 502–505.
- GHINI, R.; BETTIOL, W. 2000. Proteção de plantas na agricultura sustentável. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.17, n.1, p.61-70.
- GRISHAM, M.P., JOHNSON, R.M., ZIMBAB, P.V. 2010. Detecting Sugarcane yellow leaf virus infection in asymptomatic leaves with hyperspectral remote sensing and associated leaf pigment changes. **Journal of Virological Methods**. v. 167, p.140–145.
- GUAN, J., NUTTER JR., F.W. 2002. Relationships between defoliation, leaf area index, canopy reflectance, and forage yield in the alfalfa-leaf spot pathosystem. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 37, p. 97–112.
- KOBAYASHI, T., KANDA, E., KITADA, K., ISHIGURO, K., TORIGOE, Y. 2001. Detection of rice panicle blast with multispectral radiometer and the potential of using airborne multispectral scanners. **Phytopathology**. v. 91, p. 316–323.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. 1994. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley e Sons Inc.
- LIPPERT, D.B.; BENEDETTI, A.C.P.; PEREIRA, R.S.; MUNIZ, M.F.B. Espectrorradiometria de folhas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. atacadas por *Phaeophleospora eucalypti*. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2009, Natal, Brasil, p. 2793-2799.
- MAFFIA, L.A.; MIZUBUTI, E.S.G.; ALFENAS, A.C.; MAFFIA, R.G. 2007. Quantificação de doenças de plantas.

- In: ALFENAS, A.C.; MÁFIA, R.G. **Métodos em Fitopatologia**, UFV, Viçosa, p. 161-172.
- MARCHIORATO, I.A., RUDORFF, B.T.F., SANTOS, J.M. dos. SANTOS JUNIOR, R.F. dos. Utilização do sensoriamento remoto como ferramenta para detecção de *Meloidogyne incognita* em algodão. In: 2º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, 2002, Viçosa, MG.
- MOTOMIYA, A.V.A., BALLAMINUT, C.E.C., MOLIN, J.P.; CHIAVEGATO, E.J.; ACHEVARRIA, P. B.; COLACO, A. F. Determinação da intensidade de infestação de nematóide em algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio por meio de um sensor óptico ativo. In: VI Congresso Brasileiro do Algodão. 2007, Uberlândia, MG.
- NILSSON, H.E. 1991. Hand-held radiometry and IR-thermography of plant diseases in field plot experiments. **International Journal Remote Sensing**. v.12, p. 545–557.
- NILSSON, H.N. 1995. Remote sensing and image analysis in plant pathology. **Annual Review Phytopathology**. v. 15, p. 489-527.
- NOVO, E.L.M. 1989. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher, p. 1-8.
- PONZONI, F.J. Dados TM/Landsat na identificação do ataque da Vespa-da-madeira em plantios de *Pinus* sp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador, BA.
- RAIKES, C.; BURPEE, L.L. 1998. Use of multispectral radiometry for assessment of rhizoctonia blight in creeping bentgrass. **Phytopathology**. v. 88, p. 446–449.
- REYNOLDS, G.J., WINDELS, C.E., MACRAE, I.V., LAGUETTE, S. Hyperspectral remote sensing for detection of rhizoctonia crown and root rot in sugarbeet. <http://www.sbreb.org/research/plant/plant08/HyperspectralRemote>. Data da consulta: 02 de agosto de 2010.
- SANTOS JUNIOR, R.F., SANTOS, J.M., RUDORFF, B.F.T. & MARCHIORATO, I.A. 2002. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 355-360.
- SHIPPET, P. 2004. Why use hyperspectral imagery? Photogrammetric Engin. **Remote Sensing**. v.70, p. 377–380.
- SILVA, A.J. DA, CANTERI, M.G., SANTIAGO, D.C., HIKISHIMA, M., SILVA, A.L. DA. 2009. A refletância na estimativa do efeito de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Summa Phytopathologica**, v. 35, n. 1, p. 53-56.
- ZHANG, MINGHUA, QIN, Z., LIU, X., USTIN, S.L. 2003. Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing. **International Journal of Applied. Earth Observation Geoinform**. v. 4, p. 295–310.
- ZWIGGELAAR, R. 1998. A review of spectral properties of plants and their potential use for crop/weed discrimination in row-crops. **Crop Protection**. v.17, p. 189–206.
- WEST, J.S., BRAVO, C., OBERTE, R., LEMAIRE, D., MOSHOU, D., MCCARTNEY, H.A. 2003. The potential of optical canopy measurements for targeted control of field crop diseases. **Annual Review Phytopathology**. v.41, p. 593–614.