

ANÁLISE ESPECTRAL DE AMOSTRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR INFECTADAS COM FERRUGEM MARROM

ÉRIKA AKEMI SAITO ⁽¹⁾
NILTON NOBUHIRO IMAI ⁽²⁾
ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI ⁽²⁾

Universidade Estadual Paulista - Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT

⁽¹⁾ Bolsista Capes – Doutorado - PPGCC

⁽²⁾ Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP
{eakemisaito, nilton.imai}@gmail.com, tomaseli@fct.unesp.br

RESUMO - A ferrugem marrom é uma doença da cana-de-açúcar causada pelo fungo *Puccinia melanocephala* que preocupa os produtores rurais e a indústria sucroalcooleira devido aos seus prejuízos. Desse modo, a identificação da doença deve ser rápida para que sejam tomadas medidas de controle e evitar a contaminação do restante da cultura. A radiometria de campo permite um nível de detalhamento espectral, com a qual é possível caracterizar a assinatura espectral dos alvos de interesse, que pode revelar características relevantes destes objetos. Assim, medidas de resposta espectral têm sido muito utilizadas para estimar danos causados por doenças em culturas agrícolas. A partir do exposto, o objetivo deste trabalho foi estimar o fator de reflectância bidirecional obtida a partir de medições radiométricas e analisar espectralmente amostras de cana-de-açúcar sadias e infectadas pela ferrugem marrom. Os resultados obtidos demonstraram que a curva espectral da cana-de-açúcar sadia apresentou fator de reflectância bidirecional maior que as infectadas pela ferrugem marrom nas regiões espectrais do verde e no infravermelho próximo, e quanto maior a infecção provocada pelo fungo menor foram os valores de fator de reflectância bidirecional na região do infravermelho próximo.

Palavras chave: Radiometria de campo, Fator de reflectância bidirecional, Ferrugem marrom da cana-de-açúcar.

ABSTRACT – Brown rust in sugarcane is a disease caused by the fungus *Puccinia melanocephala* that worries farmers and sugar industry due to their losses. Identification of such a disease must be done early so that control actions can be taken to prevent contamination of the remaining culture. Field radiometry allows of the acquisition of detailed spectral response, being feasible to characterize the spectral signature of interest targets, which can reveal important characteristics of the targets. Therefore, spectral measurements have long been used to estimate damage caused by diseases in agricultural crops. The objective of this study is to estimate the bidirectional reflectance factor obtained from radiometric measurements and to perform spectral analysis of samples of sugarcane both healthy and infected by brown rust. The results showed that the spectral curve of healthier sugarcane had greater bidirectional reflectance factor than those infected by brown rust in the spectral regions of the green and near infrared, and the higher the infection caused by the fungus the lower was the bidirectional reflectance factor values in the near infrared region.

Key words: Field radiometry, Bidirectional Reflectance Factor, Brown rust in sugarcane.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a escassez de combustíveis fósseis tem estimulado a política de incentivo à produção e uso de biocombustíveis como o etanol e, assim, contribuído com a expansão da cana-de-açúcar pelo Brasil. O Brasil é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários, sendo o

principal produtor de cana-de-açúcar, cujas regiões de cultivo se concentram no Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, permitindo duas safras anuais (UNICA, 2008).

A cana-de-açúcar tem suas origens no Oriente, sendo levada para o sul da Itália, Espanha e Portugal pelos árabes e para as Américas Central e Sul pelos espanhóis e portugueses (GALLI et al., 1968). No Brasil as primeiras variedades de cana-de-açúcar foram

plantadas por Martim Afonso de Souza em São Vicente no ano de 1532 (IAC, 2008).

O cultivo generalizado e em larga escala de uma única variedade de cana-de-açúcar com o passar dos anos contribuiu com a disseminação de problemas fitossanitários da lavoura canavieira e a ocorrência de epidemias levou muitas vezes a agro-indústria açucareira a ter grandes prejuízos (GALLI et al., 1968). Na década de 1930 foram lideradas pesquisas na tentativa de solucionar problemas causados pela gomose e mosaico, as primeiras doenças registradas na cultura da cana-de-açúcar no Brasil (IAC, 2008).

Assim, a preocupação com o surgimento de doenças na lavoura canavieira contribuiu com a intensificação de pesquisas de melhoramento, com a intenção de obter variedades mais resistentes às doenças (GALLI et al., 1968).

Uma das doenças que preocupam os produtores é a ferrugem marrom. De acordo com a Copersucar (1986), os prejuízos causados pela ferrugem marrom podem chegar a perdas de até 50% em variedades suscetíveis, sendo esses prejuízos devido à redução do desenvolvimento dos colmos, em consequência da presença da infestação pelo agente patógeno nos primeiros meses do desenvolvimento da cultura.

O principal problema da ferrugem na cana-de-açúcar é que todas as novas variedades e clones antes de serem distribuídas aos produtores rurais devem ser submetidas a testes de resistência ao agente patógeno causador da ferrugem, sendo um fator primordial em programas de melhoramento da cultura, o que encarece a produção de clones (FIGUEIREDO, 2001; SANTOS, 2003).

Como a transmissão da doença ocorre principalmente pelo vento, podendo até ocorrer casos pela água (COPERSUCAR, 1986), é necessário que seja identificada a doença com rapidez, para que sejam tomadas as medidas necessárias de controle e evitar a contaminação do restante da cultura.

Medidas de reflectância têm sido utilizadas para estimar danos causados por doenças em culturas agrícolas. O comportamento dessas medidas em diferentes situações de cultivo constituem informações relevantes, quando usadas na elaboração de modelos de estimativa de danos baseadas em medidas de reflectância (HIKISHIMA et al., 2010).

As medidas *in situ* com espectrorradiômetros podem oferecer não só a informação sobre as características espectrais dos alvos, mas também podem ser utilizados na calibração de sensores remotos, além de fornecer dados espectrais únicos que contribuem na extração de informações baseada em dados gerados por sensores remotos multiespectrais e hiperespectrais (JENSEN, 2009).

O problema investigado neste trabalho diz respeito ao uso de técnicas de sensoriamento remoto, mais especificamente como as medidas de fator de reflectância bidirecional (FRB) obtidas a partir de medições com espectrorradiômetro para estimar as curvas espectrais de

amostras de cana-de-açúcar sadia e infectadas pela ferrugem marrom.

1.1 Fator de Reflectância Bidirecional e comportamento espectral da vegetação

A grandeza radiométrica medida por grande parte dos sensores é a radiância. Durante o processo de medição radiométrica, caso haja ausência de atenuação atmosférica, a radiância do alvo na superfície é igual a radiância registrada pelo sensor. Isto ocorre, pois esta medida não é afetada pela distância entre o alvo e sensor (NOVO, 2008).

Quando existem duas grandezas geométricas envolvidas no processo de interação entre a radiação eletromagnética e uma dada superfície, a grandeza espectral é denominada reflectância bidirecional espectral, frequentemente utilizada na modelagem ou na caracterização das assinaturas espectrais dos objetos terrestres (STEFAN, 1996). As grandezas geométricas envolvidas neste caso são os: (i) ângulo zenital e ângulo azimutal da fonte de REM (geometria de incidência) e (ii) ângulo zenital e ângulo azimutal do sensor (geometria de visada) (MILTON, 1987; PONZONI et al., 2007).

No entanto, como a reflectância bidirecional espectral é uma grandeza de difícil medição, procura-se substituí-la pelo fator de reflectância bidirecional que pode ser obtido pela razão entre as radiâncias espectrais da amostra estudada, no caso o alvo de interesse e a resposta espectral de uma amostra de referência de uma superfície lambertiana ideal nas mesmas condições de iluminação e observação (Equação 1) (MILTON, 1987; STEFAN, 1996; PONZONI et al., 2007).

$$R(q, f, l) = \frac{L_{a,l}}{L_{r,l}} \quad (1)$$

onde: $L_{a,l}$ e $L_{r,l}$ representam as medidas das radiâncias relativas da amostra e da referência respectivamente.

A análise da resposta espectral de uma folha sadia, resultante da interação com a radiação eletromagnética, demonstra que na região espectral do visível (0,4-0,72 μm) a forma que define a curva espectral é devida à presença de pigmentos da folha, como a clorofila que pode ser identificada pela presença da feição de absorção na região espectral do vermelho (0,65-0,66 μm). Na região do infravermelho próximo (0,72- 1,10 μm) ocorre absorção da radiação por conta da estrutura celular da folha que provoca espalhamento, e na região do infravermelho médio (1,10- 3,20 μm) a absorção da radiação é resultante da presença de conteúdo de água na folha (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

Ni (1999) considera que a modelagem do fator de reflectância bidirecional fornece uma melhor compreensão dos processos físicos resultantes da interação da radiação eletromagnética com a vegetação, além de permitir uma melhor interpretação dos dados de

sensoriamento remoto. Por isso, adotou-se esta medida no presente trabalho.

1.2 Ferrugem Marrom

Na cultura de cana-de-açúcar foram identificadas mais de 216 doenças. Destas, 58 foram encontradas no Brasil e, pelo menos 10, possuem importância econômica para os produtores rurais, sendo que muitas das doenças podem ser causadas por bactérias, fungos ou vírus (ROSSETO e SANTIAGO, 1994).

As doenças mais importantes normalmente são controladas pelo uso de variedades resistentes. Saciloto (2003) considera que para o melhoramento da cana-de-açúcar as principais medidas adotadas são o uso de variedades resistentes, viveiros saudios, tratamento térmico, escolha do local e época de plantio, manejo e colheita. No entanto, como os causadores são seres vivos, podem surgir novos organismos infectores com uma resistência maior e associados a fatores como mudanças ambientais, podem provocar uma nova contaminação da cultura, resultando em um surto epidêmico (ROSSETO e SANTIAGO, 1994).

A doença investigada neste artigo trata-se da ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*), doença esta que foi encontrada pela primeira vez no Brasil no município de Capivari, em 1986. As plantas doentes apresentavam sintomas de manchas longitudinais castanho-avermelhadas e pústulas da ferrugem (FIGUEIREDO, 2001).

A Figura 1 apresenta uma folha de cana-de-açúcar infectada pela ferrugem marrom e o processo de esporulação do fungo *Puccinia melanocephala*.

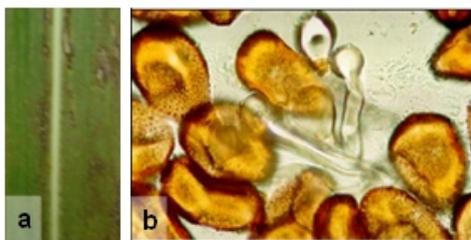


Figura 1 – (a) Folha de cana-de-açúcar infectada com ferrugem marrom. (b) Processo de esporulação do fungo *Puccinia melanocephala* em tamanho 20x (SACILOTO, 2003).

Saciloto (2003) descreve que os sintomas de infecção pelo fungo são identificados pela presença de manchas amareladas, circulares ou elípticas, recobertas pela cutícula da planta. No caso de plantas susceptíveis, a doença produz pústulas agrupadas, que formam placas de tecidos necrosados, afetando o processo fotossintético, devido à perda de nutrientes e pela queda da folha. As folhas perdem o brilho e apresentam o aspecto de queimadas, ocasionando grandes prejuízos econômicos à indústria sucroalcooleira, devido à dificuldade de controle do patógeno, pois a presença de ventos contribui para a dispersão dos esporos da *Puccinia melanocephala*.

A ferrugem marrom ocorre com maior intensidade no período de grande desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, em torno dos quatro aos oito meses do plantio ou do corte (IAC, 2011).

Dentre as medidas de controle de ferrugens nas variedades de cana-de-açúcar, uma delas considera uma escala de diagnóstico (Figura 2) desenvolvida pela Coordenadoria de Fitopatologia do Centro de Tecnologia Copersucar (AMORIM et al., 1987; IAC, 2011). Esta escala equivale ao nível de resistência das espécies baseadas na porcentagem de limbo foliar destruído pela ferrugem, variando a nota de 1 a 9 (AMORIM et al., 1987). Conforme IAC (2011), as espécies resistentes se enquadram na escala de 1 a 3, as intermediárias de 4 a 6 e as suscetíveis de 7 a 9.

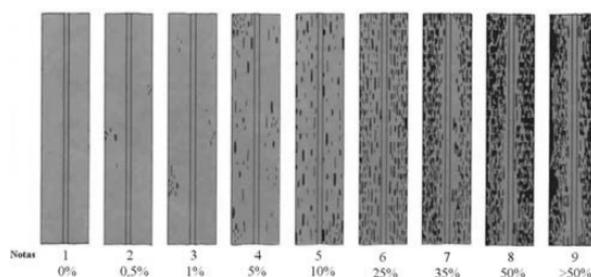


Figura 2 – Escala de diagnóstico de folha estabelecida pela Copersucar.

2 MATERIAIS E METODOLOGIA

Este trabalho baseia-se num estudo de caso realizado com base em amostras de folhas de cana de açúcar saudáveis e doentes.

O experimento foi realizado no período das 11h18min e 12h35min. Foram utilizados um espectroradiômetro Handheld da FieldSpec® UV/NIR com FOV de 10°, posicionado a uma altura de 0,44 metros. A Figura 3 apresenta um esquema do posicionamento do alvo. O alvo foi posicionado sobre um tecido preto de dimensão 3 metros x 3 metros de modo que na medição radiométrica do alvo de interesse não ocorresse interferência de elementos que estivessem na vizinhança do alvo.

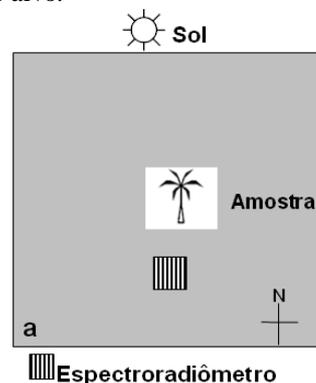


Figura 3 – Esquema do posicionamento das medições.

Uma placa Spectralon foi utilizada para a otimização do espectroradiômetro. A placa Spectralon é

uma resina termoplástica branca (ou cinza) que apresenta alta reflectância difusa (JENSEN, 2009).

Para o estudo foram utilizadas amostras de folhas de cana-de-açúcar (Figura 4) coletadas no município de Mirante do Paranapanema-SP. Foram selecionadas amostras no estágio sadio, e em diferentes estágios de contaminação pela ferrugem marrom, sendo uma em estágio intermediário (valor 6 na escala de diagnóstico de infecção) e outra em estágio avançado ou suscetível (valor 9 na escala de diagnóstico) (Figura 2). As amostras foram armazenadas em papel umedecido para conservar suas propriedades até o local onde foram realizadas as medições radiométricas.

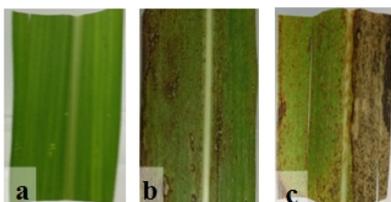


Figura 4 – Folhas de cana-de-açúcar: (a) sadia, (b)-ferrugem marrom em estágio intermediário (valor 6), (c)-ferrugem marrom em estágio avançado (valor 9).

Foram realizadas dez medições em cada amostra e considerada nas operações seguintes a curva espectral média. As medidas radiométricas foram processadas no aplicativo ViewSpec Pro™, a partir das radiâncias medidas nas placas e foi calculado o fator de reflectância bidirecional com a equação 1. Para minimizar os efeitos ocasionados por ruídos provenientes dos efeitos da atmosfera e da eletrônica, aplicou-se um filtro de média móvel de tamanho 4 nas curvas originais de FRB, ou seja, com base na média de um conjunto de valores dentro da vizinhança de determinado intervalo de comprimento de onda.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 apresenta as curvas de FRB de folhas de cana-de-açúcar com a aplicação do filtro de média móvel, observou-se que algumas feições foram suavizadas, eliminando-se os ruídos.

Na região espectral de 210 nm a 400 nm, que compreende o violeta e azul, as curvas espectrais das três amostras apresentaram pouca variação. No entanto, o que difere nos resultados das curvas espectrais é que a folha de cana-de-açúcar sadia apresentou os menores valores de FRB, seguida pela folha doente em estágio intermediário e a folha de cana-de-açúcar doente em estágio avançado apresentou os maiores valores de FRB. Porém, a partir de 400 nm a planta doente em estágio avançado apresentou valores menores de FRB em comparação com a folha sadia e a doente em estágio intermediário.

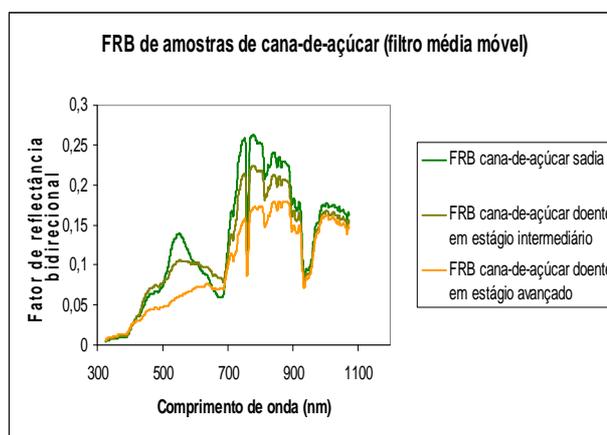


Figura 5 – FRB de folha de cana-de-açúcar em diferentes estágios de doença com a aplicação do filtro de média móvel.

De 400 nm a 500 nm a folha doente em estágio intermediário apresentou valores maiores de FRB, e a partir de 500 nm a planta sadia passou a apresentar valores maiores. Observa-se o comportamento espectral típico de vegetação verde com relação às bandas de absorção da clorofila tanto na folha sadia como nas folhas infectadas com a ferrugem marrom, principalmente na região espectral do azul e no vermelho. De acordo com Jensen (2009), as principais bandas de absorção da clorofila se encontram entre 430 nm a 450 nm (região espectral do azul) e entre 650 nm a 660 nm (região espectral do vermelho).

Na região espectral do visível (320-700 nm) o comportamento espectral das amostras de cana-de-açúcar apresentou características diferentes. A folha saudável apresentou um pico de FRB próximo ao comprimento de onda de 551 nm, região espectral da luz verde. Já nas folhas doentes esse pico de reflectância não foi observado, caracterizando uma diminuição do FRB nessa região. Isto pode ter ocorrido devido aos sintomas necróticos devidos à degeneração dos tecidos celulares, e o amarelecimento dos tecidos clorofilados (ver Figura 4).

Acredita-se que o aumento do FRB das folhas doentes na região espectral do amarelo (565 nm a 590 nm) e vermelho (625 nm a 740 nm) seja resultado da presença de manchas longitudinais cuja área central está morta e se encontra circundada por tecido em tons amarelos ou avermelhados com tendência para tons de marrom. Segundo Jensen (2009) as regiões espectrais mais sensíveis e que caracterizam estresse em plantas, se encontram em 535 nm a 640 nm e 685 nm a 700 nm. Valores maiores de reflectância nas proximidades de 700 nm são indicativos do chamado “blue shift of the red edge”, ou seja, deslocamento da borda vermelha em direção ao comprimento de onda do azul. Chapelle et al. (1991) consideram que esse deslocamento pode ser resultante do decréscimo de clorofila devido ao estresse na vegetação.

No infravermelho próximo o comportamento da curva espectral da folha de cana-de-açúcar sadia, doente em estágio intermediário e doente em estágio avançado

foi parecida, sendo apenas diferente na intensidade dos valores de FRB, ou seja, a curva espectral nessa região manteve-se parecida nas três amostras analisadas.

Os maiores valores de FRB na banda do infravermelho próximo foram encontrados para a cana-de-açúcar sadia, seguidos pela doente em estágio intermediário e os menores valores de FRB para a cana-de-açúcar doente em estágio avançado. As mudanças nas propriedades espectrais na região do infravermelho próximo da vegetação verde sadia podem ser indicativas de estresse, com a diminuição progressiva da reflectância (JENSEN, 2009; SHORT, 2011).

O que se pode observar é que em todas as amostras de cana-de-açúcar analisadas os valores de FRB foram maiores na região espectral do infravermelho que na região espectral do visível. De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007) na região do visível as folhas absorvem a radiação eletromagnética para a produção de energia, processo realizado pelos pigmentos fotossintetizantes. Assim, espera-se que os valores de FRB sejam menores que no infravermelho próximo, região em que a radiação eletromagnética sofre espalhamento em razão da estrutura das folhas, resultando em valores maiores de FRB na região do infravermelho próximo.

Resultados parecidos foram encontrados por Wang et al. (2008) (Figura 6), que realizaram medições espectrais na região de 400 nm a 2500 nm em amostras de tomateiros sadios e infectados em diferentes estágios pelo fungo *Phytophthora infestans*.

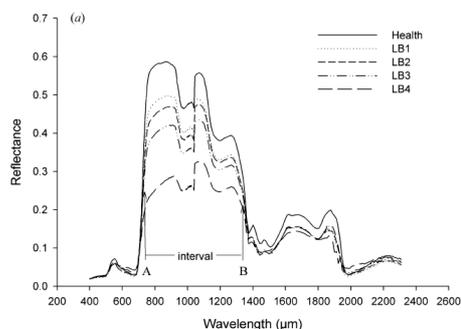


Figura 6 – Curvas espectrais de amostras de tomateiros sadio e infectados por fungos em diferentes estágios (1, 2, 3 e 4) (WANG. et al., 2008).

Observando os resultados obtidos por Wang et al. (2008) nota-se que a curva espectral da planta sadia possui reflectância maior que as infectadas principalmente na região do verde e no infravermelho próximo e quanto maior o nível de infecção provocado pelo fungo, principalmente na região do infravermelho próximo, menores foram os valores de reflectância em relação às outras amostras de tomateiro.

4 CONCLUSÕES

No estudo de caso foi verificado o comportamento espectral típico de vegetação verde com relação às bandas de absorção da clorofila na região espectral do azul e no vermelho, tanto na folha de cana-

de-açúcar sadia como nas folhas infectadas pela ferrugem marrom.

A curva espectral da cana-de-açúcar sadia apresentou fator de reflectância bidirecional maior que as infectadas pela ferrugem marrom, principalmente nas regiões do verde e do infravermelho próximo e quanto maior o nível de infecção provocado pelo fungo *Puccinia melanocephala*, principalmente na região do infravermelho próximo, menores foram os valores de fator de reflectância bidirecional. O pico de FRB que ocorre na região espectral da luz verde na folha de cana-de-açúcar sadia não foi observado nas folhas infectadas pela ferrugem marrom, caracterizando a diminuição do FRB nessa região. Isto pode ter ocorrido devido à presença de necroses e ao amarelecimento dos tecidos clorofilados.

Desse modo, as regiões espectrais importantes para distinguir a folha de cana-de-açúcar sadia das infectadas pela ferrugem marrom são a região do visível, que compreende desde a luz do azul até a região do vermelho além do infravermelho próximo, com as quais se pode distinguir a cana-de-açúcar sadia daquela infectada pela ferrugem marrom.

Em trabalhos futuros pretende-se avaliar a combinação da informação espectral fornecida pelo presente trabalho com o uso de imagens da cultura de cana-de-açúcar. Essa contribuição poderá subsidiar análises de imagens multiespectrais na tomada de decisão para medidas de controle fitossanitário, bem como no planejamento da aplicação de defensivos agrícolas, com a determinação precisa do posicionamento das regiões afetadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradece a Gabriela Takahashi Miyoshi, e Reynaldo Barbosa pelo auxílio na coleta das medições radiométricas em campo e à CAPES pelo auxílio em forma de bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; SANGUINO, A.; CARDOSO, C. O. N.; MORAES, V. A.; FERNANDES, C.R. Metodologia de avaliação da ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*). **Boletim técnico Copersucar**. São Paulo: Cooperativa Central dos produtores de açúcar e álcool do Estado de São Paulo, 1987, p.13-16.
- CHAPPELLE, E. W.; KIM, M. S.; MCMUCTREY, J. E. The red edge shift: An explanation of its relationship to stress and the concentration of chlorophyll a. **In**: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1991. IGARSS '91. Remote Sensing: Global Monitoring for Earth Management., 1991, p. 2287-2290. (ISBN: 0-87942-675-6)
- COPERSUCAR. Ferrugem da cana-de-açúcar e sua constatação no município de Capivari. **Boletim técnico**

- Copersucar.** São Paulo: Cooperativa Central dos produtores de açúcar e álcool do Estado de São Paulo. Edição especial. Dezembro de 1986, p. 3-8.
- FIGUEIREDO, M. B. Palestra: **Doenças fúngicas emergentes em grandes culturas.** São Paulo: Biológico, v.63, n.1/2, 2001, p. 29-32.
- GALLI, F.; TOKESHI, H.; CARVALHO, P. C. T.; BALMER, E.; KIMATI, H.; CARDOSO, C. O.; SALGADO, C. L. **Manual de fitopatologia:** doenças das plantas e seu controle. São Paulo: Biblioteca Agronômica Ceres, 1968, 640 p.
- HIKISHIMA, M. CANTERI, M. G.; GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; SILVA, A. J. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de reflectância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical plant pathology**, v. 35, n. 2, 2010, p.96-103.
- IAC, Instituto Agronômico de Campinas. **Ciência da Terra:** O Instituto Agronômico e a pesquisa em benefício da qualidade de vida. Organizado por MOREIRA, A. C.; CASTRO, O. M. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, 160 p.
- IAC. Instituto Agronômico de Campinas. Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Rural pecuária:** informações, tecnologias e manejo das principais culturas e criações, 2011. Disponível em: <<http://www.ruralpecuaria.com.br/2011/06/ferrugem-alaranjada-da-cana-de-acuca.html>>. Acesso em: janeiro de 2012.
- MILTON, E. J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n.12, 1987, p. 1807-1827.
- NI, W.; LI, X.; WOODCOCK, C. E.; CAETANO, M. R.; STRAHLER, A. H. An analytical hybrid GORT Model for bidirectional reflectance over discontinuous plant canopies. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 37, n., 2, 1999, p. 987-999.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto:** princípios e aplicações. São Paulo: Blucher, 2008, 363 p. (ISBN 978-85-212-0441-1)
- PONZONI, F. J.; JUNIOR, Z. J.; LAMPARELLI, R. A. C. **Calibração absoluta de sensores orbitais:** conceituação, principais procedimentos e aplicação. São José dos Campos: Parêntese, 2007, 64 p. (ISBN 978-85-60507-01-6).
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2007, 127 p. (ISBN 978-85-60507-02-3)
- ROSSETO, R.; SANTIAGO, A. D. Doenças da cana-de-açúcar e seu controle. **Informações agrônomicas.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, n.67, 1994, 2p. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/InformacoesAgronomicas_67ID-fdwBc3usO9.pdf>. Acesso em: dezembro e 2011.
- SACIOTO, R. F. Z. **Inserção do gene PR5K em cana-de-açúcar visando induzir resistência ao fungo da ferrugem *Puccinia melanocephala*.** Dissertação de mestrado em Ciências área de concentração: fisiologia e bioquímica de plantas. Piracicaba: ESALQ/USP, 2003, 74 p.
- SANTOS, A. S. **Doenças causadas por fungos e bactérias em cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Biológico, 2003. (Comunicação técnica) Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/santos1_000fx33mr802wyiv80so>ht9hf2cc251.pdf>. Acesso em: dezembro de 2011.
- SHORT, N. M. Vegetation applications: agriculture, forestry and ecology. **In:** Remote Sensing Tutorial. National Aeronautics and Space Administration, 2011. Disponível em: <<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect3/Sect3_1.html>>. Acesso em: fevereiro de 2012.
- STEFAN, C. A. Técnicas radiométricas com o Spectron Se-590. **In:** Anais do VIII do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto, Salvador, 1996, p. 969-975.
- ÚNICA. **União da indústria de cana-de-açúcar.** Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode=9E97665F-3A81-46F2-BF69-26E00C323988>>. Acesso em: out. 2008.
- WANG, X.; ZHANG, M.; ZHU, J. GENG, S. Spectral prediction of *Phytophthora infestans* infection on tomatoes using artificial neural network (ANN). **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n.6, 2008, p. 1693-1706.