

Análise espectral orbital da Sigatoka Amarela da bananeira e sua relação com a nutrição mineral do solo e das plantas

Julia Dal Poggetto Rodrigues¹
Marcelo de Carvalho Alves¹
Aurivan Soares de Freitas²
Edson Ampélio Pozza¹

¹ Universidade Federal de Lavras - UFLA
Caixa Postal 3037 • CEP 37200-000 • Lavras – MG, Brasil
juliapoggetto@posgrad.ufla.br; marcelo.alves@deg.ufla.br; eapozza@dfp.ufla.br

² Universidade Vale do Rio Verde - UNICOR
Av. Castelo Branco, 82, Chácara das Rosas • CEP 37410-000 • Três Corações - MG, Brasil
aurivan.soares@hotmail.com

Abstract. The banana (*Musa* spp.) is a food that is included in the diet of various social strata, produced by small, medium and large producers. When the banana tree is in a vulnerable state it is susceptible to attack by diseases such as Yellow Sigatoka, which may cause reduction of the number of banana bunches and fruit size. This disease is among the most destructive and occurs throughout Brazil. Remote sensing has a potential monitoring and agricultural planning, serving to detection and monitoring of plants attacked by pathogens. This study aimed to characterize the Yellow Sigatoka on a banana plantation using vegetation indices and correlates them with nutrition data of the plant and soil. The selected pixels covered areas with high, medium and low incidence of Yellow Sigatoka and the spectral behavior was measured. Vegetation indices related to physiological parameters, such as the Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Water Index, Modified Normalized Difference Water Index, Green Normalized Difference Vegetation Index and Red Edge Position were calculated and correlated with plant and soil nutrition data. There was an increase in reflectance in the region of 1.4 to 1.9 μm indicating loss of water by the leaf. Mn, Ca, Mg, Zn and organic matter presented a correlation with the vegetation indexes calculated. The GNDVI was the index that presented the highest correlation with the data *in situ*.

Keywords: *Mycosphaerella musicola*, Vegetation Index, Banana, Remote Sensing, *Mycosphaerella musicola*, Índice de Vegetação, Banana, Sensoriamento Remoto

1. Introdução

A banana (*Musa* spp.) está entre as frutas mais consumidas no mundo, constituindo importante papel social e econômico na geração de emprego e renda. Dentre as doenças que afetam a bananeira, a Sigatoka Amarela (*Mycosphaerella musicola*) está entre as mais destrutivas (CORDEIRO e MATOS, 2005). Atualmente, a doença ocorre em todas as áreas produtoras de banana do Brasil, reduzindo a área fotossintetizante da planta e, conseqüentemente, a produção e a qualidade do fruto (CASTELAN et al., 2013).

O manejo da Sigatoka Amarela envolve, basicamente, a aplicação periódica de fungicidas e o uso de variedades resistentes (CORDEIRO e MATOS, 2005). Como método alternativo, o fornecimento de nutrientes em equilíbrio contribui para constituir barreiras de resistência (POZZA e POZZA, 2012). Além da produção, estudos realizados recentemente com a bananeira têm evidenciado que a nutrição equilibrada, também, aumenta a resistência às doenças (FREITAS et al., 2015).

O sensoriamento remoto é entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos alvos contidos na superfície terrestre sem que haja contato direto com os mesmos e de acordo com Epiphany et al. (1994) e Dallemand et al. (1988), apresenta um grande potencial no levantamento de dados, no monitoramento e no planejamento agrícola e em estudos de doenças de plantas além de ser utilizado para quantificação, pode servir para a detecção e monitoramento de plantas infectadas e/ou áreas atacadas por fitopatógenos de

forma rápida e eficiente, contribuindo na redução de riscos de poluição por agrotóxicos e para uma melhor produtividade (NAUE et al., 2010).

Os índices de vegetação são utilizados no monitoramento e na quantificação das condições de distribuição espacial da vegetação (GITELSON et al., 2002). São obtidos por combinações matemáticas utilizando refletâncias em várias faixas espectrais da radiação eletromagnética e de acordo com Bendini et al. (2012), os índices são úteis na discriminação de doenças fúngicas por se correlacionarem com o vigor da vegetação e o teor de pigmentos. Estudos sobre a detecção de mudanças nas propriedades da vegetação são identificados de maneira mais eficiente quando os dados de imagem são melhorados com o índice de vegetação (COPPIN e BAUER, 1996; FUNG, 1990; MAS, 1999; RADELOFF et al., 2000), que visa ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e outros alvos da superfície terrestre.

O objetivo desse trabalho foi caracterizar a Sigatoka Amarela em um bananal da variedade Prata-Anã, utilizando índices de vegetação e avaliar a correlação dos dados obtidos pelos índices com os dados *in situ* sobre a fertilidade do solo e nutrição mineral das plantas.

2. Metodologia

A área de estudo localiza-se no sítio Vale dos Ventos, no município de Lavras/MG, precisamente nas coordenadas geográficas 21° 08' 42" de latitude Sul e 45° 01' 37" de longitude Oeste (Figura 1).

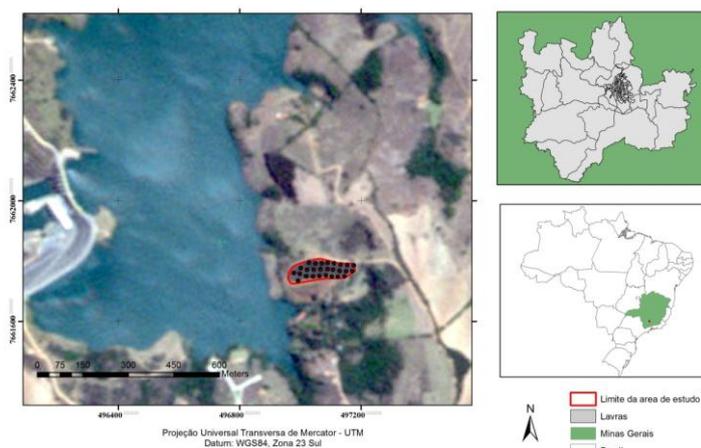


Figura 1. Localização da área de estudo em Lavras, MG, onde se coletaram dados *in situ* em malha amostral com 27 pontos para avaliar o índice de infecção de Sigatoka Amarela, a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas.

A área foi escolhida devida a alta severidade da Sigatoka Amarela no bananal e por não haver qualquer medida de controle, o que permitiu o estudo do comportamento da doença em condições naturais. Foram georreferenciados 27 pontos espaçados com malha regular de 18 x 18m (34 m²), utilizando GPS modelo Trimble 4600 LS.

Em cada ponto georreferenciado foram avaliados a severidade da Sigatoka Amarela, a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas. A severidade da doença foi avaliada uma vez por mês, sempre na mesma planta, com auxílio de escala diagramática proposta por Stover (1972) e modificada por Gauhl (1994). O índice de infecção (IF), de cada planta foi calculado usando a equação 1:

$$\text{Índice de infecção} = [\sum nb / (N-1)T] * 100 \quad (1)$$

Em que n é o número de folhas em cada nível da escala de Stover modificada por Gauhl, b o grau da escala, N o número de graus empregados na escala e T o número total de folhas avaliadas.

A fertilidade do solo foi avaliada pela combinação de quatro amostras em pontos equidistantes a 90° em cada ponto georreferenciado. Amostras com cerca de 500g foram enviadas para o laboratório de análise de solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA) para determinar as propriedades físicas do solo e química.

Para o estado nutricional das plantas, foram selecionados 10-25 cm de tecido a partir de uma lâmina mediana da terceira folha a partir do vértice (MARTINEZ et al., 1999) e enviados para o laboratório do Departamento de Química da UFLA, onde foram realizadas análises dos teores de macronutrientes e micronutrientes.

Foram obtidas imagens do satélite Landsat 7, sensor ETM+, na página do USGS (United States Geological Survey) referentes à área de estudo, datadas em 03/05/2012, 27/06/2012, 29/07/2012 e 01/10/2012.

As imagens orbitais adquiridas foram reprojatadas para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), no Datum WGS 84, zona 23 sul, com o intuito de adequá-las à base de dados de campo.

Após a reprojeção das imagens foi realizada a correção atmosférica e pelo método DOS1 (Dark Object Subtraction) desenvolvido por Chavez (1989) em que é feito uma estimativa da interferência atmosférica em cada banda espectral, seguida pelos cálculos para a transformação do número digital em valores de radiância e, então, para valores de refletância (GURTLER et al., 2005).

Após a correção atmosférica e a geração do *bandsat* foram selecionados os pixels com base nas áreas em que apresentavam alto, médio e baixo índice de infecção de acordo com Freitas et. al (2015), para a medição do comportamento espectral da área.

Utilizando uma ferramenta matemática foram calculados o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), o GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*), o NDWI (*Normalized Difference Water Index*), o MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) e o REP (*Red Edge Position*), conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Índices de vegetação e as respectivas equações.

Índice	Equação	Relacionado a	Referência
<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	$NDVI = (NIR-R)/(NIR+R)$	Biomassa/ área foliar	Rouse et al. (1974)
<i>Green Normalized Difference Vegetation Index</i>	$GNDVI = (NIR-G)/(NIR+G)$	Nutriente da planta	Staggernborg e Taylor (2000)
<i>Normalized Difference Water Index</i>	$NDWI = (NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)$	Umidade da vegetação	Gao (1996)
<i>Modified Normalized Difference Water Index</i>	$MNDWI = (G-SWIR)/(G+SWIR)$	Umidade da vegetação	Xu (2006)
<i>Red Edge Position</i>	$REP = R700 + 40(RRE - R700)/(R740 - R700)$	Clorofila e estresse da vegetação	Clevers (1994)

Assim que todos os índices foram calculados, os vetores dos pontos amostrados foram importados no software e foram extraídos os valores de refletância de todas as bandas e para todas as imagens dos índices calculados para cada ponto amostrado.

Os dados *in situ* e os valores extraídos dos pixels foram comparados pela correlação de Pearson utilizando o SPSS Statistics 22.

3. Resultados e discussões

O comportamento espectral de áreas com menor e maior incidência da Sigatoka Amarela no bananal da variedade Prata-anã são mostrados na Figura 2.

Na Figura 2, data 03/05/2012, a área em que apresenta maior incidência da doença apresentou um aumento na região do infravermelho próximo em relação às outras áreas que apresentavam menor incidência. E na faixa do infravermelho médio ela apresentou um declínio maior que as demais.

Os valores da Figura 2, data 27/06/2012, apresentaram-se baixo pelo fato da imagem Landsat 7 ETM+ apresentar uma quantidade alta de nuvens nesta data.

A Figura 2, 29/07/2012, mostrou uma maior refletância no 0,8 μm , em relação às demais figuras, região característica de stress na vegetação. E na data 01/10/2012, notou-se que na região verde, onde ocorre a absorção da clorofila, a área que apresenta menor incidência da doença absorveu mais. Houve um aumento da refletância na região do 1,4 a 1,9 μm o que sugere uma possível perda de água pela folha, devido à ação do patógeno (RODRIGUEZ-GAVIERA; CÁYON, 2008). BENDINI et al. (2015) observaram maior refletância na região do 1400 nm e 1900nm, nos estádios 1, 2 e 3 da Sigatoka Amarela.

De acordo com Ponzoni (2001) a celulose, os solutos, os espaços intercelulares e os pigmentos existentes dentro dos cloroplastos são os constituintes que apresentam maior interação com a radiação, dessa maneira o comportamento espectral de uma folha depende da composição, da morfologia e da estrutura interna da folha.

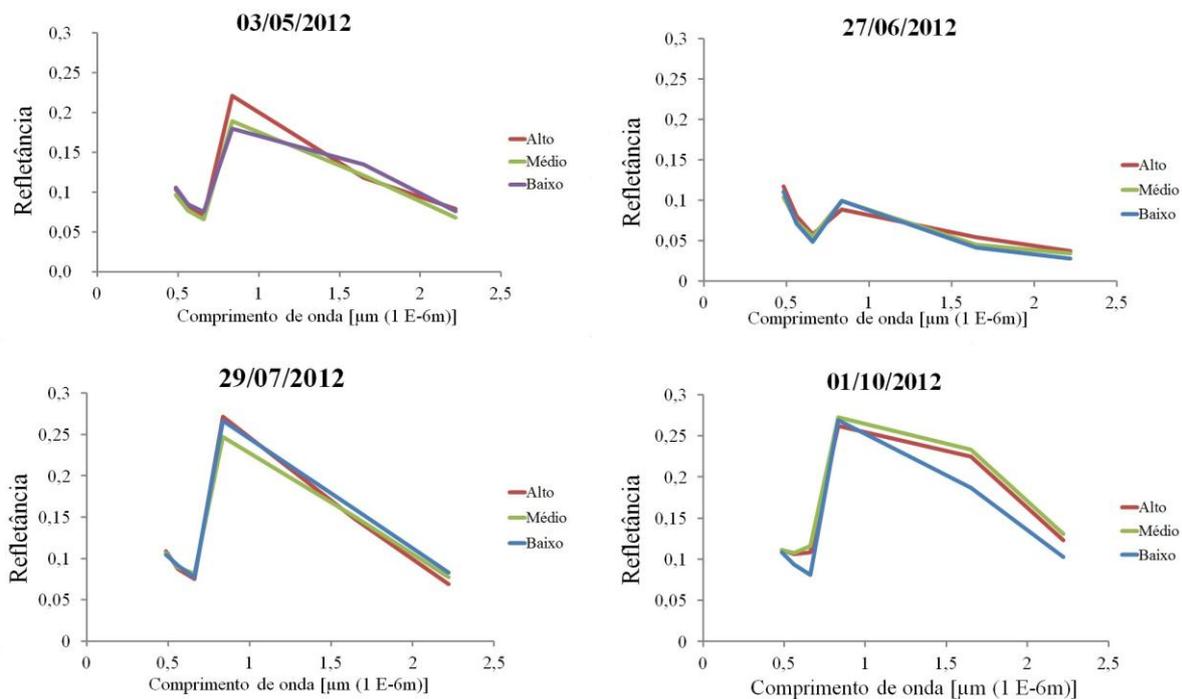


Figura 2. Curvas espectrais das diferentes áreas com alta, média e baixa incidência de Sigatoka Amarela no bananal da variedade Prata-anã.

Quando a doença atinge um nível elevado, o fungo promove a degradação dos tecidos verdes, e com isso os pigmentos responsáveis pela fotossíntese, como a clorofila *a* e *b* (RODRIGUEZ-GAVIERA; CÁYÓN, 2008), dessa maneira à medida que ocorre a doença,

modificando assim a estrutura interna da folha e redução do tecido fotossintético, ocorre a alteração do comportamento espectral da folha em diferentes regiões.

Os índices de vegetação foram calculados para quatro datas e analisados, quanto as suas correlações com dados in situ, como a matéria orgânica (MO), magnésio (Mg), cálcio (Ca), manganês foliar (Mn) e zinco foliar (Zn).

O manganês foliar (Tabela 2) foi o que apresentou maior número de correlações com os índices calculados. O REP apresentou correlação negativa com as datas de maio e junho. O REP é relacionado à clorofila é um indicador de estresse da vegetação por isso essa correlação negativa aponta que quanto menor for a quantidade de Mn na folha maior será o estresse da vegetação. De acordo com Epstein e Bloom (2006), em casos em que há deficiência de Mn os sintomas variam de espécie para espécie, em alguns casos as folhas apresentam manchas ou riscas necróticas nas folhas. Já em excesso as plantas podem apresentar crescimento reduzido, além de manchas marrons (PRADO, 2006).

Já os demais índices apresentaram correlação positiva entre o aumento do Mn e a diminuição dos valores dos índices. O MNDWI apresentou correlação positiva em outubro. O NDWI apresentou correlação positiva em três datas, junho, julho e outubro. O NDVI foi o índice que apresentou correlação positiva com apenas uma data, no mês de junho. O NDWI é um índice que se correlaciona com o conteúdo de água do dossel vegetal e por ele consegue acompanhar melhor as mudanças na biomassa e nos estresses de umidade das plantas do que o NDVI (JENSEN, 2009), que segundo Jackson et al. (2004) enquanto o NDVI satura, o NDWI continua registrando mudanças no conteúdo de água nas áreas plantadas.

De acordo com Prado (2006), o Mn é o segundo micronutriente mais abundante em solos tropicais e sua disponibilidade depende principalmente do pH, da matéria orgânica e do equilíbrio com outros cátions (Fe, Ca e Mg). Esse nutriente tem papel importante na diminuição dos danos causados pelos patógenos nas plantas, pois atua como barreira física ao patógeno, tendo efeito direto em provocar toxidez no fungo (PRADO, 2006; MALAVOLTA, 2006).

Tabela 2. Correlação entre o manganês foliar e os índices de vegetação

Data	Índices	Mn foliar
03/05/2012	REP	-0,383
27/06/2012	REP	-0,457
27/06/2012	NDVI	0,387
27/06/2012	NDWI	0,573
29/07/2012	NDWI	0,412
01/10/2012	NDWI	0,392
01/10/2012	MNDWI	0,39

O cálcio (Tabela 3) apresentou correlação negativa com os índices NDWI, GNDVI e NDVI que são relacionados à área foliar, nutrientes e umidade indicam que com a maior presença de cálcio na folha há uma diminuição do valor dos índices.

O papel do Ca no controle de doenças de plantas é bem descrito na literatura (POZZA e POZZA, 2012). Os mecanismos pelos quais o cálcio afeta a incidência de doenças das plantas estão relacionadas ao reconhecimento de agentes patogênicos invasores da membrana de plasmática e na estabilidade das paredes celulares e biomembranas (HUBER et al., 2012). Freitas et al. (2015) e Gerald et al. (2003) encontraram menor incidência da Sigatoka Amarela em áreas com maiores teores de Ca.

Tabela 3. Correlação entre o cálcio foliar e os índices de vegetação

Data	Índices	Ca foliar
03/05/2012	NDWI	-0,412
03/05/2012	GNDVI	-0,396
27/06/2012	NDVI	-0,415

O magnésio (Tabela 4) apresentou correlação negativa com o REP, o que indica que com o aumento do Mg há a diminuição do REP, denotando estresse da vegetação. O GNDVI correlaciona-se com a quantidade de nutrientes e a clorofila da planta, apresentou correlação positiva, diante disso nota-se que com o aumento desse micronutriente há um aumento do índice devido ao fato de que ele age na resistência da planta.

O magnésio participa de um amplo espectro de funções fisiológicas gerais que tornam difícil caracterizar as atividades individuais envolvidas na defesa, virulência e patogênese. De acordo com Marschener (2012), o magnésio é um constituinte da molécula de clorofila e é necessário para a síntese de proteínas e fotossíntese. A ausência desse macro nutriente pode afetar diretamente alguma função fisiológica da planta. Huber e Jones (2013), afirmam que cálcio e magnésio são constituintes da lamela e tornam mais resistente à degradação por enzimas produzidas por fungos patogênicos. Freitas et al. (2015), encontraram correlação positiva entre Ca e Mg. O índice de infecção da Sigatoka Amarela foi reduzido em solos que tinha níveis mais elevados de Ca e Mg, segundo esses autores os resultados ocorreram devido o aumento da tolerância das plantas a *Micosphaerela musicola* em função da capacidade desses nutrientes em proteger a planta.

Tabela 4. Correlação entre o magnésio e os índices de vegetação

Data	Índices	Mg
27/06/2012	REP	-0,397
27/06/2012	GNDVI	0,417
29/07/2012	GNDVI	0,44

A matéria orgânica (Tabela 5) apresentou correlação positiva com o GNDVI em duas datas e negativa com o MNDWI no mês de julho. Assim, à medida que a MO aumentou houve aumento do GNDVI. A matéria orgânica representa a base da atividade biológica do solo, funcionando como regulador metabólico das plantas, disponibilizando-o ao sistema radicular os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas. Trata-se de um componente que está diretamente relacionado com a qualidade do solo (MACHADO, 2005). A variação no acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) pode ser usado como um indicador de qualidade, em virtude da sua sensibilidade ao sistema de manejo adotado e por se correlacionar com a maioria dos atributos físicos e químicos do solo (CARDOSO, 2014).

Tabela 5. Correlação entre a matéria orgânica e os índices de vegetação

Data	Índices	MO
03/05/2012	GNDVI	0,396
29/07/2012	MNDWI	-0,392
01/10/2012	GNDVI	0,441

O zinco (Tabela 6) apresentou correlação negativa com os índices REP, NDVI e MNDWI. Dessa maneira, à medida que o zinco aumentou, os índices diminuíram.

O zinco e o boro são os micronutrientes mais absorvidos pela bananeira no solo. O zinco interfere na síntese de auxinas que são substâncias reguladoras do crescimento, e é um nutriente importante e necessário na manutenção da integridade das biomembranas, que são determinantes na sanidade da planta por evitar o vazamento de solutos orgânicos, que são nutrientes para pragas e patógenos (CAKMAK e MARSCHNER, 1988).

Plantas deficientes em zinco apresentam crescimento e desenvolvimento retardado, folhas pequenas e lanceoladas. Os frutos além de pequenos podem apresentar-se enrolados, com as pontas verde-claras e o ápice em forma de mamilo (BORGES, 2004).

Tabela 6. Correlação entre o zinco foliar e os índices de vegetação

Data	Índices	Zn foliar
03/05/2012	REP	-0,432
29/07/2012	NDVI	-0,397
01/10/2012	MNDWI	-0,392

4. Conclusões

Foi possível correlacionar os índices de vegetação com os dados *in situ* referentes a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas. O GNDVI foi o índice que apresentou maior número de correlações com os dados *in situ* e o Mn foi o micronutriente que apresentou maior correlação com os índices REP, NDVI, NDWI e MNDWI. No comportamento espectral, o gráfico da data 01/10/2012 apresentou alta refletância na região caracterizada pela absorção da água, o que indica perda de água pela vegetação.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado.

Referências

- Bendini, H. N., et al.,. Caracterização Espectral de Folhas de Bananeira (*Musa spp.*) para detecção e diferenciação da Sigatoka Negra e Sigatoka Amarela. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais XVII**, João Pessoa-PB, 2015.
- Borges, A. L.; Souza, L. S. Exigências edafoclimáticas. In: _____. **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004. p. 15-23.
- Cakmak, I.; Marschner, M. Increase in membrane permeability and exudation of roots of zinc deficient plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 132, p. 356-361, 1988.
- Cardoso, J. A. F.; **Atributos químicos e físicos do solo e matéria orgânica do solo sob mangueira irrigada e caatinga nativa na região do vale do submédio São Francisco**. 2014. 77p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Juazeiro/BA. 2014.
- Castelan et al. Relation between the severity of Sigatoka disease and banana quality characterized by pomological traits and fruit green life. **Crop Protection** 50:61–65, 2013.
- Chavez Jr., P.S. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.55, p.1285-1294, 1989.
- Clevers, J. G. "Imaging Spectrometry in Agriculture: Plant Vitality and Yield Indicators" in Hill, J. and J. Meigier (eds), **Imaging Spectrometry: A Tool for Environmental Observations**, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic, 193-219. 1994."
- Coppin, P. R., e Bauer, M. E. Processing of multitemporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest cover change features. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 32 (4), 918– 927. 1994.
- Cordeiro, Z. J. M.; Matos, A. P.; Kimati, H. Doenças da bananeira. In: KIMATI, H. et al. (Ed). **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. V. 2, p. 99-117. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de produção de bananeira irrigada**. Disponível em: <http://sistemadeproducao.cntptia.embrapa.com.br>. Acesso em: 10 jul 2016.

- Epiphanyo, J.C.N.; Leonardi, L.; Formaggio, A.R. Relações entre parâmetros culturais e resposta espectral de cafezais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p.379-386, 1994.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Ed. Planta, 2006. 401p.
- Freitas, A. S.; Pozza, E. A.; Alves; Coelho, G.; Rocha, H. S.; Pozza, A. A, A, Spatial distribution of Yellow Sigatoka Leaf Spot correlated with soil fertility and plant nutrition. **Precision Agriculture**, Oxford, v. 17, n. 1, p.93-107, jul. 2015.
- Fung, T.. An assessment of TM imagery for land-cover change detection. **IEEE Transactions in Geoscience and Remote Sensing**, 28 (4), 681– 684. 1990.
- Gao, B. NDWI- a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, 58, 257-266, 1996.
- Gauhl, F.. Epidemiology and Ecology of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on Plantain nad banana (*Musa spp*) in Costa Rica, Central Ame ´rica. Montpellier: INIBAP. 1994.
- Gerald S.F.; White S.D.; Dickinson A.A.; Goldman B. (2003) A survey of Sigatoka leaf disease (*Mycosphaerella musicola* Leach) of banana and soil calcium levels in North Queensland. *Anim Prod Sci* 43:1157–1161. doi:10.1071/EA02094
- Gitelson, A. A.; Merzlyak, M. N.; Chivkunova, O. B. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. **Photochemistry and Photobiology**, v. 74, p. 3845, 2001.
- Godoy, C.V. e Henning, A.A., C.V. Tratamento de semente e aplicação foliar de fungicidas para o controle da ferrugem-da-soja, **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.43, n.10, p.1297-1302, out. 2008.
- Guyot, G.; Baret, F. Utilisation de la haute résolution spectrale pour suivre l'état des couverts végétaux. **Proceedings of the 4th International colloquium on spectral signatures of objects in remote sensing**. ESA SP-287, Assois, France, pp. 279-286, 1988.
- Huber, D.; Römheld, V.; Weinmann, M. Relationship between nutrition, plant diseases and pests. In: Marschner (ed) *Mineral nutrition of higher plants*, 3rd ed. Academic Press, San Diego, pp 283–298, 2012.
- Huber, D. M., Jones, J. B. The role of magnesium in plant disease. *Plant and Soil*, 368(1–2), 73–85. (2013).
- Jensen, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres, tradução José Carlos Neve Epiphanyo (coordenador)... [et al] – São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- Marschner, H. **Mineral nutrition of higher plants** (3rd ed., p. 643). San Diego: Academic Press, 2012.
- Martinez, H. E. P., Carvalho, J. G., & Souza, R. B. (1999). Diagnose foliar. In A. C. Ribeiro, P. T. G. Guimarães, & V. V. H. Alvarez (Eds.), *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5a aproximação (pp. 143–168). Viçosa: CFSEMG.
- Naue, C. R.; Marques, M. W.; Lima, N. B.; Galvinício, J. D. Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**. 03, 190-195. 2010.
- Prado, R. M.. Nutrição de plantas. São Paulo: UNESP, 2008. 407p.
- Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P. R., Madeira Netto, J. S. (Org.) **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Editora da UNB, 2001. P. 157-199.
- Pozza, E. A.; Pozza, A. A. A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: simpósio avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário, 12., 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2012. 1 CD-ROM
- Radeloff, V. C., Mladenoff, D. J., e Boyce, M. S. Effects of interacting disturbances on landscape patterns: budworm defoliation and salvage logging. **Ecological Applications**, 10 (1), 233– 247. 2000.
- Rodríguez-Gaviria, A. A.; Cayón, G. Efecto de *mycosphaerella fijiensis* sobre la fisiologia de la hoja de banana. **Agronomía Colombiana**, v. 26 (2), p. 256–265, 2008.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 3, 1973, Washington, DC. Proceedings... Washington, DC: NASA, 1973. p. 309-317.
- Staggenborg, S.A. & Taylor, R.K. Predicting grain yield variability with infrared images. 5th Annual Precision Agriculture Meetings, Bloomington, MN, July 2000.
- Stover, R. H. *Banana, Plantain and Abaca Diseases*. Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1972.
- Xu, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remoto Sensing*, v. 27, , p. 3025-3033, 2006.