

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 13/05/2023.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

LETÍCIA ROSIM PORTO

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DA FOLHA DE CITRUS
CONTAMINADA POR HLB BASEADO EM ESPECTROMETRIA DE
CAMPO**

PRESIDENTE PRUDENTE

2021

LETÍCIA ROSIM PORTO

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DA FOLHA DE CITRUS
CONTAMINADA POR HLB BASEADO EM ESPECTROMETRIA DE
CAMPO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, campus de Presidente Prudente, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Cartográficas.

Orientador: Prof. Dr. Nilton Nobuhiro Imai
Coorientadora: Dra. Érika Akemi Saito Moriya.

PRESIDENTE PRUDENTE

2021

P853c Porto, Leticia Rosim
Caracterização espectral da folha de citrus contaminada por HLB baseado em espectrometria de campo / Leticia Rosim Porto. --
Presidente Prudente, 2021
89 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientador: Nilton Nobuhiro Imai
Coorientadora: Érika Akemi Saito Moriya

1. Sensoriamento remoto. 2. Agricultura de precisão. 3. Análise espectral. 4. Dados hiperespectrais. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

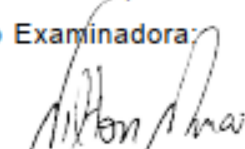
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Caracterização espectral da folha de citrus contaminada por HLB baseado em espectrometria de campo

AUTORA: LETÍCIA ROSIM PORTO

ORIENTADOR: NILTON NOBUHIRO IMAI

COORIENTADORA: ERIKA AKEMI SAITO MORIYA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS CARTOGRÁFICAS, área: Aquisição, Análise e Representação de Informações Espaciais pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. NILTON NOBUHIRO IMAI (Participação Virtual)
Departamento de Cartografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

VIDEOCONFERÊNCIA
Prof. Dr. LUCAS PRADO OSCO (Participação Virtual)
Faculdade de Engenharias e Arquitetura e Urbanismo / Universidade do Oeste Paulista

VIDEOCONFERÊNCIA
Dra. KELLY PAZOLINI (Participação Virtual)
Departamento de Desenvolvimento de Produto / Lallemand Plant Care Brasil

Presidente Prudente, 13 de maio de 2021

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001 (Processo 88882.433943/2019-01).

Gostaria de agradecer a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita de Mesquita Filho” UNESP (FCT/ UNESP) – Campus Presidente Prudente e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC) por todo suporte e infraestrutura para o desenvolvimento dessa pesquisa. Também gostaria de agradecer ao Centro de Citricultura Sylvio Moreira e a VetorGEO pelo auxílio na realização dos trabalhos de campo.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Nilton Nobuhiro Imai, e a minha coorientadora, Dra. Érika Akemi Saito Moriya, pela orientação e suporte durante o desenvolvimento desse trabalho. Estendo meus agradecimentos aos professores e professoras do PPGCC que, direta ou indiretamente, também contribuíram na realização desse trabalho.

Agradeço também ao grupo de pesquisa SERTIE (Sensoriamento Remoto e Tecnologia de Informação Espacial para Monitoramento Ambiental) pela troca de experiências e conhecimento compartilhado.

Por fim, agradeço imensamente aos amigos e amigas do PPGCC pelo companheirismo, pela troca de experiência, conselhos valiosos e suporte emocional ao longo de todo o mestrado.

“Por um mundo onde sejamos socialmente iguais, humanamente diferentes e totalmente livres.”

Rosa Luxemburgo

RESUMO

O Brasil, como maior produtor e exportador de suco de laranja do mundo, tem enfrentado dificuldades em combater a doença Huanglongbing (HLB) em seus pomares de citros. São mais de 197 milhões de pés de laranja na região que mais produz no país, o cinturão citrícola Paulista e do Triângulo/Sudoeste Mineiro. Atualmente, o combate à doença é realizado por meio de vistorias realizadas por técnicos e se mostra como um método oneroso, demorado e ineficiente. O uso de sensores remotos acoplados em drones pode agregar muito numa detecção precoce de árvores doentes, com um custo-benefício atrativo e de forma ágil, evitando que a doença se dissemine nos pomares. Entretanto, a dificuldade de definir comprimentos de onda eficazes na diferenciação entre HLB e outras doenças ou deficiências nutricionais comuns vem sendo um desafio para o setor. A espectrorradiometria de campo pode contribuir nesse aspecto, com um estudo de observação associado a medidas de reflectância de indivíduos infectados em diferentes níveis de comprometimento. Nesse sentido, o presente estudo visa identificar comprimentos de onda e/ou regiões do espectro eletromagnético que sejam eficientes em distinguir folhas de citros infectadas por HLB e folhas saudáveis ou com sintoma de deficiência nutricional, como zinco. Para isso, foram coletadas medidas de radiometria de diversas folhas em dois pomares de citros localizados no interior do estado de São Paulo. A partir dessas medidas, foram calculados espectros de reflectância para cada classe das amostras (assintomática, HLB, saudável, deficiência de zinco, Hamlin, Natal e Pera). Após aplicar métodos de tratamento e análise de dados espectrorradiométricos, verificou-se que a região do *red-edge*, próximo à 700 nm, é importante na diferenciação de folhas com HLB sintomáticas e folhas saudáveis, porém não é eficiente na diferenciação entre folhas com HLB assintomáticas e folhas saudáveis. Apesar da semelhança na condição de clorose, análises de espectrorradiometria demonstraram que folhas sintomáticas de HLB e folhas com deficiência de zinco diferem espectralmente. As análises também demonstraram que as folhas infectadas das variedades de laranja Hamlin, Natal e Pera são semelhantes espectralmente. Em resumo, o estudo indicou que um mesmo sensor multiespectral pode ser utilizado na detecção de citros com HLB para diferentes variedades, porém plantas que ainda são assintomáticas possivelmente não serão diferenciadas das não infectadas por HLB.

Palavras-chave: Análise Espectral, Greening, Sensoriamento Remoto, Agricultura de Precisão, Dados Hiperespectrais, Huanglongbing (HLB).

ABSTRACT

Brazil, as the world's largest producer and exporter of orange juice, has faced difficulties in fighting the Huanglongbing disease (HLB) in its citrus groves. There are more than 197 million orange trees in the region that produces the most in the country, citrus farms in São Paulo and West-Southwest Minas Gerais. Currently, the fight against the disease is carried out through inspections carried out by technicians and is shown to be an expensive, time-consuming and inefficient method. The use of remote sensors coupled to drones can improve early detection of sick trees, with an attractive cost-benefit and in an agile way, preventing the disease from spreading in orchards. However, the difficulty of defining effective wavelengths to differentiate between HLB and other common diseases or nutritional deficiencies has been a challenge for the industry. Field spectroradiometric measurements can contribute in this respect, with an observational study associated with measures of reflectance of infected individuals at different levels of impairment. In this sense, the present study aims to identify wavelengths and/or regions of the electromagnetic spectrum that are efficient in distinguishing citrus leaves infected with HLB and healthy leaves or those with a symptom of nutritional deficiency, such as zinc. For this purpose, radiometric measurements were collected from several leaves in two citrus orchards located in the interior of the state of São Paulo. From these measurements, reflectance spectra were calculated for each class of samples (asymptomatic, HLB, healthy, zinc deficiency, Hamlin, Natal and Pera). After applying treatment methods and analysis of spectroradiometric data, it was found that the red-edge region, close to 700 nm, is important in differentiating symptomatic HLB leaves from healthy leaves, but it is not efficient in differentiating between HLB leaves asymptomatic and healthy leaves. In addition, despite the similarity in the chlorosis condition, spectroradiometric analyzes demonstrated that symptomatic HLB leaves and zinc-deficient leaves differ spectrally. The analyzes also showed that the infected leaves of the Hamlin, Natal and Pera orange varieties are spectrally similar. In summary, this study indicated that the same multispectral sensor can be used to detect citrus with HLB for different varieties, but plants that are still asymptomatic will possibly not be differentiated from those not infected with HLB.

Keywords: Spectral Analysis, Greening, Remote Sensing, Precision Agriculture, Hyperspectral Data, Huanglongbing (HLB).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectro de reflectância, absortância e transmitância de uma folha verde sadia	19
Figura 2 – Espectro de reflectância típico de uma folha verde sadia	21
Figura 3 – Total de árvores de laranja no cinturão citrícola Paulista e do Triângulo/Sudoeste Mineiro por região no ano de 2020*	23
Figura 4 – Percentual das árvores de laranja infectadas com <i>greening</i> com incidência de sintomas por setor e região no ano de 2020	25
Figura 5 – Material coletado em campo, da esquerda para a direita: duas folhas e um fruto com HLB, duas folhas com sintomas de ataque de larva minadora e cranco cítrico e uma folha com sintomas de deficiência de zinco	26
Figura 6 – Planta infectada com <i>greening</i> destaque na a) folha; b) ramo com folha e fruto; c) fruto cortado no sentido longitudinal	27
Figura 7 – Média das medidas de reflectância das folhas sadias (-) e contaminadas com HLB (+) com clorose (<i>yellow</i>) e sem clorose (<i>green</i>). a) superfície adaxial da folha (representada pela letra U) e b) superfície abaxial da folha (representada pela letra L)	32
Figura 8 – Parâmetros que podem ser extraídos da banda de absorção.....	38
Figura 9 – a) feições de absorção e respectivas linhas do contínuo e b) feições com o contínuo removido.....	39
Figura 10 – a) Espectros de reflectância do milho b) e suas respectivas derivadas de primeira ordem	41
Figura 11 – a) Análise de diferença e b) análise de sensibilidade entre folhas de cana-de-açúcar saudáveis, infectadas por patógenos e em estágio de senescência.....	43
Figura 12 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos	45
Figura 13 – Localização aproximada das áreas de estudo	46
Figura 14 – Espaçamento entre as árvores na a) área 1 e na b) área 2	47
Figura 15 – Tabela para registro do estado fitossanitário das árvores de citros onde foram coletadas folhas para amostragem	48
Figura 16 – a) Espectrorradiômetro FieldSpec® Handheld e b) placa Spectralon® utilizados em campo.....	49
Figura 17 – Registro fotográfico das folhas amostradas.....	50
Figura 18 – Espectros de fator de reflectância da face adaxial das quatro classes de folhas de citros	57
Figura 19 – Espectros de fator de reflectância da face adaxial das quatro classes de folhas de citros e seus respectivos desvios-padrão	57

Figura 20 – Espectros de fator de reflectância da face abaxial das quatro classes de folhas de citros	57
Figura 21 - Espectros de fator de reflectância da face abaxial das quatro classes de folhas de citros e seus respectivos desvios-padrão	59
Figura 22 – Primeira derivada dos espectros de fator de reflectância da face adaxial das quatro classes de folhas de citros	60
Figura 23 – Primeira derivada dos espectros de fator de reflectância da face abaxial das quatro classes de folhas de citros	61
Figura 24 – Contínuo removido do intervalo 555 – 675 nm.....	63
Figura 25 – Contínuo removido do intervalo 550 – 750 nm.....	64
Figura 26 – Diferença entre os espectros de reflectância das folhas saudáveis e as demais condições fitossanitárias	67
Figura 27 – Diferença entre os espectros de reflectância de folhas assintomáticas e folhas com sintomas de deficiência de zinco	69
Figura 28 – Análise de sensibilidade entre os espectros de reflectância das folhas saudáveis e as demais condições fitossanitárias	70
Figura 29 – Coeficiente de correlação entre folhas saudáveis e folhas com HLB sintomático	71
Figura 30 – Coeficiente de correlação entre folhas saudáveis e folhas com HLB assintomático	72
Figura 31 – Espectros de fator de reflectância da face adaxial das três variedades de citros.....	73
Figura 32 – Espectros de fator de reflectância da face adaxial das três variedades de citros e seus respectivos desvios-padrão	74
Figura 33 – Primeira derivada dos espectros de fator de reflectância das três variedades de citros	75
Figura 34 – Comparação entre as três variedades com HLB e saudável.....	77
Figura 35 – Diferença entre os espectros de reflectância de folhas da variedade Pera (área 1 – menos comprometida) e folhas de três variedades de citros (área 2 - mais comprometida).....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pigmentos foliares e seus respectivos picos de absorção	22
Tabela 2 – Escala de nível de severidade de HLB pela Fundecitrus	29
Tabela 3 – Informações sobre as árvores de citros amostradas em campo	48
Tabela 4 – Parâmetros da feição com o contínuo removido no intervalo 555 – 675 nm	63
Tabela 5 – Parâmetros da feição com o contínuo removido no intervalo 550 – 750 nm	65
Tabela 6 – Posição do <i>red-edge</i> (REP) nos espectros de fator de reflectância da face adaxial	66
Tabela 7 – Posição do <i>red-edge</i> (REP) nos espectros de fator de reflectância da face adaxial considerando o desvio padrão	66
Tabela 8 – Posição do <i>red-edge</i> (REP) nos espectros de fator de reflectância de três variedades de citros	76
Tabela 9 – Posição do <i>red-edge</i> (REP) nos espectros de fator de reflectância de três variedades de citros considerando o desvio padrão	76

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO	18
2.1.1 Relação da estrutura foliar e energia eletromagnética.....	18
2.2 SETOR CITRÍCOLA BRASILEIRO E A AMEAÇA DO HLB	23
2.2.1 Citricultura no Brasil.....	23
2.2.2 Huanglongbing (HLB).....	24
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À DETECÇÃO DO HLB.....	29
2.4 TRATAMENTO DE DADOS ESPECTRORRADIOMÉTRICOS	33
2.4.1 Remoção do ruído a partir do filtro de média móvel.....	34
2.4.2 Análise de agrupamento	35
2.4.3 Remoção do contínuo.....	36
2.4.4 Análise derivativa	39
2.4.5 Posição do <i>red-edge</i>	41
2.4.6 Análise de diferença e sensibilidade	42
2.4.7 Análise de Correlação.....	44
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS ESPECTRAIS E FITOSSANITÁRIOS EM CAMPO...46	
3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS E ANÁLISE DOS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA.....	50
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DOS EXPERIMENTOS	52
3.3.1 Experimento 1.....	52
3.3.2 Experimento 2.....	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 EXPERIMENTO 1	55
4.1.1 Análise dos espectros de reflectância	55
4.1.2 Análise derivativa	60
4.1.3 Remoção do contínuo.....	62
4.1.4 Posição do <i>red-edge</i>	65
4.1.5 Análises de diferença e sensibilidade.....	66
4.1.6 Análise de correlação.....	71

4.2 EXPERIMENTO 2	73
4.2.1 Análise dos espectros de reflectância	73
4.2.2 Análise derivativa	75
4.2.3 Posição do <i>red-edge</i>	75
4.2.4 Comparação entre os espectros de reflectância de variedades de citros contaminadas por HLB e de citros saudáveis	76
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1. INTRODUÇÃO

De acordo com *World Summit on Food Security*, no ano de 2050 a população mundial deve aumentar para aproximadamente 10 bilhões de pessoas e, nesse contexto, é importante e desafiador garantir a segurança alimentar para a população mundial. Essa situação se agrava com o surgimento recorrente de epidemias, desastres naturais e mudanças climáticas, intensificando a desigualdade social e crises econômicas. Para suprir tal demanda, com o mínimo de impacto possível, a tendência é garantir o aumento da produção de alimentos sem expansão de área e com a menor degradação ambiental possível, incluindo a diminuição drástica no uso de agroquímicos (FAO, 2017).

Para alcançar este cenário, é imprescindível um grande esforço humano e muito investimento na busca por soluções economicamente viáveis e eficazes. O Brasil, na atual conjuntura, desempenha um papel importante, uma vez que teve uma produção de alimentos estimada em 241,5 milhões de toneladas em 2019 e uma população de 209,5 milhões de habitantes (IBGE, 2020a; IBGE, 2020b). Sendo, no mercado mundial, um grande fornecedor de alimentos, o agronegócio é significativamente importante para a economia brasileira. Em 2019, a soma de bens e serviços gerados no setor chegou a 1,55 trilhão de reais, o equivalente a 21,4% do PIB brasileiro (CEPEA, 2020). No mesmo ano, 43% das exportações brasileiras foram de produtos do agronegócio. Além disso, o Brasil é o país que mais exporta açúcar, café, suco de laranja, soja em grãos e carnes bovina e de frango, sendo, também, o maior produtor de café e suco de laranja (USDA, 2020).

Entretanto, o modelo de produção agrícola brasileiro ainda é demasiado conservacionista e tem um altíssimo consumo de agrotóxicos. Em 2013, o Brasil foi o país que, em números absolutos, mais consumiu agrotóxicos no mundo, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2020). Nota-se, facilmente, a relevância do setor para o país e a necessidade de novas práticas agrícolas serem adotadas, passando a utilizar tecnologias que viabilizem uma produção de alimentos mais sustentável para o meio ambiente, e justa no âmbito social e econômico.

A agricultura é uma atividade dinâmica e necessita de um monitoramento frequente. Considerando as atuais demandas do setor agrícola, o sensoriamento remoto consiste em uma importante ferramenta de monitoramento espacial e temporal de áreas de cultivo agrícola de maneira não destrutiva. O sensoriamento remoto tem sido aplicado com sucesso em diversas situações dentro desse setor, como no monitoramento de terras agrícolas para a previsão de uma determinada safra, na otimização da produção a curto prazo, no planejamento da irrigação e aplicação de insumos em uma determinada área, entre outras situações (Weiss et al., 2020).

Apesar do agronegócio brasileiro ter destaque na produção de soja, milho, algodão, açúcar e carnes, por exemplo, há uma tendência de diversificação da produção no país, com destaque para a intensificação na produção de frutas. Hoje, o Brasil é o maior produtor de laranja no mundo, porém os citricultores têm enfrentado uma ameaça preocupante, o *greening*, cujo combate tem sido um desafio para as produções de citros e para a ciência (USDA, 2020).

O *greening*, designado também como Huanglongbing (HLB), é uma doença associada as bactérias *Candidatus Liberibacter asiaticus*, *Candidatus Liberibacter americanus* e *Candidatus Liberibacter africanus*. No Brasil, atualmente, a principal bactéria associada ao *greening* é a *Candidatus Liberibacter asiaticus*. Atualmente está presente, na forma sintomática ou assintomática, em 20,87% das laranjeiras na região que mais produz no Brasil: o cinturão citrícola de São Paulo e o triângulo/sudoeste de Minas Gerais. Além disso, é considerada a doença mais destrutiva da citricultura mundial (FUNDECITRUS, 2020a).

Uma vez que não há tratamento para plantas infectadas, os produtores realizam o manejo integrado de seus pomares na tentativa de combater o *greening*. As principais ações de manejo são: planejamento e escolha do local de plantio; plantio de mudas saudáveis e de qualidade (produzidas em viveiros certificados); aceleração do crescimento e da produtividade das plantas (na fase inicial a planta é mais suscetível); manejo intensificado na faixa da borda; inspeção de plantas; erradicação das plantas com sintomas; monitoramento do psilídeo vetor da doença; controle do psilídeo; manejo regional e alerta fitossanitário; e ações externas de

manejo. Essas ações são importantes na manutenção da produção de citros no país.

A detecção do HLB em citros utilizando técnicas de sensoriamento remoto é um tema que vem sendo amplamente explorado, embora seja, ainda, uma questão desafiadora para pesquisadores e profissionais da área de sensoriamento remoto. Diferentes estudos tentam definir comprimentos de onda que possam caracterizar espectralmente os sintomas da doença e, assim, colaborar para a automatização da detecção do HLB, principalmente quando os sintomas não se manifestaram por completo ou quando ocorreram de forma sutil, atingindo poucas folhas da árvore (MISHRA et al., 2011; LI et al., 2012; SANKARAN et al., 2013; DADRASJAVAN et al., 2019; WANG et al., 2019).

A dificuldade na detecção do HLB utilizando sensores remotos resultam do fato de que a reflectância da folha não é influenciada somente pela presença do HLB, mas também por condições de crescimento e de estrutura, além de seus elementos constituintes. Assim, é preciso levar em consideração variações nas características externas da folha, como cor, textura, e, em características internas, como concentração de clorofila, umidade e composição do tecido vegetal (WANG et al., 2019). Além disso, um estudo de Imai et al. (2020) indica que há variações nos valores de reflectância de diferentes copas de citros infectados por HLB. Quando as folhas aparentam pouco comprometimento com a doença, os valores de reflectância na região do visível apresentam aumento, porém, não há alteração na região do infravermelho próximo, possivelmente porque ainda não ocorreu a perda de umidade na folha e/ou mudanças na estrutura celular.

Outro fator importante na detecção de HLB em citros é que os sintomas da doença nas folhas podem ser confundidos com outros processos de estresse, como deficiência de nutrientes e outros tipos de doenças, o que torna o processo de identificação do *greening* complexo e desafiador no sistema de produção. Uma característica da doença que representa desafios no manejo do HLB é o fato de que a bactéria não se distribui de forma homogênea no sistema vascular da planta. Na maioria das vezes, há concentração da bactéria, e dos sintomas, no ramo infectado pelo psílídeo e nas raízes da árvore. Ou seja, apesar da planta já ser um foco de HLB dentro do pomar, ela é de difícil identificação, tanto em inspeções visuais

quanto por sensores remotos (BASSANEZI et al., 2010). Por isso, uma demanda importante do setor é a identificação de folhas assintomáticas, aquelas que estão em uma planta infectada, porém, não apresentam sintomas visíveis a olho humano.

Desse modo, compreende-se que o espectro de reflectância pode ser associado com o estado fitossanitário das folhas infectadas por HLB tanto em folhas sintomáticas quanto assintomáticas. Os espectrorradiômetros medem a reflectância do alvo a poucos metros de distância, ou seja, com pouquíssima interferência da atmosfera, e restringem a área medida ao alvo de interesse, no caso, às folhas de citros. Assim, espera-se que com esse procedimento seja possível estabelecer uma relação entre as variações dos espectros de reflectância e o estado de comprometimento da planta com HLB e, então, determinar os comprimentos de onda adequados para identificar a doença nos pomares de citros comerciais do Brasil. A identificação desses comprimentos de onda é uma etapa fundamental na configuração de sensores específicos para discriminação e detecção do HLB.

1.1 OBJETIVOS

Tendo em vista o contexto apresentado, este estudo tem como objetivo estabelecer uma relação entre as variações do grau de comprometimento de laranjeiras com HLB e as variações nos espectros. Entende-se que isso permitirá, assim, determinar comprimentos de onda adequados para a detecção da doença em campo em situação avançada e, também, precocemente com folhas contaminadas, porém assintomáticas. Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Criar uma biblioteca espectral de folhas de citros de diferentes espécies contaminadas com HLB em níveis de comprometimento distintos;
- Relacionar características dos espectros de fator de reflectância de amostras de folhas de citros sintomáticas e assintomáticas às condições fitossanitárias observadas em campo;
- Diferenciar espectralmente folhas sintomáticas com HLB e folhas com sintoma de deficiência de zinco, uma vez que ambas apresentam sintomas de clorose;

- Verificar se há variações nos espectros de diferentes variedades de citros contaminadas por HLB.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Constatou-se que a detecção do HLB em citros utilizando sensores remotos ainda é um desafio. Variações no tratamento das plantações e no grau de severidade da doença, entre outros fatores, podem influenciar o comportamento espectral do alvo e dificultar o processo de identificação da doença por sensores embarcados em drone, por exemplo. Portanto, a caracterização espectral da doença em seus diferentes aspectos é uma forma promissora de avançar nesse sentido.

Por outro lado, a folha de uma planta representa um sistema óptico complexo, pois ela é composta por várias estruturas com diferentes índices de refração que contêm diferentes pigmentos.

O desenvolvimento de técnicas não destrutivas para análise de plantas requer o entendimento de sua espectroscopia, de seus pigmentos nas folhas e sua estrutura e padrões de mudanças nos processos fisiológicos nas plantas. Além disso, ocorrem alterações no teor dos pigmentos no decorrer do crescimento da planta, durante a adaptação a condições ambientais desfavoráveis e sob diversas condições de estresse, danos e doenças. Não obstante, ao se aplicar análises de comportamento espectral, foi possível construir uma caracterização detalhada dos espectros.

A partir das análises de espectrometria realizadas neste trabalho entende-se que a região da luz azul é a que menos contribui na diferenciação dos espectros, pois praticamente não apresenta alterações das diferentes classes nessa região e, portanto, esses comprimentos de onda não parecem ser interessantes na detecção de citros infectados por HLB. Apenas na análise de correlação foi notada uma forte relação entre a doença e o aumento de reflectância nessa região do espectro, sugerindo que, conforme o comprometimento do HLB avance nas folhas, maior será a energia refletida.

Nos comprimentos de onda na região da luz verde e vermelha existem variações na magnitude da reflectância nos diferentes espectros, porém são pequenas. A partir das análises realizadas não foi possível observar comprimentos

de onda específicos nessa região que possam caracterizar a doença em sua forma sintomática ou assintomática.

As regiões do espectro que demonstraram melhor desempenho ao separar folhas saudáveis e folhas com HLB são a do *red-edge* e do infravermelho próximo. A estreita região do *red-edge* (próximo a 700 nm) demonstra ser relevante na diferenciação entre folhas saudáveis e folhas infectadas sintomáticas. Essa região também possui potencial ao diferenciar folhas com HLB e deficiência de zinco, assim como o infravermelho próximo. Porém, nota-se que, no *red-edge*, folhas saudáveis e assintomáticas possuem características semelhantes.

Na região do NIR, as assinaturas espectrais das superfícies das folhas de citros demonstram que folhas assintomáticas e sintomáticas possuem feições e intensidades semelhantes entre si e ambas distintas da classe saudável, indicando o potencial dessa região do espectro para diferenciar indivíduos saudáveis de contaminados por HLB. Isso também pode ser uma evidência de que apesar de a folha não apresentar sintomas visíveis de HLB, folhas assintomáticas podem ter passado por alguma mudança estrutural em suas células.

A análise dos espectros das três variedades de laranja, em diferentes períodos de maturação, demonstrou que, de maneira geral, não há diferenças no comportamento espectral das folhas. Esse resultado indica, ainda que de maneira preliminar, que o mesmo sensor e metodologia podem ser aplicados na detecção do HLB nas variedades Pera, Natal e Hamlin nos pomares, simplificando um pouco esse trabalho.

Para trabalhos futuros é recomendado a aquisição de medidas de reflectância de folhas de citros em um período diferente do ano, em que não esteja ocorrendo estiagem e que as plantas não estejam submetidas a algum tipo de estresse. Comparar os espectros de reflectância em diferentes épocas do ano pode ser interessante para complementar as informações sobre o HLB em citros e avaliar a variabilidade dos sintomas e da estrutura foliar sob diferentes condições de umidade e temperatura, proporcionadas pelas diferentes estações do ano.

Em trabalhos futuros é indicado utilizar as informações contidas nessa pesquisa para criar índices de vegetação específicos para detecção de HLB sintomático e assintomático, e realizar a validação desses índices utilizando dados

de pomares de citros. Também se sugere que os espectros de reflectância sejam utilizados como dados de treinamento para classificação de imagens multiespectrais aéreas tomadas de drone. Uma das possibilidades é aplicar o classificador SAM (*Spectral Angle Mapper*), que utiliza assinaturas espectrais, como os espectros de reflectância, como referência em suas classificações.

Por último, sugere-se estudos de detecção do HLB que considerem atributos adicionais aos espectrais, principalmente para detectar indivíduos assintomáticos, uma vez que a distinção de folhas saudáveis de assintomáticas é uma questão complexa. Uma alternativa é explorar outras características da doença, como a perda de folhas em alguns ramos da árvore e a brotação de folhas em tamanho reduzido. Para isso, pode ser interessante utilizar nuvens de pontos provenientes de sensores laser em conjunto com os sensores imageadores e imagens horizontais terrestres, além das imagens verticais aéreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASD - Analytical Spectral Devices. **FieldSpec®UV/VNIR: HandHeld Spectroradiometer**. Manual de uso, p.72, 2003.

APTA – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. **Maior produtor de laranja e exportador de suco de laranja do mundo, SP deve manter setor ativo para atender demanda pela fruta rica em vitamina C**, 2020. Disponível em: <<http://www.apta.sp.gov.br/noticias/maior-produtor-de-laranja-e-exportador-de-suco-de-laranja-do-mundo,-sp-deve-manter-setor-ativo-para-atender-demanda-pela-fruta-rica-em-vitamina-c>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

AYRES, J.; SALA, I.; MIRANDA, M. P.; WULFF, N.; BASSANEZI, R. B.; LOPES, S. A. **Manejo do greening: 10 mandamentos para o sucesso no controle da doença**. Fundecitrus. 2. ed. 2018. Disponível em: <<https://www.fundecitrus.com.br/>>. Acesso em: 6 fev. de 2019.

BASSANEZI, R. B.; LOPES, S. A.; JÚNIOR, J. B.; SPÓSITO, M. B.; YAMAMOTO, P. T.; DE MIRANDA, M. P.; TEIXEIRA, D. C.; WULFF, N. A. Epidemiologia do huanglongbing e suas implicações para o manejo da doença. **Citrus Research & Technology**, v. 31, n. 1, p. 11-23, 2010.

BELASQUE JR, J.; YAMAMOTO, P. T.; DE MIRANDA, M. P.; BASSANEZI, R. B., AYRES, A. J.; BOVÉ, J. M. Controle do huanglongbing no estado de São Paulo, Brasil. **Citrus Research & Technology**, v. 31, n. 1, p. 53-64, 2010.

BOVÉ, J. M. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. **Journal of plant pathology**, p. 7-37, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete do Ministro. Instrução Normativa n.º 53, de 17 de outubro de 2008. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 out. 2008.

BREUNIG, F. M.; CAMARGO, F. F.; ADAMI, M.; MANTELLI, L. R.; COSTA, M. C.; PONZONI, F. J.; FREITAS, J. G. Aplicação da técnica de remoção do contínuo para a discriminação espectral de diferentes dosagens de Nitrogênio aplicadas ao trigo (*Triticum aestivum*, L.-IAC-370). **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 91-98, 2007.

BUSCHMANN, C.; NAGEL, E. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 711-722, 1993.

CARTER, G. A. Primary and secondary effects of water content on the spectral reflectance of leaves. **American journal of botany**, v. 78, n. 7, p. 916-924, 1991.

CARTER, G. A. Responses of leaf spectral reflectance to plant stress. **American journal of botany**, v. 80, n. 3, p. 239-243, 1993.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio Cresce 3,81% em 2019**, 2020. Disponível em: < [https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_PIB_CNA_2019\(1\).pdf](https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_PIB_CNA_2019(1).pdf) >. Acesso em: 06 ago. 2020.

CLARK, R. N.; ROUSH, T. L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research**, v. 89, n. B7, p. 6329 – 6340, 1984.

DADRASJAVAN, F.; SAMADZADEGAN, F.; POURAZAR, S. H. S.; FAZELI, H. UAV-based multispectral imagery for fast Citrus Greening detection. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v.126, n. 4, p. 307-318, 2019.

DEMETRIADES-SHAH, T. H.; STEVEN, M. D.; CLARK, J. A. High resolution derivative spectra in remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, n. 1, p. 55-64, 1990.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The Future of Food and Agriculture - Trends and Challenges**, Rome, 2017. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf> >. Acesso em 03 ago. 2020.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Pesticides Trade**. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RT/visualize> >. Acesso em: 12 ago. 2020.

FUNDECITRUS - Fundo de Defesa da Citricultura. **Levantamento de doenças dos citros: HLB, CVC e cancro cítrico no cinturão citrícola de São Paulo e triângulo/sudoeste mineiro**. Araraquara, SP, 2017. Disponível em: <<https://www.fundecitrus.com.br/pdf/levantamentos/levantamento-doencas-2017.pdf>>. Acesso em: 06 abri. 2021.

FUNDECITRUS - Fundo de Defesa da Citricultura. **Greening**. Manual Técnico. 2009. Disponível em: <<http://www.citrusbr.com/manuaistecnicos>>. Acesso em 20 fev. de 2019.

FUNDECITRUS – Fundo de Defesa da Citricultura. **Inventário de árvores do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro: retrato dos pomares em março de 2020**. Araraquara, SP: Fundecitrus, 105 p. ISSN: 2446-7731 (online), 2020a.

FUNDECITRUS – Fundo de Defesa da Citricultura. **Levantamento da incidência das doenças dos citros: greening, CVC e cancro cítrico**. Araraquara, SP, 67 p., 2020b.

FUNDECITRUS – Fundo de Defesa da Citricultura. **Com clima favorável, população do psilídeo está alta em todas as regiões do cinturão citrícola.** Araraquara, SP. 2020c. Disponível em: <<https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/noticias/integra/com-clima-favoravel-populacao-do-psilideo-esta-alta-em-todas-as-regioes-do-cinturao-citricola/953>>. Acesso em: 06 abr. 2021.

GARCIA-RUIZ, F.; SANKARAN, S.; MAJA, J. M.; LEE, W. S.; RASMUSSEN, J.; EHSANI, R. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 91, p. 106-115, 2013.

GATES, D. M.; KEEGAN, H. J.; SCHLETER, J. C.; WEIDNER, V. R. Spectral properties of plants. **Applied optics**, v. 4, n. 1, p. 11-20, 1965.

GONZALEZ, P.; REYES-DE-CORCUERA, J.; ETXEBERRIA, E. Characterization of leaf starch from HLB-affected and unaffected-girdled citrus trees. **Physiological and molecular plant pathology**, v. 79, p. 71-78, 2012.

GUYOT, G.; BARET, F. Utilisation de la haute resolution spectrale pour suivre l'etat des couverts vegetaux. In: **Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing**. p. 279, 1988.

LICHTENTHALER, H. K.; GITELSON, A.; LANG, M. Non-destructive determination of chlorophyll content of leaves of a green and an aurea mutant of tobacco by reflectance measurements. **Journal of Plant Physiology**, v. 148, n. 3-4, p. 483-493, 1996.

HERWITZ, S. R.; JOHNSON, L. F.; DUNAGAN, S. E.; HIGGINS, R. G.; SULLIVAN, D. V.; ZHENG, J.; LOBITZ, B.M.; LEUNG, J. G.; GALLMEYER, B. A.; AOYAGI, M.; SLYE, R. E.; BRASS, J. A. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 44, n. 1, p. 49-61, 2004.

HOLDEN, HEATHER; LEDREW, ELLSWORTH. Spectral discrimination of healthy and non-healthy corals based on cluster analysis, principal components analysis, and derivative spectroscopy. **Remote sensing of environment**, v. 65, n. 2, p. 217-224, 1998.

HORLER, D. N. H.; DOCKRAY, M.; BARBER, J. The red edge of plant leaf reflectance. **International journal of remote sensing**, v. 4, n. 2, p. 273-288, 1983.

HUANG, Z.; TURNER, B. J.; DURY, S. J.; WALLIS, I. R.; FOLEY, W. J. Estimating foliage nitrogen concentration from HYMAP data using continuum removal analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 1-2, p. 18-29, 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal**. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 8 fev. de 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 03 jul. 2020a.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeções da População**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 03 jul. 2020b.

IMAI, N. N.; MORIYA, E. A. S.; TOMMASELLI, A. M. G.; BERVEGLIERI, A.; PORTO, L. R. **Orange tree bacterial disease detection in high resolution UAV based image**. Aceito para publicação em: IEEEExplore referente ao evento LAGIRS 2020.

IREY, M. S.; GAST, T.; GOTTWALD, T. R. Comparison of visual assessment and polymerase chain reaction assay testing to estimate the incidence of the Huanglongbing pathogen in commercial Florida citrus. **Proceedings of Florida State Horticultural Society** 119, p. 89-93, 2006.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: An earth resource perspective**. 2. ed. Pearson Education India. 2009.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. New Jersey: Prentice-Hall, 6^a.ed., 2007.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Detecção de Greening dos citrus por imagens multiespectrais. **Agricultura de Precisão: Resultados de Um Novo Olhar**. Embrapa, Brasília, DF, p. 180 – 190, 2014.

KILLINY, N.; NEHELA, Y. One target, two mechanisms: the impact of ‘Candidatus Liberibacter asiaticus’ and its vector, Diaphorina citri, on citrus leaf pigments. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 30, n. 7, p. 543-556, 2017.

KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote sensing of environment**, v. 1, n. 3, p. 155-159, 1970.

KOKALY, R. F. Investigating a physical basis for spectroscopic estimates of leaf nitrogen concentration. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, n. 2, p. 153-161, 2001.

KUMAR, A.; LEE, W. S.; EHSANI, R. J.; ALBRIGO, L. G.; YANG, C.; MANGAN, R. L. Citrus greening disease detection using aerial. **Journal of applied remote sensing**, p. 22, 2012.

KUMAR, L.; SCHMIDT, K.; DURY, S.; SKIDMORE, A. Review of hyperspectral remote sensing and vegetation science. In: VAN DER MEER, F. D.; DE JONG, S. M. (Ed.). **Imaging spectrometry: Basic principles and prospective applications**. Springer Science & Business Media, p. 111-155, 2001.

KRUSE, F. A.; LEFKOFF, A. B.; DIETZ, J. B. Expert system-based mineral mapping in northern death valley, California/Nevada, using the Airbone Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). **Remote Sensing of Environment**, St. Paul, v. 44, n. 2-3, p. 309 - 336, 1993.

LI, X.; LEE, W. S.; LI, M.; EHSANI, R.; MISHRA, A. R.; YANG, C.; MANGAN, R. L. Spectral difference analysis and airborne imaging classification for citrus greening infected trees. **Computers and Electronics in Agriculture**, 83, p. 32-46, 2012.

MALTHUS, T. J.; MADEIRA, A. C. High resolution spectroradiometry: Spectral reflectance of Field bean leaves infected by *Botrytis fabae*. **Remote Sensing of Environment**, n. 45, p.107-116, 1993.

MIRANDA, M. P. Manual de psílideo *Diaphorina citri* medidas essenciais de controle. **Fundecitrus**. 2018. Disponível em: < <https://www.fundecitrus.com.br/>>. Acesso em: 6 fev. de 2019.

MISHRA, A. R.; EHSANI, R.; LEE, W. S.; ALBRIGO, G. Spectral characteristics of citrus greening (Huanglongbing). In: **2007 ASAE Annual Meeting**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1, 2007.

MISHRA, A.; KARIMI, D.; EHSANI, R.; ALBRIGO, L. G. Evaluation of an active optical sensor for detection of Huanglongbing (HLB) disease. **Biosystems Engineering**, v. 110, n. 3, p. 302-309, 2011.

MORIYA, E. A. S. **Identificação de bandas espectrais para detecção de cultura de cana-de-açúcar sadia e doente utilizando câmara hiperespectral Embarcada em VANT**. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2015a.

MORIYA, E. A. S.; IMAI, N. N.; TOMMASELI, A. M. G.; MYOSHI, G. T. Determinação de regiões espectrais sensíveis a presença de agentes patógenos na cana-de-açúcar, caso ferrugem alaranjada e estria vermelha. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2015, João Pessoa. **Anais...**, João Pessoa: INPE, 2015b. p. 2605 – 2612.

MORIYA, E. A. S.; IMAI, N. N.; TOMMASELI, A. M. G.; MYOSHI, G. T. Mapping mosaic virus in sugarcane based on hyperspectral images. **Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 10, n. 2, p. 740-748. fev. 2017.

MORIYA, É.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G.; BERVEGLIERI, A.; HONKAVAARA, E.; SOARES, M. A.; MARINO, M. Detecting citrus Huanglongbing in brazilian orchards using hyperspectral aerial images. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences**, v. XLII-2/W13, 2019.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; MILAN, P.; LOPES, F. F.; CRESSONI, F.; LALAKI, R. O retrato da citricultura brasileira. **Ribeirão Preto: CitrusBR**, 138p, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de Textos, 2015.

POURREZA, A.; LEE, W. S.; ETXEBERRIA, E.; ZHANG, Y. Identification of citrus Huanglongbing disease at the pre-symptomatic stage using polarized imaging technique. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 16, p. 110-115, 2016.

POURREZA, A., LEE, W. S.; CZARNECKA, E.; VERNER, L.; GURLEY, W. Feasibility of Using the Optical Sensing Techniques for Early Detection of Huanglongbing in Citrus Seedlings. **Robotics**, v. 6, n. 2, p. 11, 2017.

PRABHAKAR, M.; PRASAD, Y. G.; THIRUPATHI, M.; SREEDEVI, G.; DHARAJOTHI, B.; VENKATESWARLU, B. Use of ground based hyperspectral remote sensing for detection of stress in cotton caused by leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae). **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 79, n. 2, p. 189-198, 2011.

SANKARAN, S.; MAJA, J. M.; BUCHANON, S.; EHSANI, R. Huanglongbing (citrus greening) detection using visible, near infrared and thermal imaging techniques. **Sensors**. v. 13, n.2, p. 2117-2130, 2013.

SANO, E. E.; PONZONI, F. J.; MENESES, P.R.; BAPTISTA, G. M. M.; TONIL, A. C.; GALVÃO, L. S.; ROCHA, W. J. S. F. Rlectância da Vegetação. In. MENESES, P.R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. (Org.). **Reflectância dos Materiais Terrestres: Análise e Interpretação**. São Paulo: Oficina de Texto, p. 189-223, 2019.

SARKAR, S. K. DAS, J.; EHSANI, R.; KUMAR, V. Towards autonomous phytopathology: Outcomes and challenges of citrus greening disease detection through close-range remote sensing. In: **2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)**. IEEE, p. 5143-5148, 2016.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 3 ed. Elsevier, 2007.

SULZBACH, M.; DE OLIVEIRA, R. P.; GIRARDI, E. A.; SCHWARZ, S. F.; BERTOLINI, E.; SCHNEIDER, L. A.; GONZATTO, M. P. Huanglongbing (HLB) dos citros e estratégias de manejo visando prevenção e controle. **Embrapa Clima Temperado-Documentos** (INFOTECA-E), 2017.

TSAI, F.; PHILPOT, W. Derivative analysis of hyperspectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 66, n. 1, p. 41-51, 1998.

USDA – United States Department of Agriculture. **International Markets & U. S. Trade**. Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/topics/international-markets-us-trade/>>. Acesso em 07 ago. 2020.

VERDEBOUT, J.; JACQUEMOUD, S.; SCHMUCK, G. Optical properties of leaves: modelling and experimental studies. In: **Imaging spectrometry — a tool for environmental observations**. Springer, Dordrecht, p. 169-191, 1994.

YAO, H.; TANG, L.; TIAN, L.; BROWN, R. L.; BHATNAGAR, D.; CLEVELAND, T. E. using hyperspectral data in precision farming applications. In: THENKABAIL, P. S.; LYON, J. G.; HUETE, A. **Hyperspectral remote sensing of vegetation**. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, p. 309-327, 2012.

WANG, K.; GUO, D.; ZHANG, Y.; DENG, L.; XIE, R.; LV, Q.; YI, S.; ZHENG, Y.; MA, Y.; HE, S. Detection of Huanglongbing (citrus greening) based on hyperspectral image analysis and PCR. **Front. Agric. Sci. Eng**, v. 6, p. 172-180, 2019.

WEISS, M.; JACOB, F.; DUVEILLER, G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. **Remote Sensing of Environment**, v. 236, p. 111402, 2020.