

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO DA DOENÇA GREENING EM
POMARES DE LARANJA USANDO IMAGENS RGB**

VINICIUS SONCINI TREVISAN

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva
Coorientador: Dr. Danilo Tedesco de Oli

**JABOTICABAL - SP
1º Semestre / 2022**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO DA DOENÇA GREENING EM
POMARES DE LARANJA USANDO IMAGENS RGB**

Vinicius Soncini Trevisan

Orientador: Rouverson Pereira da Silva

Trabalho apresentado a Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinária UNESP –
Campus de Jaboticabal Para graduação em
ENGENHARIA AGRÔNOMICA.

Ficha Catalográfica

T814d	Trevisan, Vinicius Soncini
	Delimitação de unidades de manejo da doença greening em pomares de laranja usando imagens RGB / Vinicius Soncini Trevisan. -- Jaboticabal, 2023
	18 p.
	Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
	Orientador: Rouverson Pereira da silva Coorientador: Danilo Tedesco de Oliveira
	1. Sensoriamento remoto. 2. Agricultura de precisão. 3. Inteligencia artificial.
	I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO:

Engenharia e Ciências Exatas

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO : DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO DA DOENÇA GREENING EM
POMARES DE LARANJA USANDO IMAGENS RGB

ACADÊMICO: Vinicius Soncini Trevisan

CURSO: Engenharia Agrônômica

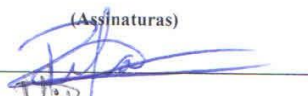
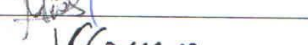
ORIENTADOR (ES): Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva
Dr. Danilo Tedesco de Oliveira

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

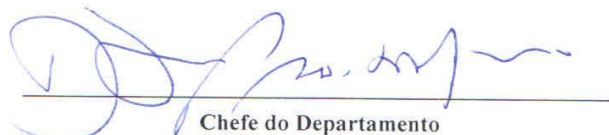
(Nomes)
Presidente Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva
Membro Mariana Dias Meneses
Membro Vinicius dos Santos Carreira

(Assinaturas)


Jaboticabal 16 / 03 / 2022

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 27 / 07 / 2022


Chefe do Departamento

Prof. Dr. Danisio Prado Munari
Chefe do Depto. de Engenharia
e Ciências Exatas

Aprovado Ad Referendum do
Conselho do Departamento

ÍNDICE

1. RESUMO	6
2. SUMMARY	7
3. INTRODUÇÃO	8
4. OBJETIVOS	10
5. MATERIAL E MÉTODOS	11
5.1. Criando o banco de dados	11
5.3. Validação do projeto	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5. CONCLUSÃO	16
6. REFERÊNCIAS	17

1. RESUMO

Delimitação de unidades de manejo da doença greening em pomares de laranja usando imagens RGB

A detecção precoce de árvores infectadas com a doença citrus greening ainda é um problema, que se não identificado previamente pode reduzir a produtividade da cultura tornando-a inviável para comercialização. Após a infecção da planta o tempo para identificação dos primeiros sintomas é lento tornando-se difícil a identificação da doença previamente. Para detecção das plantas infectadas em uma lavoura é recomendável realizar, no mínimo, seis inspeções em todas as plantas cítricas, durante o ano todo. Uma dificuldade é encontrar mão-de-obra qualificada e motivada para realizar a inspeção com qualidade e uma das limitações é a subjetividade da avaliação que pode acarretar erros da ordem de 50% ou mais. Tornando-se necessário explorar novos métodos inteligentes para identificação das regiões infectadas de forma automatizada. Esse trabalho teve por objetivo avaliar o potencial do uso de imagens RGB de baixa altitude para delimitar unidades de gerenciamento da doença citrus greening, estabelecendo relações funcionais entre as unidades de gerenciamento com as possíveis regiões infectadas. O projeto foi conduzido durante o ciclo de produção da laranja em um pomar comercial localizado na região do município de Cajobi-SP. Sendo desenvolvido em três etapas: amostragem de plantas infectadas em campo com uso do GPS, treinamento do algoritmo aprendizado profundo para identificação automática das plantas com sintomas e, por fim, a comparação da identificação dos sintomas realizadas manualmente e por meio das imagens de drone. Os resultados obtidos mostram que é possível realizar a identificação automática das plantas infectadas. O algoritmo de detecção apresentou resultados mais assertivos em plantas com sintomas avançados mostrando assim um déficit para a detecção de plantas com poucos sintomas visíveis. Nosso projeto confirma que é possível identificar automaticamente as plantas que apresentam sintomas avançados da doença citrus greening em imagens de drone. No entanto, mais pesquisas são necessárias para identificar as plantas doentes antes dos sintomas visíveis aparecerem, o que poderia auxiliar na delimitação de unidades de gerenciamento.

Palavras- chaves: Sensoriamento remoto; Agricultura de precisão; Inteligencia artificial.

2. SUMMARY

Delimitation of management units of citrus greening disease in orange orchards through RGB images

The early detection of trees infected with the citrus greening disease is still a problem, which, if not previously identified, can reduce the productivity of the crop. After plant infection, the time for identification of the first symptoms is slow, making it difficult to identify the disease in advanced stage. To detect infected plants in the field, is recommended to do at least six inspections in all citrus plants, throughout the year. One difficulty is finding qualified and motivated labor to carry out the interference with quality and one of the limitations is the subjectivity of the manual evaluation, which can lead to errors of around 50% or more. Becoming necessary to explore new intelligent methods for identifying infected regions in an automated way. This work aimed to evaluate the potential of using low-altitude RGB images to delimit citrus greening disease management units, establishing working relationships between the management units and the possible infected regions. The project was controlled during the orange production cycle in a commercial orchard located in the region of Cajobi-SP. Being developed in three stages: biological of infected plants in the field using GPS, training of the deep algorithm for automatic identification of plants with symptoms, and, finally, the comparison of the identification of symptoms performed manually and through drone images. The results obtained show that it is possible to carry out the automatic identification of infected plants. The detection algorithm presented more assertive results in plants with advanced symptoms, thus showing a deficit for the detection of plants with few visible symptoms. Our project confirms that it is possible to automatically identify plants showing advanced symptoms of citrus greening disease in drone images. However, more research is needed to identify diseased plants before apparent symptoms appear, which could aid in delimiting management units.

Keywords: Remote sensing; Precision agriculture; Artificial intelligence.

3. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de laranja do mundo, produzindo 18,385 milhões de toneladas no ano de 2020, com área plantada de 649.120 ha (CONAB, 2020). Grande parte dessa produção está localizada no estado de São Paulo, principal estado produtor e processador do fruto, que detém 79% da produção nacional (CONAB, 2020). As exportações do suco de laranja geraram 1,4 bilhões de dólares em 2020 (MAPA, 2020) mostrando-se assim uma importante atividade econômica para o país, motivo de grande prestígio no setor agroindustrial, com a geração de empregos e oportunidades de desenvolvimento.

Embora cultura apresente grande potencial para segurança econômica do país, existem grandes problemas na produção, e dentre eles o de maior importância está relacionado a doença citrus *greening*, responsável por ocasionar a redução do número de plantas do pomar e aumento no custo de produção por conta de pulverizações e vistorias para identificação de sintomas e determinação de medidas de prevenção (COSTA et al., 2021). O citrus *greening* ou Huanglongbing (HBL) é a principal doença na citricultura mundial (ALVAREZ et al., 2016), causada pelas bactérias *Candidatus Liberibacter spp*, transmitidas pelo psílídeo *Diaphorina citri*. Um dos fatores que faz com que esta doença seja de difícil controle é a disseminação da bactéria sobre os tecidos da planta, sendo uma distribuição sistêmica e pulverizada em várias partes, impossibilitando o controle por poda ou outro método que não prejudique severamente o hospedeiro da bactéria (MACHADO et al., 2021). Sendo assim, esta doença torna-se um grande desafio para cultura uma vez que pomares severamente infectados se tornam economicamente inviáveis em um intervalo de cinco a sete anos, além de apresentarem frutos defeituosos e impróprios para consumo, o que acarreta queda na produção. Devido à ausência de tratamento, as plantas contaminadas se tornam inóculo ao patógeno, assim, favorecendo a transmissão. Dessa maneira, a erradicação torna-se a única alternativa para controle (BELASQUE JUNIOR et al., 2009).

O diagnóstico do citrus *greening* é realizado por meio da vistoria manual e depende de mão de obra qualificada para obtenção de dados de qualidade e confiáveis. Esta vistoria consiste em percorrer todo pomar observando detalhadamente cada planta (SANKARAN; EHSANI, 2011). Trata-se de uma metodologia extremamente repetitiva, o que causa fadiga ao vistoriador ao longo do

dia por conta da frequência do trabalho, comprometendo a capacidade de identificação. Consequentemente, podem ocorrer erros em torno de 50% no diagnóstico e portanto, estima-se que para cada árvore detectada, exista mais uma contaminada na região (BASSANEZI et al., 2010). Além disso, por meio da vistoria manual só é possível a detecção quando os sintomas já estiverem avançados, uma vez que a planta leva de seis a doze meses para demonstrar sintomas detectáveis pelo vistoriador (BOVÉ, 2006).

Encontrando-se nessa situação desfavorável, a citricultura busca novas técnicas de detecção, e estas tendem a vir de sistemas inteligentes, capazes de identificar variações e reconhecer padrões que indiquem a presença da doença por meio de sensoriamento remoto e o emprego de modelos de aprendizado de máquina, (NOGUEIRA et al 2017). Na atualidade existem pesquisas relacionadas à detecção automatizada do HBL, pois a eficiência e produtividade deste método aguçaram a criatividade de cientistas, que enxergaram no emprego de modelos de aprendizagem, em conjunto de redes neurais uma aplicação promissora (LAN et al., 2020). O uso de aeronaves não tripuladas (UAV) para tomada de imagens é uma excelente ferramenta, proporciona versatilidade na obtenção dados, quais podem ser realizadas em diferentes estágios da planta, épocas do ano e horários do dia, combinado com alta quantidades de espectros capturados pelas câmeras multiespectrais. Todo aparato de obtenção de dados pode ser operado em sintonia com aprendizados de máquinas, assim compondo um aglomerado de conhecimentos e tecnologias que se mostram capazes de identificar variações fisiológicas dos pomares, as quais podem ser relacionadas ao *greening*. Pesquisas realizada comprovam essa hipótese, mostrando que o sensoriamento remoto com UAV e o processamento das imagens por redes neurais de múltiplas entradas, geram resultados com precisão de classificação que giram em torno de 99% em treinamento e verificação, nas condições aplicadas, porém, ainda há limitações em sua aplicação (DENG et al., 2020).

Em sua maioria, as pesquisas desenvolvidas relacionam os sintomas da doença através de índices de vegetação, empregando um grande número de espectros, porém, há outras ferramentas com potencial, como imagens de satélites ou até

câmeras RGB, fatores como formato do dossel, forma física da planta e variações abruptas de coloração das folhas também são associados ao HBL (CHANG et al., 2020). Mesmo com resultados promissores os métodos de detecção automático ainda não são amplamente utilizados. Existem problemas com a geração de falsos positivos, que acarretam na demarcação de plantas saudáveis, mostrando-se ainda não confiáveis para aplicação em escala comercial.

Em análise deste impasse tecnológico, idealiza-se neste trabalho sanar esta necessidade, com a aplicação de uma metodologia de amostragem mesclada que demonstra potencial para dar os primeiros passos em escala. Pressupõe-se que a geração de zonas de manejo que otimizara a vistoria manual, inibindo o risco de falsos positivos. Este método consiste no treinamento de uma rede neural capaz de distinguir padrões da doença através de imagens RGB, que entretanto não será utilizada exclusivamente como critério para erradicação. Espera-se que o resultado da classificação automática possa gerar um mapa de zonas de provável infecção, onde as plantas selecionadas serão georreferenciadas e, posteriormente, analisadas em campo por um vistoriador treinado, assim otimizando a eficiência, já que não haverá necessidade de percorrer 100% do pomar de maneira manual e excluía o risco de falsos positivos, sendo que assim, somente serão erradicadas plantas vistoriadas e julgadas pelo profissional.

4. OBJETIVOS

Objetiva-se neste trabalho desenvolver um sistema inteligente capaz de delimitar unidades de manejo para realizar o monitoramento do citrus *greening*, utilizando imagens RGB capturadas por um veículo aéreo remotamente pilotado. Os objetivos específicos foram:

- I. Permitir que a vistoria seja direcionada para possíveis plantas infectadas.
- II. Aumentar eficiência de vistoria em grandes áreas.
- III. Inibir a geração de falsos positivos.
- IV. Aumentar a frequência de vistorias ao longo do ciclo de produção

5. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi conduzido durante o ciclo de produção da laranja Pêra rio na safra 2019/2020, em um pomar comercial localizado no município de Cajobi-SP. Na Figura 1 é apresentado o resumo gráfico do trabalho desenvolvido, contendo três etapas que serão apresentadas nos próximos tópicos.

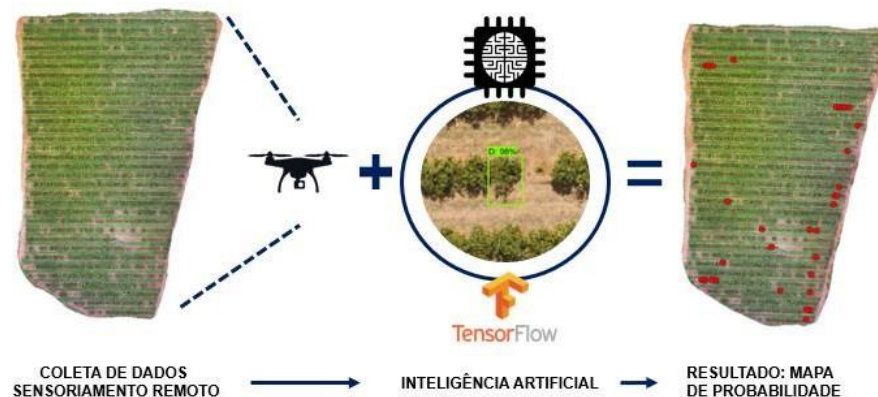


Figura 1. Resumo gráfico do desenvolvimento do projeto.

5.1. Criando o banco de dados

Para primeira etapa foram realizadas inspeções manuais para identificação dos sintomas do citrus *greening* em todas as plantas do pomar, georreferenciando a localização das plantas que apresentaram os sintomas da doença com a utilização de receptor GNSS GARMIN 60CSx. Após a inspeção foram tomadas imagens aéreas de baixa altitude, a partir do sensor RGB Zenmuse X5, com gama espectral de 410 a 4950 nm de comprimento de onda, embarcado no drone DJI Inspire 2.

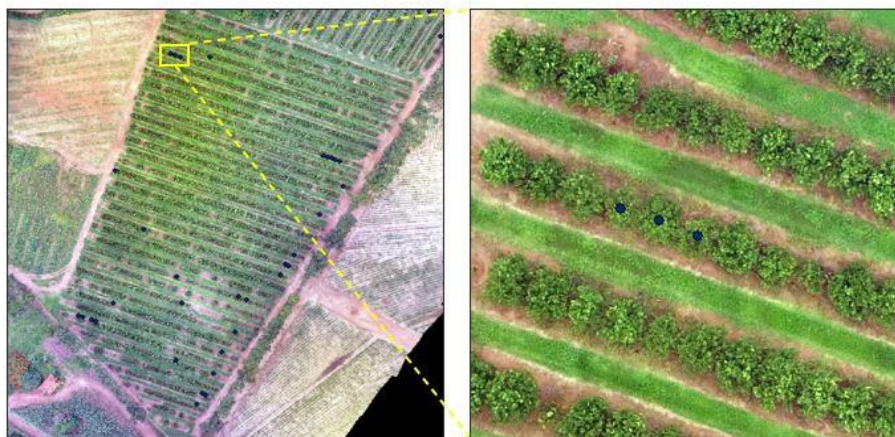


Figura 2. Georreferenciamento das plantas sintomática.

5.2. Classificação dos sintomas e desenvolvimento algoritmo R-CNN

As localizações demarcadas com GNSS para cada planta que apresenta os sintomas da doença citrus *greening* foram utilizadas para criar os padrões que foram utilizados para compor as etapas de treinamento, teste e validação de um modelo pré-treinado em uma rede neural convolucional. Nesse projeto foram estabelecidos dois padrões para classificação das condições das plantas (Assintomática e Sintomática) exemplificado na Figura 3.

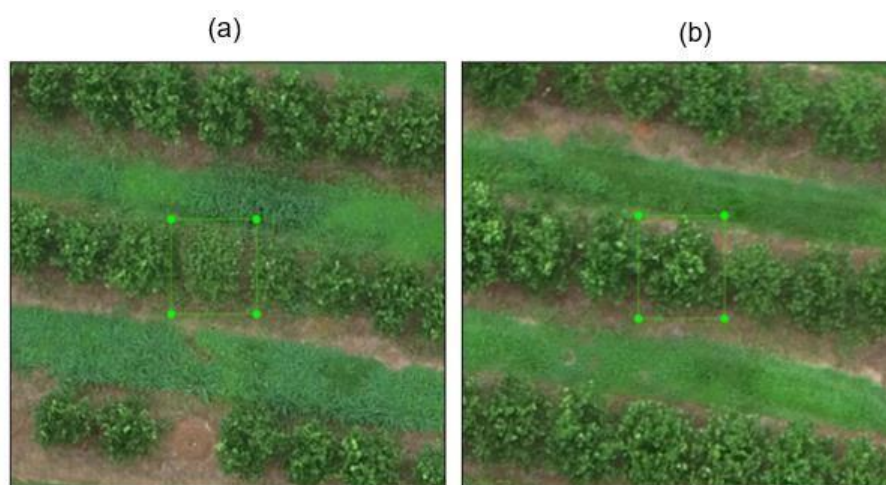


Figura 3. Exemplos de classificação dos sintomas da doença citrus *greening*: (a) Planta sintomática, (b) Planta assintomática.

Para etapa de treinamento e teste da rede neural foram utilizadas imagens de um pomar de aproximadamente 26 hectares. Foram utilizadas 150 amostras de imagens de plantas que apresentaram sintomas da doença citrus *greening* (62% para treinamento e 38% para teste). O tipo de rede utilizada para identificação plantas infectadas foi a Rede Neural Convolucional Mais Rápida de Região (Faster R-CNN), na qual algoritmos são utilizados para detecção de padrões em imagens que identificam anormalidades semelhantes às da doença e os classificam de acordo com os padrões criados no banco de dados (REN et al., 2015). A rede foi treinada para comparar todas as plantas e analisara a similaridade com os padrões de treinamento, como ferramenta para aumentara acurácia, foi inserido a taxa mínima, apenas plantas julgadas com valor acima de 80% de similaridade com o padrão doente foram selecionadas para compor o mapa de resultados.

5.3. Validação do projeto

A validação do projeto foi realizada por meio da implementação do algoritmo treinado para identificação das plantas sintomáticas em imagens do pomar, para teste utilizamos dois talhões talhão 1 - 1,72ha e 2 - 2,46ha que juntos compõem uma área de 4,18ha, onde encontravam-se 59 plantas doentes, demonstrados na figura

6. Os resultados foram avaliados qualitativamente pela comparação da identificação de plantas sintomáticas e assintomáticas.



Figura 4. Talhão 1 e 2 com destaque das plantas infectadas em pontos vermelhos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos permitem observar que foi possível realizar a identificação automática de parte das plantas infectadas, indicadas com setas na Figura 5. Para o talhão 2, observa-se que foram detectadas as plantas A e D, mais três plantas foram reconhecidas em localidades distintas do talhão. Na Figura 6, observamos o talhão 1, onde foi possível a detecção automática apenas de uma das amostras (planta A) em sua extensão. Totalizando assim um total de 6 entre 59. 10,13% das amostras foram reconhecidas de maneira automática. Desta forma, o algoritmo proposto teve dificuldades na identificação das plantas, quando o sintoma da doença está pouco avançado, resultando na identificação apenas de plantas onde o sintoma da doença está muito avançado, mesmo assim ainda deixando de identificar muitas amostras neste estágio. Este resultado não permite que unidades de manejo sejam criadas, pois a proposta de criar unidades para manejo seria para detecção de plantas que apresentem qualquer anomalia que possa ser relacionada doença, assim permitindo

a realização da vistoria direcionada. Para que isso seja possível é necessário que no mínimo todas plantas com sintomas visíveis seja classificada com similaridade maior que 80%, assim delimitando áreas para inspeção localizada, de modo a aliviar o intensivo trabalho de campo e torná-lo mais efetivo.

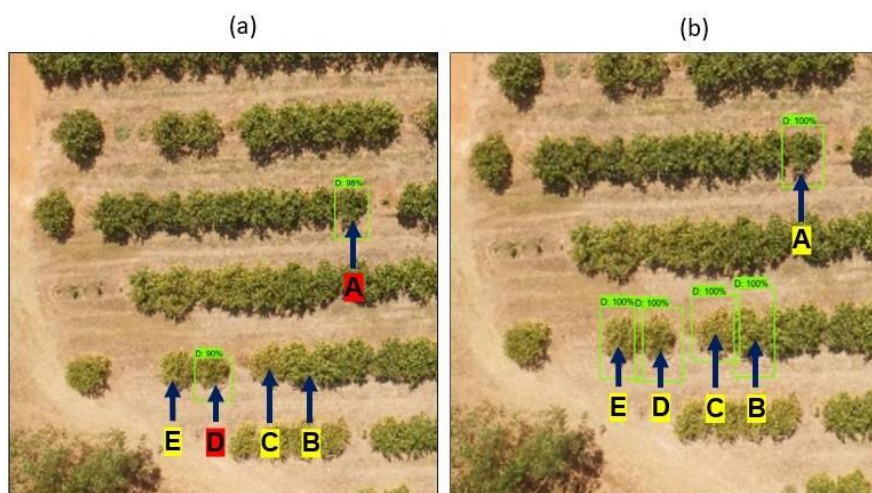


Figura 5. Exemplos de classificação dos sintomas da doença citrus *greening* no talhão 2 (a) identificação automática, (b) identificação manual (treinamento). Plantas infectadas denominadas por letras de A a E, em destaque vermelho, amostras que o algoritmo foi capaz de reconhecer.

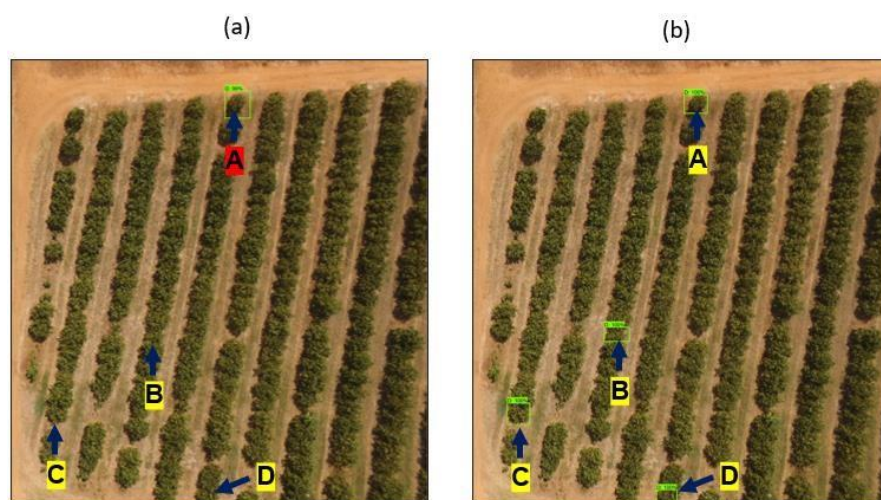
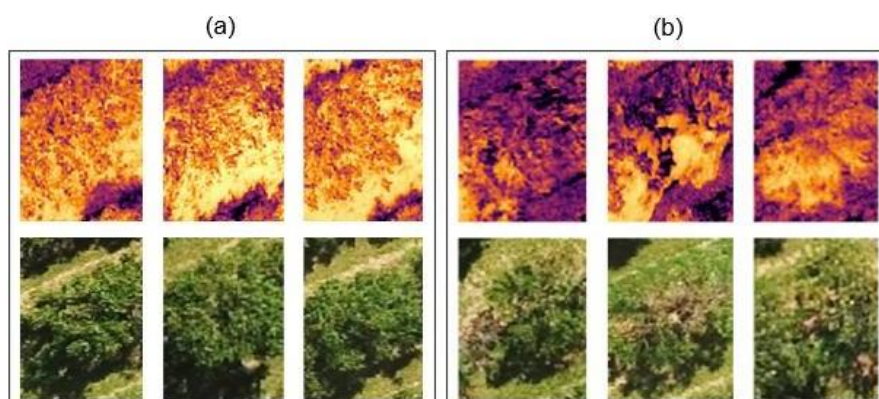


Figura 6. Exemplos de classificação dos sintomas da doença citrus *greening* no talhão 1. (a) identificação automática, (b) identificação manual (treinamento). Plantas infectadas denominadas por letras de A a D, em destaque vermelho, amostras que o algoritmo foi capaz de reconhecer.

Algumas das limitações do nosso trabalho, podem ser explicadas pela falta de calibração das imagens, o algoritmo proposto avalia apenas forma e a cor da imagem para fazer a detecção. Como existe pouca diferença entre a forma e cor de uma planta com sintoma com a de uma planta sem o sintoma, ele tem dificuldade de diferenciar esse fenômeno. Para solucionar este problema, o uso de bandas espectrais específicas, além do espectro visível, bem como índices vegetativos podem ser uma informação importante a ser considerada (TEDESCO et al., 2021). Um exemplo de diferenciação deste para uma imagem do espectro do vermelho é apresentado na Figura 7, cuja avaliação foi realizada em um teste prévio das imagens para análise das diferentes respostas espectrais das amostras com estágio avançado, mostrando-se com variações notáveis quando a falsa cor é aplicada.

Figura 7. Diferenciação visual de plantas assintomáticas (a) e sintomáticas (b) pelo espectro do vermelho com uso de falsa cor e imagem RGB.



Além disso, o uso de series temporais, poderia ser empregado para verificar o comportamento das informações espectrais ou índices vegetativos ao longo do tempo (USHA; SINGH, 2013). Como o solo pode ter efeito na detecção das plantas (sejam elas com sintomas ou sem), uma alternativa também é a remoção do solo, na etapa de construção do banco de dados. A remoção do solo, permitirá ter um maior detalhamento das informações espectrais de cada planta e dessa maneira, nós acreditamos que seja mais fácil diferenciar uma planta com sintoma de uma planta sem sintoma. Alterações na taxa mínima de similaridade também podem ser testadas para análise da seletividade do mesmo algoritmo.

7. CONCLUSÃO

Não foi possível criar unidades diferenciadas de manejo para detecção dos sintomas da doença utilizando imagens RGB. No entanto, os resultados obtidos afirmam a possibilidade do emprego de algoritmos de reconhecimento na identificação de plantas portadoras do HBL da cultura da laranja

8. REFERÊNCIAS

- A. MACHADO, M. et al., **Candidatus Liberibacter spp., agentes do huanglongbing dos citros**. Disponível em: <<http://www.citrusrt.periodikos.com.br/article/doi/10.5935/2236-3122.20100003>>. Acesso em: 15 dez. 2021.
- ALVAREZ, S. et al. Citrus Greening Disease (Huanglongbing) in Florida: Economic Impact, Management and the Potential for Biological Control. **Agricultural Research**, v. 5, n. 2, p. 109–118, 1 jun. 2016.
- BASSANEZI, R. B. et al. Huanglongbing epidemiology and implications for disease management. **Citrus Research and Technology**, v. 31, n. 1, p. 11–23, 2010.
- BELASQUE JUNIOR, J. et al. Base científica para a erradicação de plantas sintomáticas e assintomáticas de Huanglongbing (HLB, Greening) visando o controle efetivo da doença. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 3, 2009.
- BOVÉ, J. M. HUANGLONGBING: A DESTRUCTIVE, NEWLY-EMERGING, CENTURY-OLD DISEASE OF CITRUS. **Journal of Plant Pathology**, v. 88, n. 1, p. 7–37, 2006.
- CONAB** – Laranja, Análise mensal abril maio. [S. l.], 2020. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-laranja/item/download/31922_b7f4816a55d9bf295674f901e7b54c46. Acesso em: 14 dez. 2021.
- CHANG, A. et al. Comparison of Canopy Shape and Vegetation Indices of Citrus Trees Derived from UAV Multispectral Images for Characterization of Citrus Greening Disease. **Remote Sensing**, v. 12, n. 24, p. 4122, jan. 2020.
- COSTA, G. V. DA et al. Economic impact of Huanglongbing on orange production. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, 2 jun. 2021.
- DENG, X. et al. Detection of Citrus Huanglongbing Based on Multi-Input Neural Network Model of UAV Hyperspectral Remote Sensing. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2678, jan. 2020.
- LAN, Y. et al. Comparison of machine learning methods for citrus greening detection on UAV multispectral images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 171, p. 105234, 1 abr. 2020.
- MAPA**: Exportação produto por região - Sucos de laranja. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: 14 dez. 2021.
- NOGUEIRA, K.; PENATTI, O. A. B.; DOS SANTOS, J. A. Towards better exploiting convolutional neural networks for remote sensing scene classification. **Pattern Recognition**, v. 61, p. 539–556, 1 jan. 2017.
- REN, S. et al. **Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks**. Advances in Neural Information Processing Systems. **Anais...Curran Associates, Inc.**, 2015. Disponível em: <<https://proceedings.neurips.cc/paper/2015/hash/14bfa6bb14875e45bba028a21ed38046-Abstract.html>>. Acesso em: 8 fev. 2022
- SANKARAN, S.; EHSANI, R. Visible-near infrared spectroscopy based citrus greening detection: Evaluation of spectral feature extraction techniques. **Crop Protection**, v. 30, n. 11, p. 1508–1513, 1 nov. 2011.

TEDESCO, D. et al. Use of remote sensing to characterize the phenological development and topredict sweet potato yield in two growing seasons. **European Journal of Agronomy**, v. 129, p. 126337, 1 set. 2021.

USHA, K.; SINGH, B. Potential applications of remote sensing in horticulture—A review. **ScientiaHorticulturae**, v. 153, p. 71–83, 4