



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANDRÉ LUIS DA SILVA

**REFLETÂNCIAS OBTIDAS POR MEIO DE IMAGENS
AÉREAS COLETADAS COM CÂMERAS RGB E NIR PARA
ESTIMATIVA DE SEVERIDADE DE FERRUGEM ASIÁTICA
DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi*)**

Londrina
2019

ANDRÉ LUIS DA SILVA

**REFLETÂNCIAS OBTIDAS POR MEIO DE IMAGENS
AÉREAS COLETADAS COM CÂMERAS RGB E NIR PARA
ESTIMATIVA DE SEVERIDADE DE FERRUGEM ASIÁTICA
DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi*)**

Tese de doutorado apresentado ao Departamento de Pós Graduação da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri

Londrina
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

S586r Silva, Andre Luis da.
Refletâncias obtidas por meio de imagens aéreas coletadas com câmeras RGB e NIR para estimativa de severidade de ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) / Andre Luis da Silva. - Londrina, 2019.
66 f. : il.

Orientador: Marcelo Giovanetti Canteri.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.
Inclui bibliografia.

1. Soja - Doenças e pragas - Tese. 2. Ferrugem asiática - Tese. 3. Espectroscopia de infravermelho próximo - Tese. 4. Drone - Tese. I. Canteri, Marcelo Giovanetti. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

ANDRÉ LUIS DA SILVA

**REFLETÂNCIAS OBTIDAS POR MEIO DE IMAGENS
AÉREAS COLETADAS COM CÂMERAS RGB E NIR PARA
ESTIMATIVA DE SEVERIDADE DE FERRUGEM ASIÁTICA
DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi*)**

Tese de doutorado apresentado ao Departamento de Pós Graduação da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Hirohide Sumida
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Debora Cristina Santiago
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Galdino Andrade Filho
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Adriano Augusto de Paiva Custódio
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná -
IAPAR

Londrina, 19 de março de 2019.

Dedico este trabalho para Márcia e Elisa...

"Fight with determination, embrace life with passion, lose with class and win with boldness, because the world belongs to those who dare and life is too beautiful to be negligible."

(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter me concedido o privilégio da vida e me proporcionar a oportunidade de apresentar este trabalho.

Agradeço aos meu pais Sebastião e Odete pela educação e suporte que me deram em todos os momentos. Aos meus irmãos Aline, Alexandre e Henrique por todo apoio e companheirismo.

Agradeço à minha esposa Márcia e minha filha Elisa pelo apoio, paciência e compreensão em todos os momentos.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Marcelo Giovanetti Canteri, pela amizade, profissionalismo, dedicação, paciência e orientação durante todo este caminho.

Agradeço aos meu colegas Marcelo, Maycon e William da Fitovision pela amizade e companheirismo neste período, pessoas com quem tenho aprendido muito.

Agradeço meus colegas Maria Julia, Luigi, Luiz, Isabela, Estela e Márcio que me deram todo apoio e suporte durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao colega Alessandro Stachak e a Universidade Estadual de Ponta Grossa por meio da professora Elaine Guimarães por proporcionar as gerações das imagens.

Agradeço à Universidade Estadual de Londrina em seu programa de pós graduação e seus professores pelo alto nível do curso.

Agradeço à CAPES pelo auxílio financeiro recebido em 12 meses de realização do curso.

Silva, André Luis da. **Refletâncias obtidas por meio de imagens aéreas coletadas com câmeras RGB e NIR para estimativa de severidade de ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)**. 2019. 66 f. Tese de doutorado (Departamento de Pós Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

RESUMO

Na cultura da soja, a principal doença é a ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. e P. Syd que pode causar danos de até 90%. As perdas nos rendimentos causados por esta doença estão relacionadas ao estágio de desenvolvimento das plantas, suscetibilidade da cultivar, virulência da raça fisiológica do fungo e ambiente favorável. Atualmente alguns métodos de controle tem sido utilizados visando minimizar os danos causados. No entanto a principal forma de controle ainda é a utilização de fungicidas, tornando a quantificação no campo de fundamental importância para tomada de decisão. Como atualmente a quantificação da doença é realizada por meio de avaliações visuais com a utilização de escalas diagramáticas, que torna o processo laborioso e com risco de erro do avaliador, o presente trabalho objetivou utilizar o sensoriamento remoto por meio de imagens aéreas obtidas com câmeras acopladas em veículo aéreo não tripulado nos espectros RGB e infravermelho próximo (NIR), nas resoluções de 3,4, 10 e 20 cm/ pixel, extrair os índices de vegetação por processamentos de softwares e realizar a correlação dos dados das imagens com dados de severidade de ferrugem asiática da soja e desfolha das plantas coletados no mesmo dia de obtenção das imagens. Para isso, realizou-se 07 ensaios a campo na safra 2016/2017 compostos por testemunha (sem aplicação de fungicidas) e diferentes tratamentos fungicidas que controlam ferrugem asiática da soja, buscando-se obter gradiente de severidade da doença dentro dos ensaios. Na análise dos dados houve maior correlação para as médias das parcelas experimentais por tratamento em relação às análises de parcelas experimentais individuais. O NDVI correlacionado com severidade e desfolha apresentou melhores resultados para os ensaios Expert, STCK e Conffit apresentando correlações negativas acima de 0,8. As Refletâncias obtidas da banda B da câmera RGB apresentou correlações positivas acima de 0,8 para severidade e desfolha para os ensaios Coop, Expert, STCK, ADM e Conffit. Não houve diferenças entre as resoluções que foram obtidas as imagens. Em conclusão, existe correlação significativa das Refletâncias obtidas com imagens aéreas com severidade de ferrugem asiática da soja e desfolha das plantas. Esta técnica apresentou potencial para ser utilizada na estimativa da doença. Uma aplicação que pode ser adotada é a utilização desta ferramenta auxiliando em avaliações de ensaios que tenham por objetivo testar a eficácia de diferentes tratamentos.

Palavras-chave: fitopatometria; índice de vegetação; infravermelho próximo; resposta espectral; veículo aéreo não tripulado.

Silva, André Luis da. **Reflections obtained by air pictures collected with RGB and NIR cameras for asian soil rust severity estimation (*Phakopsora pachyrhizi*)**. 2019. 66 p. Doctoral thesis (Department of Postgraduate in Agronomy) - Londrina State University, Londrina, 2019.

ABSTRACT

In soybean, the main one is the soybean rust caused by the fungus *Phakopsora pachyrhizi* Syd. And P. Syd. Which can cause damage up to 90%. Yield losses caused by it are related to the crop stage, variety susceptibility, virulence of the physiological race of the fungus and favorable environment. Currently, some control methods have been used to minimize the damages caused, however, the main control method is still fungicides, which means that the quantification in the field becomes of fundamental importance of decision making in relation to the control adopted. As currently quantification of these diseases is performed through visual assessments using diagrammatic scales, which makes the process laborious and with risk of error of the evaluator, the present work aimed to use remote sensing by means of aerial images obtained with cameras coupled in unmanned aerial vehicle in RGB and Near infra-red (NIR) spectra, at 3.4, 10 and 20 cm/pixel resolutions extract vegetation index by software processing and correlate image data with severity data and defoliation collected at the same time of obtaining the images in 7 field trials conducted in the 2016/17 season with different treatments to control soybean rust. This study found a higher correlation for the means of the plots per treatment in relation to the analyzes of individual plots. This study found a higher correlation for the means of the plots per treatment in relation to the analyzes of individual plots. The NDVI correlated with severity and defoliation presented better results for the Expert, STCK and Consofit trials showing negative correlations above 0.9. The reflectance obtained from band B of the RGB camera showed positive correlations above 0.9 for severity and defoliation for the Coop, Expert, STCK, ADM and Consofit trials. No differences were observed between the resolutions that were obtained the images. It was concluded with this study that there is correlation of the reflectance obtained with aerial images with soybean rust by means of aerial images and that this technique presents potential to be used in estimating the soybean rust severity mainly adding supporting the field assessments on different treatments aiming the disease control.

Key words: phytopathometry; vegetation index; near infrared; spectral response; unmanned aerial vehicle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sintomas de Ferrugem asiática da soja. Figura A. Sintomas em folha de soja. Figura B. Desfolha causada pela doença	17
Figura 2 – Espectro eletromagnético.....	24
Figura 3 – Imagem aérea do local de realização do experimento	29
Figura 4 – Escala diagramática de severidade da ferrugem asiática da soja.....	30
Figura 5 – Escala diagramática para avaliação de desfolha provocada por doenças em soja	31
Figura 6 – Equipamento VANT eBee utilizado para realização dos voos e captura das imagens	32
Figura 7 – Câmeras utilizadas nos voos para captura das imagens. Figura A. Sony Cyber-shot WX RGB. Figura B. Canon S110 NIR	33
Figura 8 – Modelo de marcador a ser utilizado no estudo de georreferenciamento	34
Figura 9 – GPS Trimble Pro XT Pathfinder® Pro series.....	35
Figura 10 – Imagem de ortomosaico gerado pelo software PIX4D para câmera RGB na resolução de 20 cm/pixel	36
Figura 11 – Delimitação dos polígonos dentro das parcelas onde foram extraídos os pontos de Refletância dos pixels para um dos ensaios.....	37
Figura 12 – Pontos criados dentro dos polígonos gerados para extração das Refletância dos pixels para cada banda analisada pelo software QGIS	38
Figura 13 – Dispersão do índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na resolução de 3,4 cm/pixel para severidade. Figura A considerando o número total de parcelas (332) e Figura B o número total de tratamentos (83)	40
Figura 14 – Dispersão do índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na resolução de 3,4 cm/pixel para desfolha Figura A considerando o número total de parcelas (332) e Figura B o número total de tratamentos (83)	41

Figura 15 – Dispersão da refletância da banda B (RGB) na resolução de 3,4 cm/pixel para severidade. Figura A considerando o número total de parcelas (332) e Figura B o número total de tratamentos (83).....	41
Figura 16 – Dispersão da refletância da banda B (RGB) na resolução de 3,4 cm/pixel para desfolha. Figura A considerando o número total de parcelas (332) e Figura B o número total de tratamentos (83).....	42
Figura 17 – Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 3,4 cm/pixel para severidade. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert).....	44
Figura 18 – Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 10 cm/pixel para severidade. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.....	45
Figura 19 – Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 10 cm/pixel para severidade. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.....	46
Figura 20 – Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 3,4 cm/pixel para desfolha. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.....	48
Figura 21 – Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 10 cm/pixel para desfolha. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.....	49
Figura 22 – Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 20 cm/pixel para desfolha. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.....	50

Figura 23 – Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) na resolução de 3,4 cm/pixel com porcentagem de severidade para o Ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Consfit (Figura E).....	52
Figura 24 – Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) na resolução de 10 cm/pixel com porcentagem de severidade para o ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), Ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Consfit (Figura E).....	53
Figura 25 – Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) na resolução de 20 cm/pixel com porcentagem de severidade para o ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), Ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Consfit (Figura E).....	54
Figura 26 – Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) nas resoluções de 3,4 cm/pixel com porcentagem de desfolha para o Ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Consfit (Figura E)	56
Figura 27 – Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) nas resoluções de 10 cm/pixel com porcentagem de desfolha para o Ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Consfit (Figura E).....	57
Figura 28 – Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) nas resoluções de 10 cm/pixel com porcentagem de desfolha para o Ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Consfit (Figura E).....	58

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Características e denominações dos ensaios para avaliações de ferrugem asiática da soja. Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, 2016/2017.....29
- Tabela 2** – Resposta Espectral das câmeras RGB e NIR utilizadas para captura das imagens33
- Tabela 3** – Informações de altura em relação ao solo (m) e altitude média dos voos (m) realizados para obtenção das imagens34

LISTA DE ABREVIACÃO E SIGLAS

ATT	Automatic Aerial Triangulation
BBA	Brundle Block Adjustment
CR2	Canon Raw version 2
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GCPs	Ground Control Points
ICA	Instrução do comando da Aeronáutica
IR	Infra Red (Infravermelho)
LAI	Leaf Area Index (índice de área foliar)
MDS	Modelo Digital de Superfície
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NIR	Near Infra Red (Infravermelho próximo)
PRI570	Índice de Refletância Fotoquímica
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RGB	Red, Green e Blue
RPA	Remotely Piloted Aircraft
SAVI	Índice de Vegetação Ajustada para Solos
SVM	Support Vector Machine
VANT	Veículo Aéreo Não tripulado
VIS	Visível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	CULTURA DA SOJA.....	14
2.2	FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA CAUSADA POR <i>PHAKOPSORA PACHYRHIZI</i>	15
2.2.1	Sintomas, Disseminação E Ciclo.....	16
2.2.2	Métodos De Controle.....	18
2.3	FITOPATOMETRIA	19
2.4	SENSORIAMENTO REMOTO	20
2.5	VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs)	21
2.5.1	Uso de VANTs na Agricultura.....	21
2.6	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	23
3	ARTIGO: REFLETÂNCIAS OBTIDAS POR MEIO DE IMAGENS AÉREAS COLETADAS COM CÂMERAS RGB E NIR PARA ESTIMATIVA SEVERIDADE DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>)	26
3.1	INTRODUÇÃO	26
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.2.1	Realização dos ensaios e coleta das imagens	27
3.2.2	Avaliações visuais realizadas nos ensaios	30
3.2.3	Planejamento dos Voos e Obtenção das Imagens.....	31
3.2.4	Processamento das Imagens e Obtenção dos dados de Refletância	35
3.2.5	Análise dos dados	38
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
3.3.1	Análise Dos Dados De Refletância Gerados Pela A Câmera NIR Com Os Parâmetros Avaliados No Campo, Severidade De Ferrugem Asiática E Porcentagem De Desfolha.....	43
3.3.1.1	Correlações do índice de vegetação por diferença normalizada NDVI com severidade	43
3.3.1.2	Correlações índice de vegetação por diferença normalizada NDVI com desfolha	47

3.3.2	Análise Dos Dados De Refletância Gerados Pela A Câmera RGB Com Os Parâmetros Avaliados No Campo, Severidade De Ferrugem Asiática E Porcentagem De Desfolha.....	51
3.3.2.1	Correlações das refletâncias da banda B (RGB) com severidade.....	51
3.3.2.2	Correlações das refletância da banda B (RGB) com desfolha	55
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
3.5	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Dentre os diversos fatores limitantes para a obtenção de altas produtividades na agricultura brasileira, destacam-se as doenças. Na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill), principal commodities agrícola do país, a principal doença é a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. e P.Syd que pode causar danos de até 90% (GODOY; CANTERI, 2004).

A rápida propagação desta doença, faz com que a identificação dos primeiros sintomas seja indispensável para o seu controle. Esta prática exige o suporte de um especialista e a utilização de métodos fitopatômétricos para quantificação dos danos causados a cultura. Até o momento, o método mais eficiente para quantificação desta doença é a utilização de escala diagramática. A escala para ferrugem asiática da soja proposta por Godoy; Koga e Canteri (2006) é a mais utilizada devido proporcionar parâmetros de avaliação por meio de notas de severidade com alto grau de confiabilidade. No entanto a utilização destas escalas demandam alto custo operacional e estão sujeitas a análises subjetivas que podem ser provocadas por um erro causado pelo avaliador.

De acordo com Maffia et al. (2007), doenças de plantas podem ser estimadas por métodos diretos, onde a estimativa da quantidade da doença se dá diretamente pelos sintomas, ou, por métodos indiretos, onde a quantidade de doença é estimada pela população do fitopatógeno. Dentre os métodos indiretos se encontram as técnicas de sensoriamento remoto.

A detecção de doenças de plantas ou até mesmo sua quantificação por meio do sensoriamento remoto, baseia-se na radiação refletida das folhagens. A quantidade e a qualidade da radiação refletida a partir das folhas são dependentes de vários fatores, entre eles a sanidade do tecido vegetal, que quando infectado por fitopatógenos reage causando os sintomas (NAUE et al., 2011).

Dentre as alternativas no sensoriamento remoto estão a utilização de sensores ou câmeras que captam faixas espectrais acopladas em VANTs (Veículos aéreos não tripulados) na agricultura. A utilização desta ferramenta têm se tornado um amplo campo de pesquisa, como para o processamento de imagens digitais e índices de vegetação visando o monitoramento e desenvolvimento das culturas como utilizado nos estudos de (BERNI et al., 2009, CALDERÓN et al., 2013;

KOGA; CANTERI; GODOY, ZARCO-TEJADA et al., 2013 e SUGIURA et al., 2016).

A utilização de índices de Refletância e vegetação de imagens aéreas obtidas por satélites e aviões é uma prática comum, entretanto o uso de VANTs permite aplicações diferentes, principalmente pela alta resolução espacial, baixa resolução temporal e customização do equipamento. A viabilização do sensoriamento remoto por imagens digitais acoplados em VANTs, pode proporcionar um método fácil de avaliação na quantificação de doenças.

Desta forma, os objetivos propostos neste trabalho foram: i) Analisar as Refletâncias das imagens aéreas obtidas com duas câmeras que captam frequências RGB e Infravermelho próximo da câmera e RGNIR (banda R e NIR); ii) Calcular o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e utilizar a banda B da câmera RGB para correlacionar com os dados das avaliações de porcentagem de severidade e de desfolha causados pela ferrugem asiática da soja avaliados visualmente no campo e iii) Analisar a viabilidade para estimativa da ferrugem asiática da soja por meio das Refletâncias obtidas com as imagens.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L) Merrill), é uma planta herbácea, da classe *Rosidaeae*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Papilionoideae*, tribo *Phaseoleae*, espécie *Glycine max* L. (NEPOMUCENO; FARIAS; NEUMAIER, 2017).

A soja é uma espécie de grande importância econômica mundial, e apresenta como centro de origem o continente asiático, mais precisamente a região correspondente à China Antiga (CÂMARA, 2015). A espécie selvagem, crescia principalmente nas terras mais férteis e úmidas, na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do rio Yangtsé. A cultura atualmente é muito diferente dos seus ancestrais, que eram plantas rasteiras (EMBRAPA, 2017).

No século XVIII, especialmente no continente europeu, tiveram início as pesquisas para utilização dos grãos de soja como fonte de proteína, principalmente para alimentação animal, e para extração de óleo. No continente Americano, a soja chegou em 1765, sendo os Estados Unidos os pioneiros no cultivo extensivo da leguminosa. Em 1917, os americanos adaptaram o processo de industrialização dos grãos de soja para extrair o farelo de soja para a alimentação animal e, na década de 1970 tornaram-se os produtores de dois terços da soja produzida no mundo (HARTMAN; WEST; HERMAN, 2011).

A nível mundial, a soja representa o papel de principal oleaginosa produzida e consumida. Dados do USDA para safra 2017/2018 mostram os Estados Unidos como maior produtor mundial da oleaginosa, com produção de 119,518 milhões de toneladas em área plantada de 36,228 milhões de hectares, com produtividade média de 3299 kg/ha (EMBRAPA SOJA, 2019). A produção brasileira de soja na safra 2018/2019 está estimada em 115,343 milhões de toneladas, em uma área plantada de 35,821 milhões de hectares e produtividade média de 3220 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2019).

A soja é a grande responsável pelo surgimento da moderna agricultura comercial brasileira, isso porque a mecanização das lavouras, modernizou o transporte. Expandiu a fronteira agrícola (DALL'AGNOL, 2000).

No Brasil, a partir dos anos 1970 a produção da soja passou a ter grande relevância para o agronegócio, apresentando significativo incremento de áreas cultivadas acompanhada pelo aumento da produtividade, reflexo da utilização de novas tecnologias. O complexo da soja compreende uma cadeia produtiva que envolve desde produção interna voltada para a exportação do produto bruto, até a transformação do produto em farelo ou óleo para a exportação ou para consumo interno (SILVA; LIMA; BATISTA, 2011).

Apesar do país se apresentar no cenário mundial entre os maiores produtores, alguns fatores contribuem para a variação no rendimento da cultura nas diversas regiões, e entre estes fatores encontram-se as doenças. Aproximadamente 40 doenças causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus já foram identificadas nesta cultura, no Brasil. A importância econômica de cada doença varia de ano para ano e de região para região, dependendo das condições climáticas de cada safra. Estima-se danos anuais de produção causadas por doenças em cerca de 15% a 20%, no entanto, algumas doenças podem causar danos próximos a 100% (TECNOLOGIAS, 2013).

2.2 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA CAUSADA POR *PHAKOPSORA PACHYRHIZI*

A Ferrugem asiática da soja é causada pelo fungo biotrófico *Phakopsora pachyrhizi* (Syd e P. Syd), ou seja, parasita obrigatório em que se reproduz somente em hospedeiro vivo (HARTMAN et al., 2015). É uma das doenças mais severas que incidem na cultura da soja, apresentando danos de 10% a 90%, nas diversas regiões onde foi relatada (GODOY; CANTERI, 2004; YORINORI et al., 2005; HARTMAN et al., 2015).

Este fungo foi identificado pela primeira vez no Japão como *Uredo sojae* em 1902, e foi detectado em toda a Ásia e Oceania tropical e subtropical no início do século XX (BROMFIELD, 1984). A doença foi relatada pela primeira vez na África em meados da década de 1990 (PRETORIUS; KLOPPERS; FREDERICK, 2001). Então, em 2001, foi encontrado no Paraguai e no oeste do estado do Paraná, no Brasil, espalhando-se, dentro de três anos, em toda a América do Sul (ROSSI, 2003; YORINORI et al., 2005).

O fungo *P. pachyrhizi* produz dois tipos de esporos, teliósporos e uredinósporos. Teliósporos são os esporos sexuais do patógeno e são produzidos

em lesões mais antigas. Estes não parecem germinar em condições naturais e mesmo com o estágio telial não funcional, e portando com falta da reprodução sexual, ainda existe uma variabilidade considerável de *P. pachyrhizi* no que diz respeito à virulência. Assim, o estágio uredinal é o responsável pelas epidemias desta doença. Uredinósporos são ovóides a elipsóides, de coloração amarelo-amarronzadas, possuem uma superfície coberta por pequenos espinhos e medem de 18 por 34 a 15 por 24 μm (CASSETARI NETO; MACHADO; SILVA, 2010).

No Brasil atualmente é a doença mais severa na cultura da soja, preocupando produtores e pesquisadores pelo seu difícil controle e a grande capacidade de danos. Yorinori et al. (2004) citam que a importância da ferrugem asiática pode ser avaliada pela sua rápida expansão e pelo montante de danos que tem causado.

Demonstrando a capacidade de dano desta doença, em estudo de Godoy et al. (2016), em que estimaram as perdas em grãos ocasionadas por ferrugem asiática da soja no Brasil e seu respectivo custo de controle nas safras de 2001/2002 a 2013/2014, observaram que a ferrugem já provocou perdas de 4,6 milhões de toneladas de soja (US\$ 1,22 bilhões) na safra 2003/2004, com custo de controle de (US\$ 2,08 bilhões). No levantamento da safra 2011/2012, a ferrugem asiática causou danos de grãos de 363,5 mil toneladas (US\$ 191,6 milhões), com custo de controle de (US\$ 1,73 bilhões). Na safra 2013/2014, que foi a última verificada neste estudo, os autores não estimaram os danos devido falta destas informações de algumas regiões, no entanto o custo para controle da doença foi estimado em US\$ 2,2 bilhões.

2.2.1 Sintomas, Disseminação e ciclo

Os sintomas da ferrugem asiática da soja são bem característicos. Lesões pequenas e bronzeadas que se formam na face abaxial dos folíolos de soja podem aparecer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta. Os primeiros sintomas são caracterizados por minúsculos pontos mais escuros do que o tecido sadio da folha, de coloração esverdeada a cinza-esverdeada, com correspondente protuberância (urédia) na face inferior da folha, que conforme o desenvolvimento se tornam castanho a castanho avermelhado (Figura 1A). Estes sintomas são relacionados frequentemente ao amarelecimento foliar e em alta pressão provocam

desfolhas prematuras (Figura 1B), ocasionando perdas de rendimento significativas (HARTMAN et al., 2015).

Figura 1 – Sintomas de Ferrugem asiática na cultura da soja.



Fig. A. Sintomas de ferrugem asiática em folha de soja.
Fonte: próprio autor



Fig. B. Desfolha causada pela ferrugem asiática da soja.

De acordo com Yorinori; Yorinori e Godoy (2002), o processo de disseminação da ferrugem asiática ocorre pelo vento, principalmente em dias secos e sem umidade nas folhas, os uredósporos podem ser transportados a longas distâncias através das correntes de ar.

A ferrugem asiática da soja é uma doença policíclica, com monociclos médios de 7 dias, promovendo vários ciclos durante o ciclo do hospedeiro. Uma vez que os uredósporos viáveis se depositam na superfície de um hospedeiro suscetível, a infecção e o subsequente desenvolvimento da epidemia são dependentes das condições ambientais. Usualmente, a infecção ocorre quando as folhas estão molhadas e as temperaturas do ar apresentam-se entre 8°C e 28°C. A 25°C, algumas infecções ocorrem quando há no mínimo 6 horas de molhamento foliar, sendo o ótimo de 12 horas. Após a infecção, lesões e pústulas com uredósporos podem aparecer em 7 ou 8 dias, e o próximo ciclo de infecção pode ter início. Este curto ciclo de vida significa que, sob condições favoráveis, epidemias de ferrugem da soja podem progredir rapidamente de baixos níveis de detecção para desfolha da planta dentro de um mês. Epidemias parecem progredir até mais rapidamente, já que infecções precoces ocorrem em folhas baixas da planta e são difíceis de identificar. Além do ambiente, a idade das plantas afeta as epidemias de ferrugem da soja. Normalmente, lesões de ferrugem não são encontradas antes do florescimento da soja, a não ser que se tenham altos níveis de inóculo inicial no início do período de cultivo (RUPE; SCONYERS, 2008).

2.2.2 Métodos de Controle

Existem alguns métodos de controle que devem ser adotados visando o manejo da ferrugem asiática da soja. Dentre estas medidas estão o vazio sanitário, período em que é proibido por legislação o cultivo de soja na entre safra, evitando-se assim a sobrevivência de plantas hospedeiras e a formação da chamada ponte verde que fornece condições de sobrevivência para o fungo de uma safra a outra. Outro método é a utilização de sementeiras antecipadas, utilização de cultivares precoces e utilização de cultivares com genes resistentes, o que tem sido grande desafio, pois o fungo apresenta várias raças, o que dificulta a resistência vertical da cultivar ao patógeno e o monitoramento da cultura desde seu início (TECNOLOGIAS, 2013).

Apesar das medidas de controle apresentadas acima, a maior parte das pesquisas envolve o controle químico com uso de fungicidas. Os fungicidas dos grupos químicos dos triazóis (inibidores da Demetilação – DMIs) que atuam na membrana e estrobilurinas que atuam na respiração mitocondrial (QoI) têm sido utilizados no controle da doença, com diferenças na eficiência entre princípios ativos dentro de cada grupo. A partir da safra 2007/08 foi observada redução na eficácia de fungicidas do grupo químico dos triazóis, em ensaios realizados em sementeiras tardias. Essa menor eficiência tem sido associada à seleção de populações do fungo menos sensíveis aos fungicidas desse grupo (GODOY et al., 2013). Um novo grupo de fungicida, a carboxamida, está sendo utilizado para o controle da ferrugem asiática e outras doenças na cultura da soja, apresentando controle mais eficiente. Fungicidas do grupo químico das carboxamidas interferem na respiração mitocondrial, atuando na inibição do complexo II (Inibidor da succinato desidrogenase - SDHI) (GHINI; KIMATI, 2000).

Nas últimas safras 2015/2016 e 2016/2017, constatou-se, conforme comunicado divulgado pelo Comitê Internacional de Ação à Resistência de Fungicidas (FRAC) (FRAC, 2017), que foram detectados casos de redução de performance das carboxamidas e que algumas populações de *P. pachyrhizi*. Coletas realizadas na safra 2015/2016 indicaram mutação na subunidade C na posição 186 F e que a performance dos fungicidas deste grupo sofreram reduções, mas no geral ainda permanecem boas.

Com este cenário, os pesquisadores têm proposto novas recomendações para o controle químico da ferrugem asiática da soja. A utilização de fungicidas com ação em diferentes sítios biológicos do fungo, os chamados multissítios, tem sido alternativa na rotação de ingredientes ativos, visando o manejo de resistência. Além do controle químico, é importante considerar o controle cultural, evitando-se a semeadura da soja na época mais favorável à doença, selecionar variedades mais precoces e, fundamentalmente, realizar o levantamento periódico da lavoura para detectar a ocorrência da doença no seu início. A identificação e quantificação da doença em seu estágio inicial é de suma importância para um bom manejo integrado da doença.

2.3 FITOPATOMETRIA

A fitopatometria refere-se ao estudo da quantificação de doenças de plantas e tem por objetivo avaliar os sintomas e sinais dos agentes patogênicos (MORAES, 2017). Entende-se por sintomas, a reação que a planta expressa visivelmente ao ser atacada por um patógeno, como por exemplo sintomas de clorose nas folhas, mumificação de órgãos, seca de ramos, tombamento de plântulas, entre outros. Sinais são a exteriorização da estruturas do patógeno no tecido doente (AMORIM; RESENDE; FILHO, 2011).

Alguns autores descrevem em seus trabalhos a importância da identificação e quantificação de doenças de plantas. James (1974) cita que a diagnose e avaliação de doenças de plantas são duas funções igualmente importantes para os fitopatologistas. Krans (1988) cita que a medida da intensidade da doença tem o mesmo papel-chave que a diagnose dentro da fitopatologia e sem quantificar doença nenhum estudo em epidemiologia ou em suas aplicações seria possível. Segundo Amorim (1995) de nada adiantaria conhecer o patógeno de uma doença se não fosse possível quantificar os sintomas por eles causado.

Os métodos de quantificação de doenças podem ser diretos, através da avaliação dos sintomas e sinais, como incidência (porcentagem ou frequência de plantas ou partes de plantas doentes em uma amostra ou população), severidade (porcentagem do tecido ou órgão da planta que esteja apresentando os sintomas) e intensidade. Os métodos indiretos, são determinados pela população do patógeno por meio da distribuição espacial e seus efeitos na produção (danos ou perdas) por

meio da desfolha causada (PARRELA, 2008).

A variável severidade é a mais utilizada para quantificação de doenças foliares como no caso das ferrugens. Esta quantificação se torna um processo laborioso e é realizado através de escala diagramática de ferrugem asiática da soja proposta por Godoy; Koga e Canteri (2006).

2.4 SENSORIAMENTO REMOTO

A utilização de ferramentas computacionais que utilizam imagens de amostras de folhas para quantificação de severidade de doenças, possuem vantagens por não estarem sujeitas aos problemas de visão humana, que gera quantificações subjetivas da severidade (AMORIM; RESENDE; FILHO, 2011). Além disso diferentes métodos utilizando tecnologias de imagens e sensores que correlacionam índices vegetativos e área foliar sadia se apresentam como formas de quantificação de doenças em plantas.

O termo sensoriamento remoto, passou a ser utilizado no início dos anos de 1960 por Evelyn L. Pruit e colaboradores, e tornou-se uma das mais bem sucedidas tecnologias de coleta automática de dados para realização de levantamento e monitoramento dos recursos terrestres em escala global (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O termo sensoriamento remoto refere-se a um conjunto de técnicas capazes de obter informações de um objeto sem que haja contato físico entre o instrumento de medida e objeto (BERGAMIN FILHO et al., 1995). Estas medidas, não-destrutivas ou não invasivas, e, um objeto específico pode ser analisada várias vezes sem danificar a amostra (NILSSON, 1995).

A condição principal imposta por essa definição clássica, que é o sensor estar a uma distância remota do objeto, estabelece a base para definir o sensoriamento remoto numa concepção um pouco mais científica, que é regida segundo os seguintes preceitos: 1) exigência: ausência de matéria no espaço entre o objeto e o sensor; 2) consequência: a informação do objeto é possível de ser transportada pelo espaço vazio; 3) processo: o elo de comunicação entre o objeto e o sensor é a radiação eletromagnética, a única forma de energia capaz de se transportar pelo espaço (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Com base nesses preceitos, uma definição mais científica que se pode dar ao Sensoriamento Remoto seria: como senso a ciência que visa o

desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. Essa definição de sensoriamento remoto é explícita em afirmar que o objeto imageado é registrado pelo sensor por meio de medições da radiação eletromagnética, tal como a luz solar refletida da superfície de qualquer objeto. Nenhum outro tipo de sensor que obtenha imagens que não seja pela detecção da radiação eletromagnética deve ser classificado como sensoriamento remoto (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Dados de sensoriamento remoto são utilizados pela tecnologia da informação para auxiliar na tomada de decisão. Os critérios para um sistema com sensoriamento remoto de sucesso devem incluir rapidez na obtenção dos dados, confiabilidade e baixo custo (LACERDA, 2016).

2.5 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTS)

Veículo aéreo não tripulados (VANTs), também conhecidos como Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs do inglês *Remotely Piloted Aircraft*), ou drones têm se apresentado como alternativas de sensoriamento remoto que cumprem os critérios e são capazes de proporcionar informações com alta resolução espacial e temporal (XIANG; TIAN, 2011).

De acordo com Campbell; Wynne (2011), imagens possuem propriedades especiais que oferecem vantagens únicas no estudo da superfície terrestre, permitindo monitorar mudanças ao longo do tempo, medir tamanho de áreas, profundidades, alturas e, em geral, adquirir informações de difícil aquisição por outros meios, incluindo neste contexto, o uso de imagens do espectro ótico, fora do espectro luminoso visível ao olho humano.

2.5.1 Estudos com uso de VANTs na Agricultura

A utilização de VANTs na agricultura tem se tornado cada vez mais frequentes nas diferentes áreas. Gómes-Candón; De Castro e López-Granados (2013) verificaram parâmetros necessários de voo e resolução para diferenciar plantas daninhas de trigo, no início de desenvolvimento da cultura. Berni et al. (2009), utilizaram imagens de câmeras termais e multiespectrais para calcular

índices de vegetação e estimar parâmetros biofísicos das plantas. O objetivo dos autores foram demonstrar a capacidade de gerar produtos quantitativos de sensoriamento remoto por VANT do tipo helicóptero equipado com sensores de imagens térmicas e multiespectrais de baixo custo. Como resultado, os autores demonstraram que VANT de baixo custo apresentam boas estimativas, com resultados melhores que sistemas tradicionais, como sensores acoplados em aviões.

Em trabalho realizado por Calderón et al. (2013) em que utilizaram imagens multiespectrais e termais visando a identificação preventiva de *murcha-de-Verticillium* em oliveiras, os autores utilizaram três tipos de sensores: multiespectral, termal e hiperespectral. Neste estudo foram obtidos coeficientes de determinação significativos ($p < 0,001$) de 0,83 para os estágios iniciais da doença através do índice de detecção de estresse hídrico. Também foram obtidas outras correlações significativas para identificação dos sintomas da doença nas fases iniciais.

Com o objetivo de avaliar um método não destrutivo para medir dossel de cebola, Córcoles et al. (2013) usando um VANT, utilizaram o índice de área foliar (LAI – do inglês *Leaf Area Index*), que apresenta correlação com cobertura de dossel. Os sintomas apresentaram coeficiente de determinação de 0,83 entre a cobertura do dossel e índice de área foliar utilizando um modelo linear.

Em estudo de Zarco-Tejada et al. (2013), onde objetivou-se estudar o progresso de técnicas para verificar a estimativa de clorofila e carotenoides mediante imagens de alta resolução obtidas através de VANT, Os sintomas demonstraram a viabilidade do mapeamento da concentração de carotenoides foliares no nível da videira apresentando um erro quadrático médio baixo.

Garcia-Ruiz et al. (2013) utilizaram sensoriamento remoto e índices de vegetação para detecção de Huanglongbing (*Candidatus liberibacter asiaticus*) em plantas de citros. Os autores realizaram a comparação de imagens obtidas de VANT com imagens de avião visando a detecção da doença. O estudo constatou que imagens realizadas com VANT de baixa altitude demonstraram ser promissoras para uma detecção confiável em relação ao nível de severidade da doença. A precisão obtida por VANT ocorreu na faixa de 67-85% enquanto que os dados obtidos com as imagens realizadas por avião foram de 61-74%.

Em trabalho para estimativa da requeima da batata causada por *Phytophthora infestans*, Sugiura et al. (2016), utilizaram um VANT em conjunto com uma câmera RGB, em que obteve coeficiente de correlação de 0,77. Para esta

estimativa foi desenvolvido um algoritmo através do processamento digital de imagens.

Em estudo realizado por Lacerda (2016), o autor concluiu que VANTs possuem potencial de aplicação na detecção de doenças como a ferrugem asiática da soja, que causam sintomas de amarelecimento foliar e desfolha. Concluiu também que o acompanhamento próximo ao estágio fenológico R5 apresenta maior probabilidade de alta correlação com o nível de severidade de ferrugem asiática da soja com a câmera RGB.

Como pode-se observar nos trabalhos citados anteriormente, as aplicações específicas de sensoriamento remoto na agricultura através de imagens, visam a obtenção de índices de vegetação e utilização de bandas espectrais na estimativa do estado fisiológico, nutricional e fitossanitário das culturas estudadas.

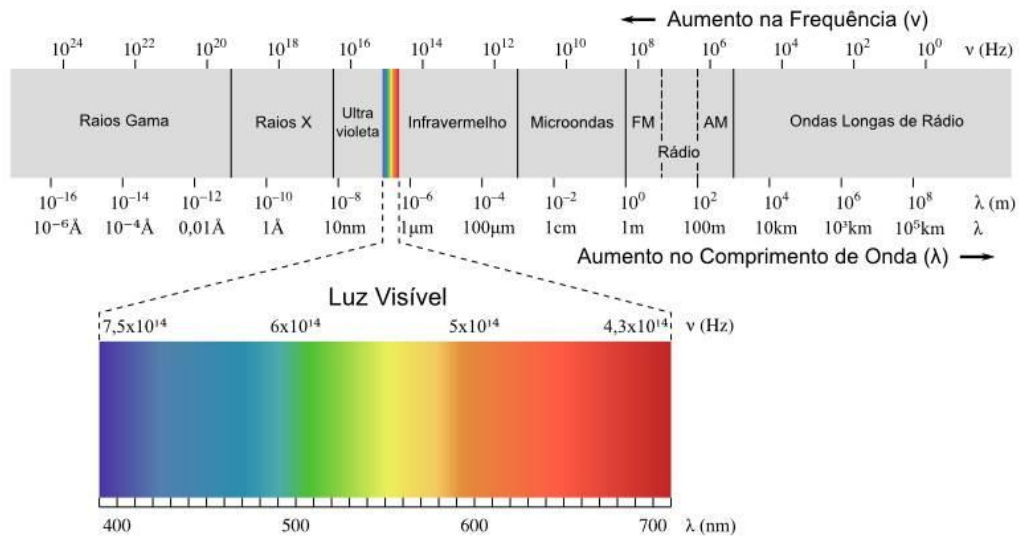
2.6 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

A operação de divisão de bandas é a que permite realçar as Refletâncias de alvos específicos. O exemplo que melhor ilustra o princípio das divisões de bandas, são a criação de índices, que objetiva o realce das variações de densidade da cobertura vegetal, denominando-se índice de vegetação (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Uma das maneiras de extrair informações sobre culturas utilizando imagens digitais é através da estimativa de Índices de Vegetação. Esses índices, são obtidos a partir de manipulação matemática de medidas da Refletância espectral e podem ser aplicados para diversas finalidades, como evolução da cobertura vegetal (CHAVES et al., 2015).

Os índices de vegetação podem ser calculados dependendo das regiões do espectro utilizadas. De acordo com Dutra (2014), as regiões do espectro são definidas em: região do visível (VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho (IR). As categorias e divisão do espectro eletromagnético estão apresentados na figura 2.

Figura 2 – Espectro eletromagnético.



Fonte: Dan Scientia (2010).

As imagens com utilização de bandas multiespectrais permitem o desenvolvimento de índices que são associados a diferentes propriedades fisiológicas da vegetação, como estresse hídrico, vigor de plântulas e senescência (EMBRAPA, 2014). Na literatura encontra-se diversas publicações com a utilização de bandas multiespectrais para o cálculo de diferentes índices de vegetação. O índice de área foliar foi utilizado nos trabalhos de (CARLSON; RIPLEY, 1997; CANTERI; GODOY, 2005; BERNI et al., 2009; BORATO; GOMIDE, 2013; CALDERÓN et al., 2013; CÓRCOLES et al., 2013; MONTEIRO et al., 2013; ZARCO-TEJADA et al., 2013, DANELICHEN et al., 2016). O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI – do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*) foi utilizado nos trabalhos de HIKISHIMA et al. (2010) que utilizaram o NDVI para comparar severidades de sojas em diferentes estádios de desenvolvimento e observaram que o aumento da severidade proporcionava redução do NDVI. Em trabalho realizado por Silva et al. (2009), os autores obtiveram respostas de eficácias de diferentes fungicidas com a utilização de NDVI.

O NDVI baseia-se no contraste entre a absorção máxima no vermelho devido a pigmentos da clorofila e a reflexão máxima no infravermelho provocado pela estrutura celular da folha (HABOUDANE et al., 2004).

Para a obtenção do NDVI, deve-se seguir o seguinte cálculo demonstrado na equação 01:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)} \quad (1)$$

Em que NIR e VIS representam as Refletâncias da superfície médias ao longo de intervalos de comprimento de onda no visível (vermelho) e infravermelho próximo (NIR) do espectro luminoso, respectivamente (CARLSON; RIPLEY, 1997).

O índice de área foliar (LAI) que é uma variável chave utilizada por fisiologistas vegetais e modeladores para estimar a cobertura foliar, bem como a previsão de crescimento e produtividade das plantas. Sua determinação é fundamental para compreensão de processos biofísicos de dosséis florestais e agrícolas (HABOUDANE et al., 2004).

Outro índice utilizado é o índice de vegetação ajustada para solos (SAVI – do inglês – *Soil Adjusted Vegetation Index*) que apresenta melhor desempenho para áreas com baixa cobertura vegetal e com a presença natural de exposição de solos, se mostrando sensível a variações de acordo com os diferentes tipos de solo (MENESES; ALMEIDA, 2012), conforme equação 2.

$$SAVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)} (1 + L) \quad (2)$$

Em que L é uma constante empiricamente determinada para minimizar a sensibilidade do índice de vegetação às variações de Refletância dos diferentes tipos de solo. Como para o cálculo, a primeira parte é idêntica ao cálculo do NDVI, se o L for igual a zero, o SAVI é igual ao NDVI. Para áreas que apresentam cobertura vegetal intermediária, L é tipicamente em torno de 0,5. O fator (1+L) assegura que o intervalo de valores de SAVI seja mesmo que o do NDVI, isto é, entre -1 e +1 (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Outro índice vegetal que têm apresentado grande potencial para o uso em estimativa de severidade de doença é o índice de Refletância fotoquímica (PRI_{570}), devido apresentar alta correlação com o pigmento xantofila presente nas folhas das plantas (MENESES; ALMEIDA, 2012), conforme equação 3.

$$PRI_{570} = \frac{(R_{570} - R_{531})}{(R_{570} + R_{531})} \quad (3)$$

3 ARTIGO: REFLETÂNCIAS OBTIDAS POR MEIO DE IMAGENS AÉREAS COLETADAS COM CÂMERAS RGB E NIR PARA ESTIMATIVA SEVERIDADE DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi*).

3.1 INTRODUÇÃO

Na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill), principal commodities agrícola do país, a principal doença é a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. e P.Syd que pode causar danos de até 90% (GODOY; CANTERI, 2004).

A rápida propagação desta doença, faz com que a identificação dos sintomas seja indispensável para o seu controle. Esta prática exige o suporte de um especialista e a utilização de métodos fitopatômétricos para quantificação dos danos causados a cultura. Até o momento, o método mais eficiente para quantificação desta doença é a utilização de escala diagramática proposta por Godoy; Koga e Canteri (2006) que é a mais utilizada devido proporcionar parâmetros de avaliação por meio de notas de severidade com alto grau de confiabilidade. No entanto a utilização destas escalas demandam alto custo operacional e estão sujeitas a análises subjetivas que podem ser provocadas por um erro causado pelo avaliador.

A detecção de doenças de plantas ou até mesmo sua quantificação por métodos indiretos com a utilização de sensoriamento remoto, baseia-se na radiação refletida das folhagens. A quantidade e a qualidade da radiação refletida a partir das folhas são dependentes de vários fatores, entre eles a sanidade do tecido vegetal, que quando infectado por fitopatógenos reage causando os sintomas (NAUE et al., 2011).

Dentre as alternativas no sensoriamento remoto estão a utilização de sensores ou câmeras que captam faixas espectrais acopladas em VANTs (Veículos aéreos não tripulados) na agricultura. A utilização desta ferramenta têm se tornado um amplo campo de pesquisa (BERNI et al., 2009, CALDERÓN et al., 2013; KOGA; CANTERI;

Desta forma, os objetivos propostos neste trabalho foram: i) Analisar as Refletâncias de imagens aéreas obtidas com duas câmeras que captam frequências RGB e Infravermelho próximo da câmera e RGNIR (banda R e NIR); ii) Calcular o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e utilizar a banda B

da câmera RGB para correlacionar com os dados das avaliações de porcentagem de severidade e de desfolha causados pela ferrugem asiática da soja avaliados visualmente no campo e iii) Analisar a viabilidade para estimativa da ferrugem asiática da soja por meio das Refletâncias obtidas com as imagens.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Realização dos ensaios e coleta das imagens

As imagens foram coletadas de ensaios que apresentavam gradientes distintos de severidade de ferrugem asiática da soja, para isso foram realizados sete ensaios no campo na safra 2016/2017, com o objetivo de gerarem diferenças de gradientes da doença. Para isso, utilizou-se tratamentos com diferentes aplicações de fungicidas que tem ação para o controle de ferrugem asiática da soja. Para atingir o objetivo de ocorrência natural da doença no campo, algumas medidas foram adotadas, realizando-se a semeadura tardia, no dia 06 de dezembro de 2016.

Os ensaios foram realizados Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, coordenadas geográficas S: 23°20'34,4" O: 051°12'41,3" e altitude de 570 m, no município de Londrina, Paraná. A cultivar utilizada foi a DM6563 IPRO, semeada com espaçamento entrelinhas de 0,45 m e densidade populacional de 266.666 plantas por hectare.

O delineamento experimental adotado para estes ensaios foi o de blocos casualizados com 4 repetições. Cada parcela foi constituída por 3,0 m de largura por 6,0 m de comprimento, totalizando área de 18,0 m². Cada ensaio foi composto por uma testemunha (sem controle com fungicida) e os demais tratamentos com diferentes aplicações fungicidas visando o controle de ferrugem asiática da soja, o que proporcionou um gradiente de severidade da doença na área no momento da coleta das imagens.

Os ensaios foram instalados na área com as seguintes características:

O primeiro ensaio apresentou dezenove tratamentos, sendo uma testemunha absoluta (sem aplicação de fungicidas) e os demais tratamentos com diferentes fungicidas para controle de ferrugem asiática da soja em quatro

aplicações, iniciando-se na fase reprodutiva e repetidos com intervalo de quatorze dias. Este ensaio foi denominado de Coop. O segundo ensaio foi composto por quinze tratamentos, com uma testemunha absoluta e diferentes tratamentos fungicidas com quatro aplicações iniciando na fase reprodutiva e repetidos com intervalo de quatorze dias e denominado como Coopseq. O terceiro ensaio foi composto por dezesseis tratamentos, com uma testemunha absoluta e diferentes tratamentos fungicidas, com a primeira aplicação no fim da fase vegetativa e reaplicados com intervalo de dez dias num total de cinco aplicações, o qual foi denominado Coopsolo. O quarto ensaio foi composto por oito tratamentos, com uma testemunha absoluta e diferentes tratamentos fungicidas, com três aplicações iniciando na fase reprodutiva da cultura e reaplicados com intervalo de quatorze dias que foi denominado Conffit. Este mesmo formato do ensaio Conffit foi utilizado para o quinto ensaio que foi denominado ADM e sexto ensaio denominado STCK. O sétimo ensaio foi composto por nove tratamentos com uma testemunha e diferentes tratamentos com fungicidas com quatro aplicações iniciando na fase reprodutiva da cultura e repetidos com quatorze dias de intervalo, este ensaio foi denominado Expert.

Nestes ensaios foram utilizados os fungicidas que apresentavam as melhores ações para ferrugem asiática da soja para período do estudo. Como o objetivo deste estudo não é a eficiência proporcionada pelos produtos e sim o nível de doenças para correlação com as Refletâncias geradas pelas imagens, optou-se em não descrever os produtos utilizados.

Estas denominações dos ensaios facilitaram a identificação das parcelas experimentais para as avaliações visuais da doença e também para coletas e análises das imagens (Tabela 1).

Tabela 1 – Características e denominações dos ensaios para avaliações de ferrugem asiática da soja realizados na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina na safra 2016/2017.

Nome do ensaio	Número de tratamentos	Número total de Parcelas
1.Coop	19	76
2.Coopseq	15	60
3.Coopsolo	16	64
4.Consfit	8	32
5.ADM	8	32
6.STCK	8	32
7.EXPERT	9	36

Abaixo segue a imagem do local de realização dos ensaios realizados no campo (Figura 3).

Figura 3. Imagem da área do local de realização dos ensaios.

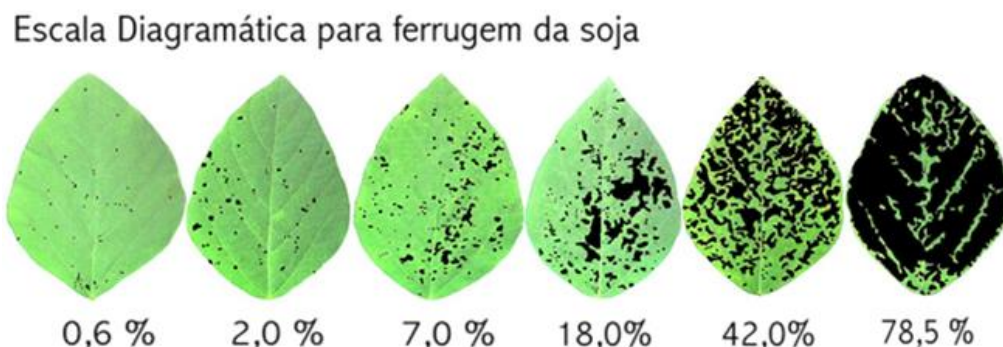


Fonte: Próprio autor.

3.2.2 Avaliações visuais realizadas nos ensaios

Foram realizadas avaliações de severidade de ferrugem asiática da soja, a partir do florescimento da cultura. As avaliações foram realizadas em quatro pontos por parcela e em cada ponto, avaliou-se três trifólios coletados totalmente ao acaso do terço inferior, terço médio e terço superior das plantas. As avaliações foram realizadas com auxílio da escala diagramática proposta por Godoy, Koga e Canteri (2006), como segue apresentada na figura 4. As avaliações foram realizadas com auxílio de uma equipe devidamente treinada e experiente, formada por quatro pessoas. Foram observados a ocorrência de outras doenças na área, observando-se 1% de incidência de DFC que considerou-se como insignificante para atrapalhar o estudo em questão visto sua baixa ocorrência.

Figura 4 – Escala diagramática de severidade de ferrugem asiática da soja



Fonte: Godoy; Koga e Canteri. (2006).

Como a ferrugem asiática provoca desfolha nas plantas de soja, ao observar que a testemunha atingiu 80% de desfolha, iniciou-se, juntamente com a avaliação semanal de severidade, avaliações de porcentagens de desfolha, onde atribuiu-se uma nota geral por parcela com auxílio da escala proposta por Hirano et al. (2010), apresentada na figura 5.

Figura 5 – Escala diagramática para avaliação de desfolha provocada por doenças em soja



Fonte: Hirano et al. (2010).

Para o objetivo deste estudo, considerou-se para as análises de correlações, as avaliações de severidade de ferrugem asiática da soja e desfolha das plantas realizadas no dia das obtenções das imagens (16/03/2017), momento em que a soja se encontrava no estágio fenológico R5.5 conforme escala proposta por Ritchie et al. (1997). Os dados de campo e obtenção das imagens foram obtidos no mesmo dia, possibilitando correlacionar os dados do mesmo período.

3.2.3 PLANEJAMENTO DO VOO E OBTENÇÃO DAS IMAGENS

O planejamento dos voo para obtenção das imagens foi realizado na fase final do desenvolvimento reprodutivo, no estágio fenológico R5.5 da cultura da soja.

Para obtenção das imagens, foi utilizado um VANT eBee, fabricado pela empresa suíça Sensefly (Figura 6). Este equipamento pertence ao departamento de informática da Universidade Estadual de Ponta Grossa, que gentilmente cedeu o equipamento e o pessoal devidamente treinado para manuseá-lo e realizar os voos para coleta das imagens.

Figura 6 – Equipamento VANT eBee utilizado para realização dos voos e captura das imagens.



Fonte: próprio autor

O equipamento eBee permite a realização prévia do plano de voo e possibilita sua alteração em tempo real por meio do software Emotion 2. Este software permite definir a área de coleta de dados, altitude, resolução das imagens a serem obtidas e sobreposição longitudinal e latitudinal da área que será sobrevoada. Também permite realizar o monitoramento em tempo real do equipamento através de informações de voo, tais como: altitude, velocidade do vento e condições de carga de bateria. Além disso o software permite a realização do pré processamento das imagens, em que é capaz de informar as coordenadas de cada imagem através do sistema de GPS embarcados no VANT.

Para a obtenção das imagens foram utilizadas duas câmeras, uma de modelo Sony cyber-shot WX RGB com 18.2 megapixels (Figura 7A) e uma Canon S110 NIR com 12 mega pixels (Figura 7B). As imagens foram realizadas em voos separados, um para obtenção das imagem a câmera RGB e um para obtenção das imagens com a câmera NIR.

Figura 7 – Câmeras utilizadas nos voos para captura das imagens. (a) Sony Cyber-shot WX RGB e (b) Canon S110 NIR.



Fig. A. Sony Cyber-shot WX RGB



Fig. B. Canon S110 NIR

Fonte: Sensefly (2014).

As câmeras foram fornecidas com um conjunto de parâmetros configurados pela empresa SenseFly, para que as imagens obtidas tivessem a garantia de serem as mais precisas considerando a aplicação na agricultura. A configuração mais importante, principalmente na câmera NIR, é a relação da velocidade do obturador, que deve ser a menor possível a fim de evitar borrões nas imagens, visto que as câmeras estão em constantes movimentos durante a realização do voo (SANTIAGO-CINTRA, 2016a).

A câmera RGB captura dados nas bandas do RED (vermelho), GREEN (verde) e BLUE (azul), enquanto a NIR captura informações na região do infravermelho próximo (NIR), vermelho (RED) e verde (GREEN). Na tabela 2 seguem apresentados os comprimentos de ondas obtidos com as câmeras RGB e NIR utilizadas neste estudo (SANTIAGO-CINTRA, 2016 a; SANTIAGO-CINTRA, 2016 b).

Tabela 2 - Resposta Espectral das câmeras RGB e NIR utilizadas para captura das imagens.

Camera	Vermelho	Verde	Azul	NIR
Sony Cyber-shot WX RGB	625 nm	550 nm	450 nm	---
Canon S110 NIR	625 nm	550 nm	---	850 nm

Fonte: Sensefly (2014).

Os voos foram realizados sobre a área experimental, no período de 09:35 da manhã até as 10:50, horário recomendado para realização dos voos devido a posição de menor interferência solar. Utilizou-se o VANT eBee equipado com as

câmeras citadas anteriormente, com altitude planejada para coletas de imagens nas resolução de 3,4 cm/pixel, 10 cm/pixel e 20 cm/pixel (Tabela 3).

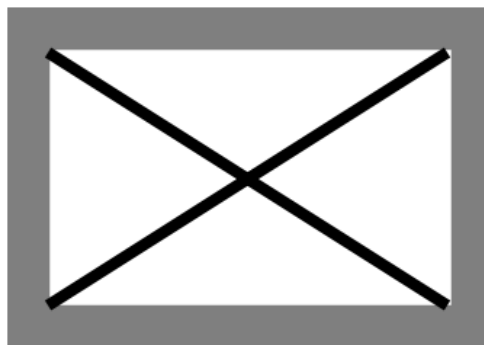
Tabela 3. Informações de altura em relação ao solo (m) e altitude média dos voos (m) realizados para obtenção das imagens.

Resolução (cm/pixel)	Altura do voo em relação ao solo (m)	Altitude do Voo (m)
3,4 Camera RGB	97	667
10 Camera RGB	343	913
20 Camera RGB	706	1276
3,4 Câmera NIR	120	690
10 Câmera NIR	286	856
20 Câmera NIR	572	1142

Fonte: Próprio autor

Para facilitar a visualização dos experimentos e parcelas experimentais, foram criados os GCPs do inglês (*Ground Control Points*) nas imagens a partir da resolução escolhida e para isso foram confeccionados alguns marcadores com fundo branco quadrados, de tamanho 60 cm X 60 cm (Figura 8). Estes marcadores possuem um X de cor preta e foram posicionados ao redor da área experimental, para identificar o ponto central do ensaio.

Figura 8 –. Modelo de marcador a ser utilizado no estudo de georreferenciamento.



Fonte: Próprio autor

Para coleta da posição do GCPs, com coordenadas pós processadas baseadas nas estações de Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos

Sistemas GNSS (RBMC) utilizou-se um receptor geodésico Trimble Pro XT Pathfinder® utilizado no georreferenciamento da área (Figura 9).

Figura 9. GPS Trimble Pro XT Pathfinder® Pro series.



Fonte: Próprio autor.

3.2.4 Processamento das Imagens e Obtenção dos Dados de Refletância

Após as imagens obtidas com os voos, estas foram pré processadas pelo software Emotion 2 e processadas no software PIX4D, onde foram georreferenciadas, e no caso da câmera NIR, foi feita a conversão do formato CR2 (*Canon Raw Version 2*) gerado pela câmera para o formato TIFF, formato que é utilizado para esta câmera na geração dos mapas de Refletância (PIX4D, 2016).

Para o processamento das imagens de alta resolução espacial coletadas por VANTs é necessário que haja a captura de um número grande de imagens e que estas sejam sobrepostas e capazes de produzir uma única imagem, que denomina-se ortoimagem ou ortomosaico, que representa toda área de trabalho (GÓMEZ CANDÓN; DE CASTRO; LÓPEZ-GRANADOS, 2013).

Figura 10. Imagem de ortomosaico gerado pelo software PIX4D para câmera RGB na resolução de 20 cm/pixel.



Fonte: Próprio autor

Para garantir a precisão de criação do ortomosaico, os GCPs foram utilizados como pontos de apoio no terreno (GÓMEZ CANDÓN; DE CASTRO; LÓPEZ-GRANADOS, 2013).

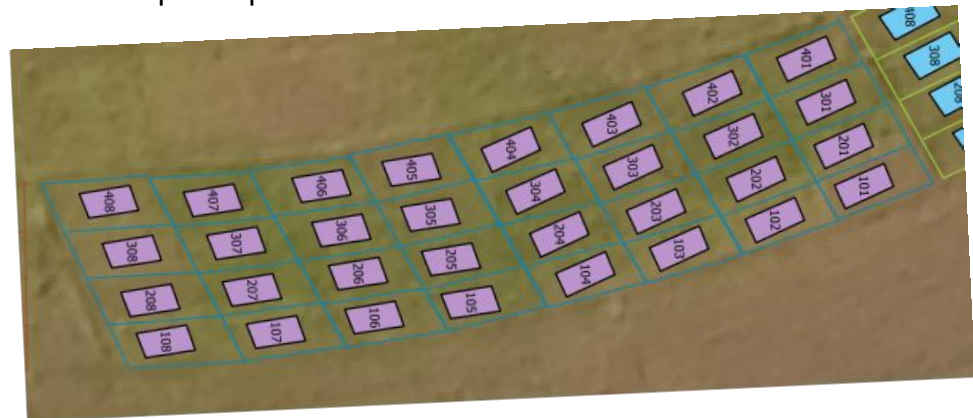
Para a correção geométrica das imagens foi utilizada a ferramenta do software QGis (GIS, 2017), software de uso livre, que capacita a correção de um mosaico já gerado, utilizando pontos de controle selecionados manualmente.

Tanto o mapa de Refletância quanto o ortomosaico foram obtidos a partir do MDS, que é um modelo digital de superfície gerado através do software PIX4D que calcula as posições e orientações das imagens originais de forma automática através da triangulação aérea (AAT – do inglês *Automatic Aerial Triangulation*) e do ajuste de feixes em bloco (BBA – do inglês *Bundle Block Adjustment*), com base em uma nuvem de pontos 3D obtidos durante a ATT e BBA gera-se o MDS pela ligação destes pontos. O ortomosaico é criado a partir da combinação da imagens originais com o MDS (PIX4D, 2016). Para criação do ortomosaico, o software aplica o equilíbrio de cores, que busca ajustar a intensidade de cores de cada imagem, para que elas se encaixem melhores no conjunto, objetivando produzir um resultado visual mais agradável. Para o mapa de Refletância, não foi aplicado o equilíbrio de cores e o peso de cada pixel a partir das

imagens originais na média ponderada são computadas de formas diferentes. O objetivo do mapa de Refletância é reproduzir o mais fielmente possível o valor do pixel relacionado à sua Refletância (PIX4D 2016).

Após a correção geométrica dos mapas de Refletância, foram definidos pontos aleatórios dentro de cada parcela. Optou-se por utilizar um polígono de 4,5 m² (1,5 m de largura e 3 m de comprimento), centralizado ao máximo dentro da parcela, visando manter sua área, evitando-se a invasão de parcelas vizinhas e efeito de bordadura, mesmo ocorrendo pequenas variações no georreferenciamento. O cálculo para definição do número de pontos foi baseado no valor que recobriu suficientemente o número de pixels de cada polígono por parcela. Este número máximo de pontos foi obtido pela divisão da área (m²) pela resolução da imagem obtida (Ex: pixel de 3,4 cm de aresta por pixel ou 0,034 m de aresta por pixel). Foi considerada a extração de 10% da densidade de pixels dentro de cada polígono para cada resolução.

Figura 11. Delimitação dos polígonos dentro das parcelas onde foram extraídos os pontos de Refletância dos pixels para um dos ensaios.

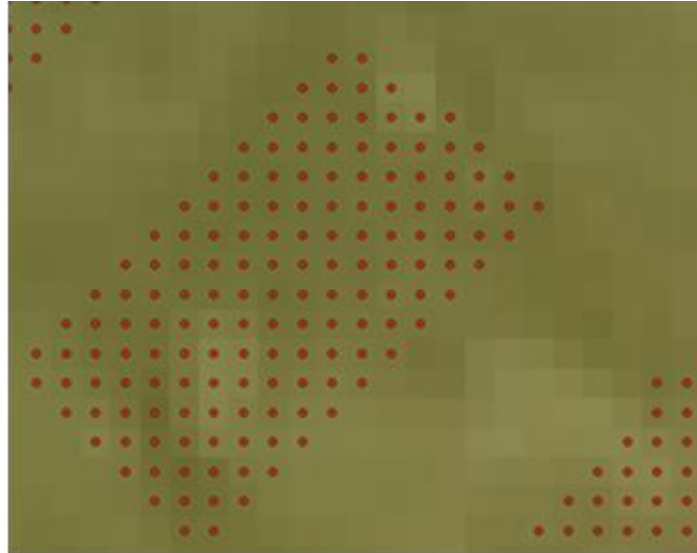


Fonte: Próprio autor

Para cada índice, foram extraídos os valores das três bandas espectrais dos dois mapas de Refletância (Para as câmeras – RGB e NIR) no dia 16/03/2017, data de realização do voo.

Os valores de refletância foram extraídos pela ferramenta Point Sampling Tool do software QGIS (GIS, 2017).

Figura 12. Pontos criados dentro dos polígonos gerados para extração das Refletância dos pixels para cada banda analisada pelo software QGIS.



Fonte: Próprio autor

3.2.5 Análise dos dados

Após a extração das Refletâncias das bandas das imagens com a câmera NIR e RGB nas três resoluções, buscou-se entender o comportamento das correlações com os parâmetros severidade e desfolha provocados por ferrugem asiática da soja.

Calculou-se a média dos valores de Refletância dos pixels por parcela experimental, calculou-se o Índice de Vegetação por diferença Normalizada (NDVI) com os dados obtidos com as imagens da câmera NIR e buscou-se correlacionar com os dados de severidade de ferrugem asiática e desfolha das plantas obtidas pela avaliação visual por meio de análise de regressão Linear e correlação de Pearson

As análises de correlação foram realizadas pelo software WEKA versão 3.8 (FRANK, HALL, WITTEN, 2016).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Correlações foram realizadas utilizando os dados de duas formas, considerando severidade, desfolha e Refletância (NDVI e RGB) do conjunto total de parcelas da área (332) e outra considerando as médias das parcelas (repetições) para cada tratamento (83). Para estas correlações utilizou-se o nível de significância de $p=0,05$ e gerou as análises pelo software Weka (FRANK, HALL, WITTEN, 2016).

Gráficos de dispersão das correlações realizadas entre as Refletâncias das imagens com severidade e desfolha para o número total de parcelas e média dos tratamentos na resolução 3,4 cm/pixel foram obtidos (Figuras 13, 14, 15 e 16).

Notou-se com os resultados que ao analisar um grande conjunto de dados, como foi o caso das análises por parcelas (332) e tratamentos (83), o coeficiente de correlação apresentou valores abaixo do esperado, porém, podem ser explicados pela existência de maior variação entre os parâmetros (pontos) correlacionados.

Os resultados das análises realizadas por tratamentos apresentaram maiores coeficientes de correlação em comparação aos resultados das análises realizadas pelo conjunto total de parcelas, como pode ser exemplificado com a correlação de NDVI com severidade ($r= -0,372$) para todas as parcelas e ($r= -0,423$) para todos os tratamentos (Figuras 13 A e B).

Figura 13. Dispersão do índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na resolução de 3,4 cm/pixel para severidade. Figura A considerando o número total de parcelas (332) e Figura B o número total de tratamentos (83).

Fig. A

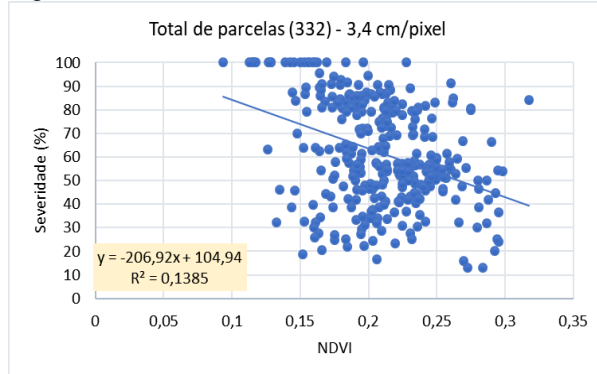
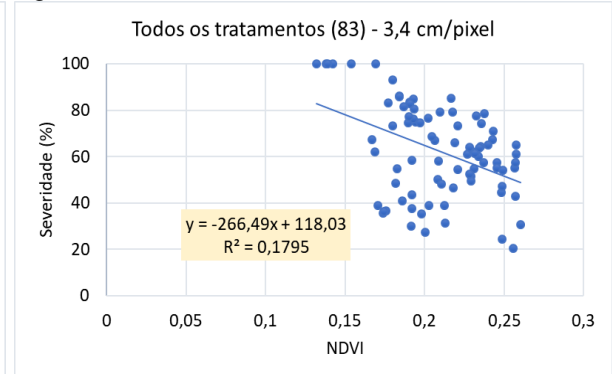


Fig. B



Para correlação com desfolha, observou-se que no conjunto total de parcelas o valor do coeficiente de correlação foi de ($r = -0,635$) e para o número total de tratamentos foi de ($r = -0,751$), na resolução de 3,4 cm/pixel (Figuras 14 A e B). Os coeficientes de correlação do NDVI foram melhores para desfolha em comparação com os coeficientes de correlação por severidade quando analisados por tratamentos. Hirano et al. (2010) citaram que a quantificação da desfolha pode ser utilizada como parâmetro para estimar danos, para avaliar tratamentos em ensaios de controle de doenças em soja e, também, para teste de materiais genéticos resistentes à ferrugem asiática.

De forma geral, observou-se o aumento dos coeficientes de correlação quando se avalia o número total de tratamentos em relação ao número total de parcelas e isso foi constatado para resoluções analisadas de 10 e 20 cm/pixel.

Figura 14. Dispersão do índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na resolução de 3,4 cm/pixel para desfolha Figura A considerando o número total de parcelas (332) e Figura B o número total de tratamentos (83).

Fig. A

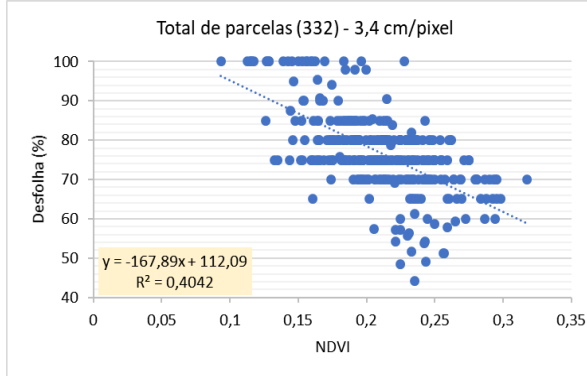
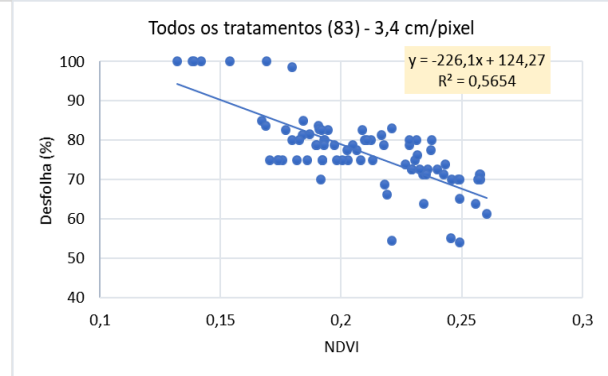


Fig. B



Para as correlações obtidas com as Refletâncias da câmera RGB com severidade considerando o número total de parcelas, observou-se um coeficiente de correlação de ($r=0,562$) e para o número total de tratamentos de ($r=0,690$), (Figuras 15 A e B).

Figura 15. Dispersão da Refletância da banda B (RGB) na resolução de 3,4 cm/pixel para severidade. Figura A considerando o número total de parcelas (332) e Figura B o número total de tratamentos (83).

Fig. A

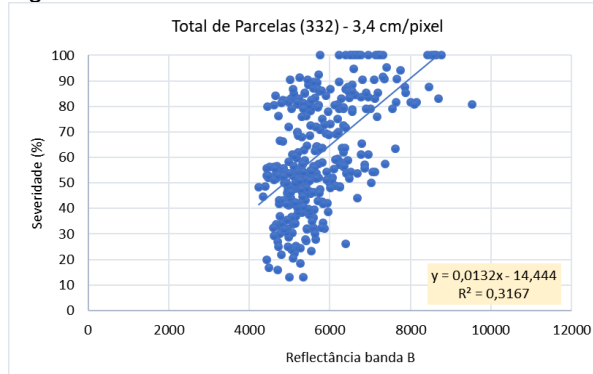
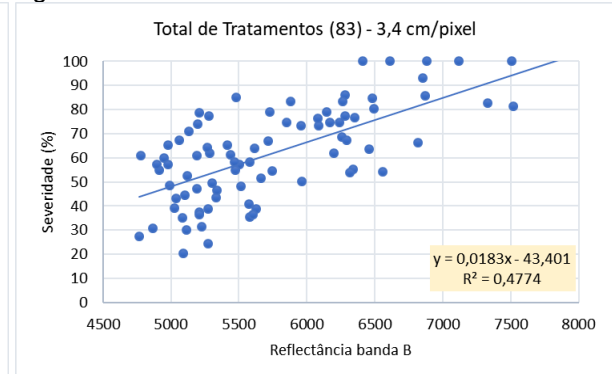


Fig. B



Para a correlação desta banda com desfolha, observou-se $r = 0,473$ para o número total de parcelas e $r = 0,540$ para o número total de tratamentos (Figuras 16 A e B).

Para a câmera RGB observou-se os melhores resultados com correlações com a severidade. De acordo com estudo de Lacerda (2016), a identificação de patógenos que causam amarelecimento foliar demonstram potencial

de apresentar maiores correlações no espectro do visível, ou seja, RGB devido as frequências das bandas espectrais de Refletância dos pigmentos das folhas como clorofila, carotenoides, antocianinas e xantofila estarem dentro deste espectro (400 nm a 700 nm), principalmente relacionados a banda B do espectro RGB.

Figura 16. Dispersão da Refletância da banda B (RGB) na resolução de 3,4 cm/pixel para desfolha. Figura A considerando o número total de parcelas (332) e Figura B o número total de tratamentos (83).

Fig. A

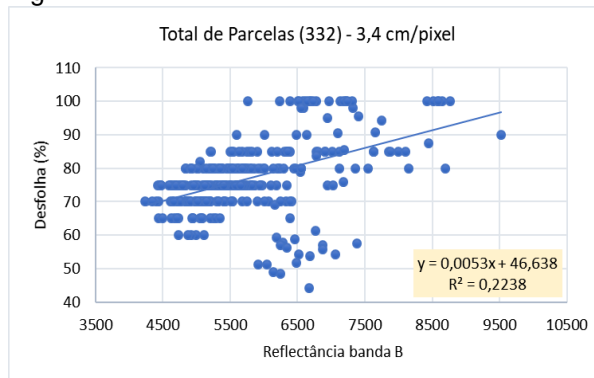
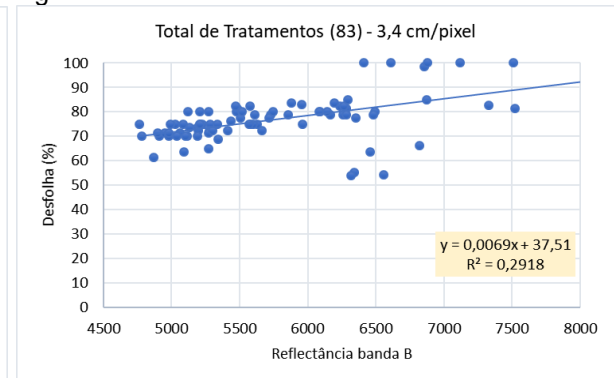


Fig. B



Os resultados obtidos nestas análises, indicaram que as correlações realizadas com as médias das repetições para cada tratamento demonstraram o melhor potencial de correlação existente entre as Refletâncias obtidas das imagens com a severidade e desfolha avaliadas no campo.

Após os resultados obtidos, decidiu-se por considerar nas análises de correlação os dados de Refletância (NDVI) e RGB com severidade e desfolha por tratamento para cada ensaio e a partir dos resultados observou-se quais ensaios apresentaram os melhores coeficientes de correlação.

Com a análise por tratamento, as correlações com os dados das imagens obtidas e os dados de campo apresentaram melhores ajustes, visto que a correlação se deu entre a média da Refletância de vários pontos da parcela experimental com um único valor de porcentagem de severidade e desfolha, o que favoreceu maior variabilidade na análise pelo número total de parcelas.

3.3.1 Análise dos dados de Refletância gerados pela câmera NIR com os parâmetros avaliados no campo, severidade de ferrugem asiática e porcentagem de desfolha.

3.3.1.1 Correlações do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) com Severidade.

Neste estudo observou-se correlações negativas com dados de NDVI com severidade e desfolha. Estas correlações negativas podem ser explicadas devido as respostas espectrais no infravermelho próximo (entre 700 e 1.100 nm) da vegetação verde sadia fornecerem informações sobre a senescência e/ou causas de estresses nas plantas, devido ao fato de que plantas saudáveis possuem grande Refletância nessa região do espectro, e na medida em que a Refletância diminui, ocorre mudanças em sua fisiologia (JENSEN, 2009).

Silva et al. (2009), observaram em seu trabalho que leituras de Refletância na faixa espectral do infravermelho próximo apresentam resultados inversamente proporcionais às avaliações de severidade de ferrugem asiática da soja. Hikishima et al. (2010), demonstraram em seu trabalho onde analisaram quatro experimentos, que conforme o progresso da severidade de ferrugem asiática da soja durante os estádios fenológicos da cultura, ocorria redução dos valores de NDVI.

Os resultados apresentados a seguir estão em concordância com as referências citadas anteriormente demonstrando coeficientes de correlação negativos entre NDVI e severidade de ferrugem asiática e desfolha das plantas.

Ao analisar os dados de NDVI obtidos com a câmera NIR, os ensaios que apresentaram os melhores coeficientes de correlação acima de 0,8 neste estudo foram: Expert, STCK e Consofit.

Nas análises de correlação obtidas entre o NDVI e a severidade para resolução de 3,4 cm/pixel, observou-se que o ensaio Consofit apresentou maior coeficiente de correlação ($r = -0,958$). O ensaio STCK apresentou ($r = -0,928$) e o ensaio Expert ($r = -0,914$) (Figura 17).

Figura 17. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 3,4 cm/pixel para severidade. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Fig. A

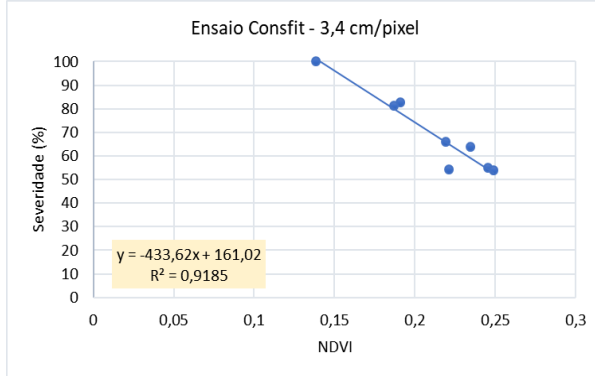


Fig. B

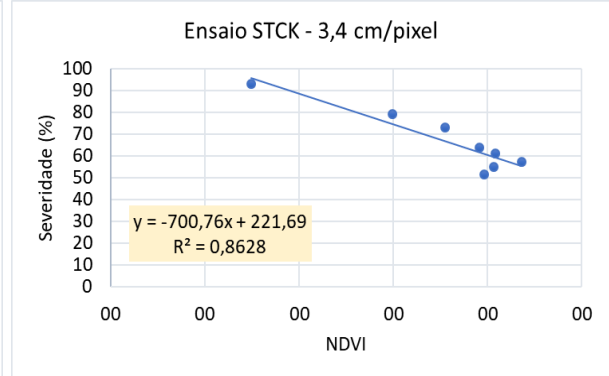
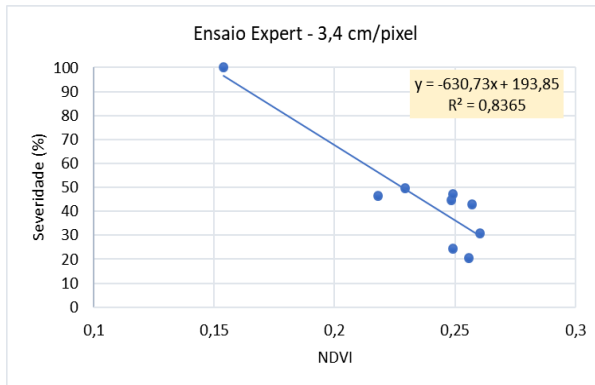


Fig. C



Para a resolução de 10 cm/pixel, observou-se maior coeficiente de correlação entre NDVI e severidade para o ensaio STCK ($r = -0,953$) seguido pelo ensaio Conffit ($r = -0,937$) e Expert ($r = -0,833$) (Figura 18).

Figura 18. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 10 cm/pixel para severidade. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Fig. A

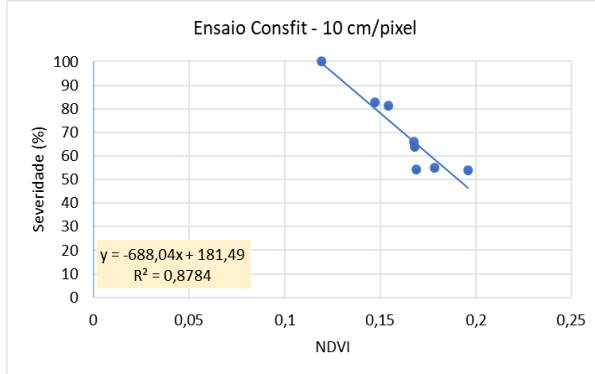


Fig. B

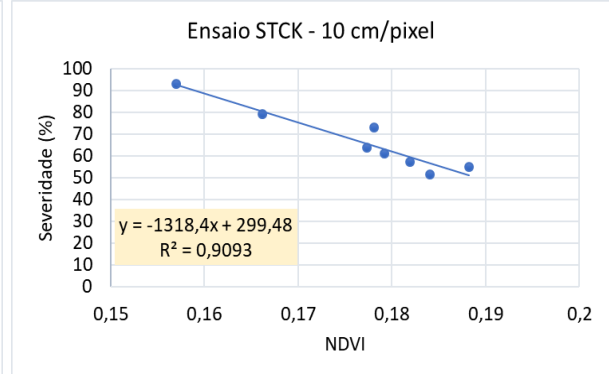
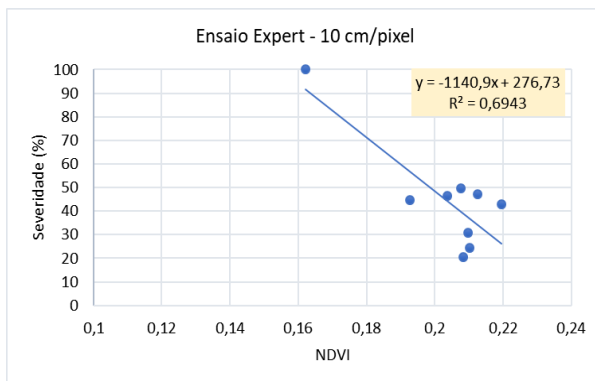


Fig. C



Para as resoluções de 20 cm/pixel, observou-se maior coeficiente de correlação entre NDVI e severidade para o ensaio STCK ($r=-0,942$) seguido pelo ensaio Expert ($r= -0,865$) e Conffit ($r= -0,844$) (Figura 19).

Figura 19. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 20 cm/pixel para severidade. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Fig. A

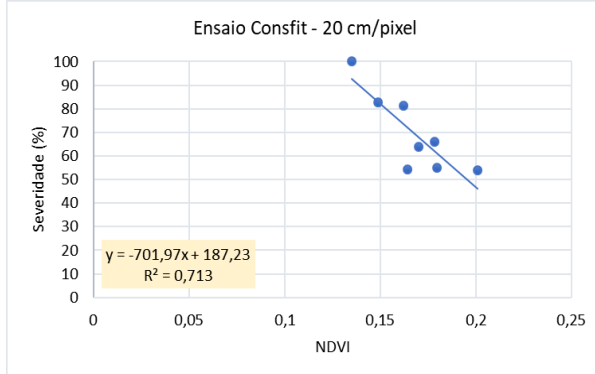


Fig. B

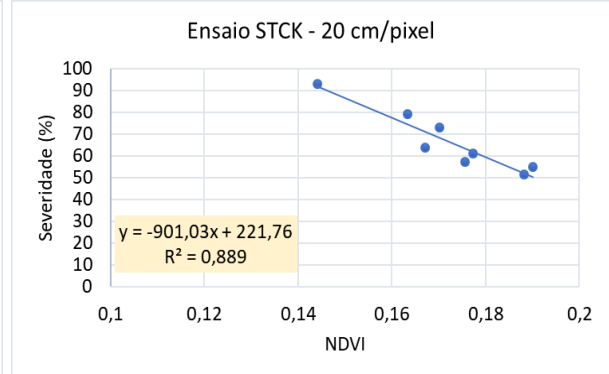
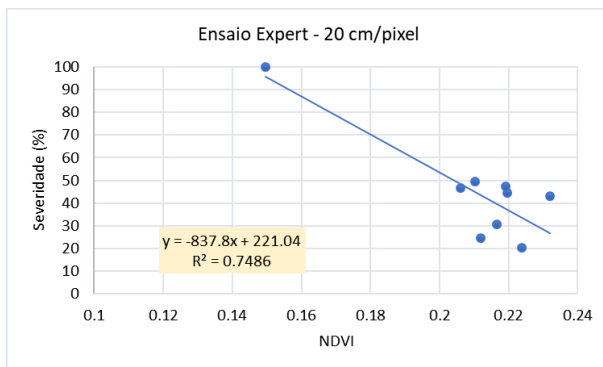


Fig. C



Nos resultados obtidos dos ensaios Conffit, STCK e Expert, observou-se concordância com os resultados obtidos por Lacerda (2016), que encontrou coeficientes de correlação acima de 90% com dados de NDVI gerados de Refletâncias obtidas de imagens aéreas com severidade de ferrugem asiática da soja. Em trabalho de Garcia Ruiz et al. (2013), por meio de imagens aéreas, foram encontrados diferenças significativas na detecção de plantas de citrus infectadas com Huanglongbing.

No trabalho de Silva et al. (2009) onde utilizaram medidas de Refletância na faixa do infravermelho obtidas com uso de radiômetro Cropscan para estimar o efeito de fungicidas no controle de ferrugem asiática da soja, observaram coeficiente de determinação acima de 80%.

Os resultados das correlações obtidas no presente estudo indicaram altos coeficientes de correlação entre o NDVI obtido das Refletâncias das imagens aéreas e a severidade da ferrugem asiática da soja avaliadas visualmente no campo,

demonstrando que a utilização de imagens aéreas podem ser relevantes para estimativa da doença, principalmente para obter respostas de diferentes tratamentos em ambientes experimentais, onde possibilita-se a análise de repetições de parcelas experimentais de um mesmo tratamento.

3.3.1.2 Correlações Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) com Desfolha.

Devido os sintomas da ferrugem asiática da soja estarem relacionados ao amarelecimento foliar, em alta pressão, provocam desfolhas prematuras (HARTMAN et al. 2015).

De acordo com Hirano et al. (2010), a quantificação da desfolha pode ser utilizada como parâmetro para estimar danos, para avaliar tratamentos em ensaios de controle de doenças em soja e também para teste de materiais genéticos resistentes à ferrugem asiática da soja.

Análises de correlação foram realizadas com os parâmetros desfolha e NDVI para cada ensaio e observou-se que os coeficientes de correlação obtidos entre o NDVI e a desfolha, nas resoluções de 3,4, 10 e 20 cm/pixel, foram maiores para os ensaios Consfit, STCK e Expert, mesmos ensaios que apresentaram melhores correlação do NDVI com severidade da doença, o que colabora com a citação de Hartman et al. (2015) que desfolhas prematuras podem ser causadas pelos sintomas de ferrugem asiática da soja.

Assim, para a resolução de 3,4 cm/pixel, observou-se maior coeficiente de correlação entre NDVI e desfolha para o ensaio STCK ($r = -0,901$), seguido pelo ensaio Expert ($r = -0,933$) e Consfit ($r = -0,785$) (Figura 20).

Figura 20. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 3,4 cm/pixel para desfolha. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Fig. A

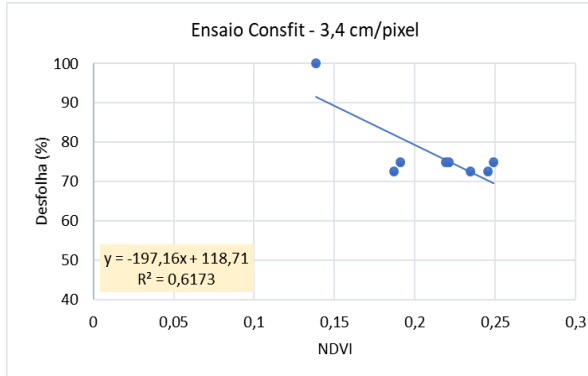


Fig. B

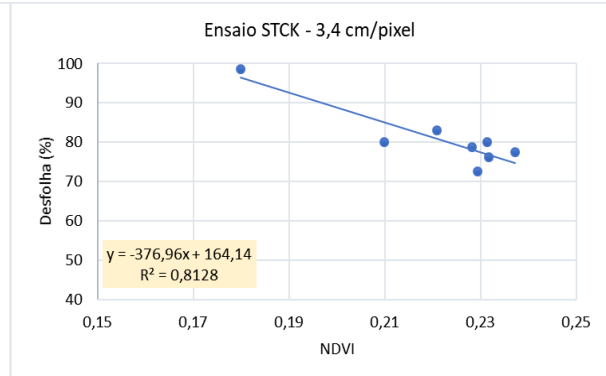
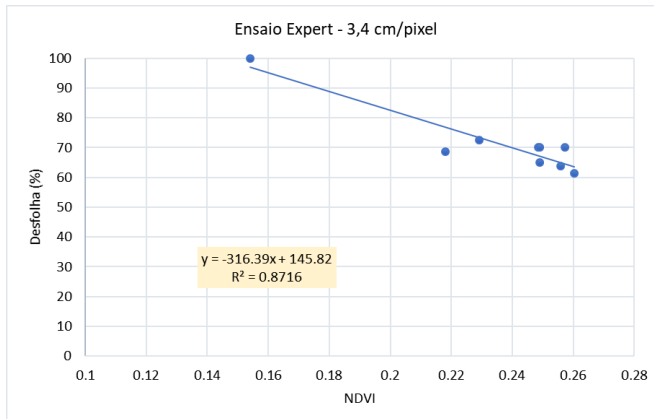


Fig. C



Para a resolução de 10 cm/pixel, observou-se maior coeficiente de correlação entre NDVI e desfolha para o ensaio Expert ($r = -0,873$), seguido pelo ensaio STCK ($r = -0,831$) e Conffit ($r = -0,751$) (Figura 21).

Figura 21. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 10 cm/pixel para desfolha. Figura A Ensaio Consfit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Fig. A

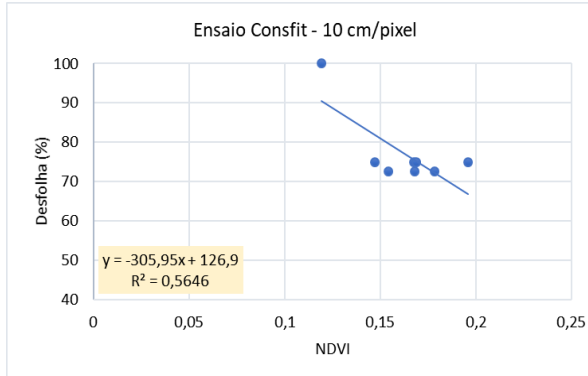


Fig. B

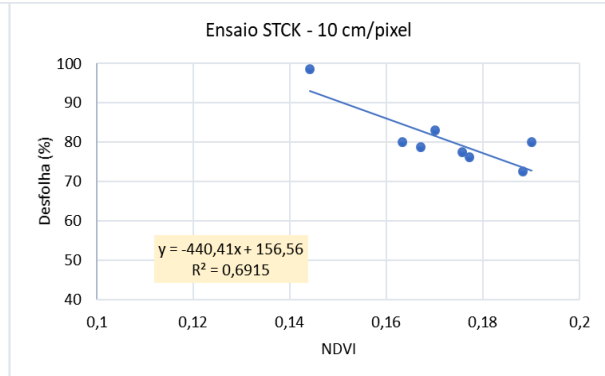
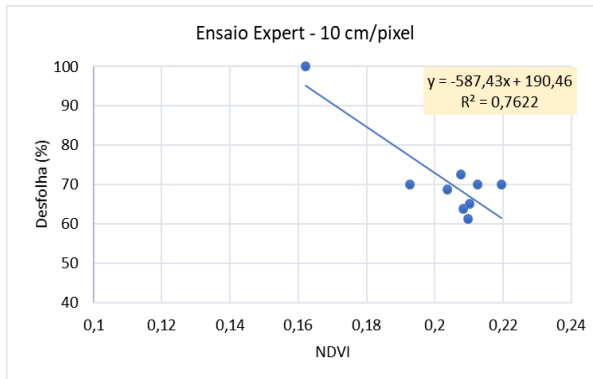


Fig. C



Para a resolução de 20 cm/pixel, observou-se maior coeficiente de correlação entre NDVI e desfolha para o ensaio Expert ($r = -0,901$), seguido pelo ensaio STCK ($r = -0,791$) e Consfit ($r = -0,637$) (Figura 22).

Os resultados demonstraram coeficientes de correlação negativos de NDVI com desfolha acima de 0,8 para alguns ensaios, assim como nos resultados apresentados para severidade de ferrugem asiática.

Nos ensaios STCK, Consfit e Expert, o NDVI obtido com as imagens aéreas apresentou correlações interessantes com desfolha causada pela ferrugem asiática da soja e demonstrou ser uma opção para análise deste parâmetro.

Dentre as resoluções analisadas, não observou-se diferenças, pois em todas as resoluções houveram boas correlações do NDVI com a desfolha provocada pela ferrugem asiática da soja.

Figura 22. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 20 cm/pixel para desfolha. Figura A Ensaio Consfit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Fig. A

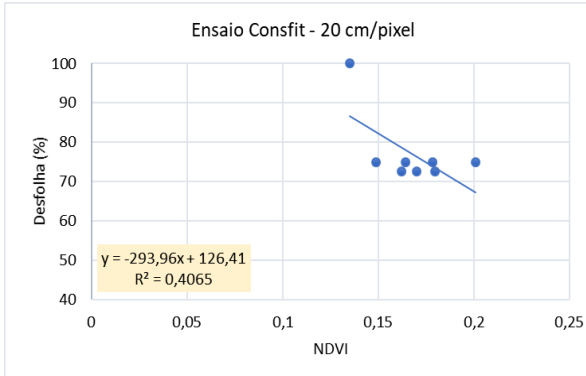


Fig. B

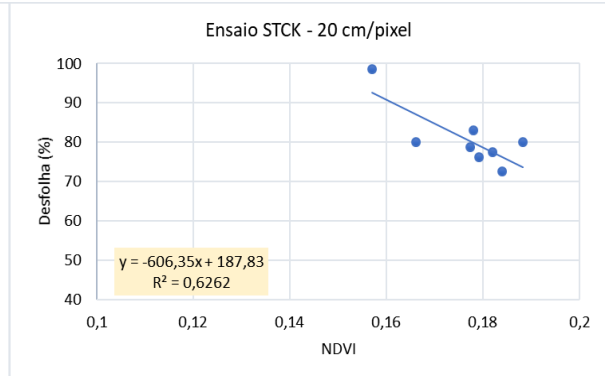
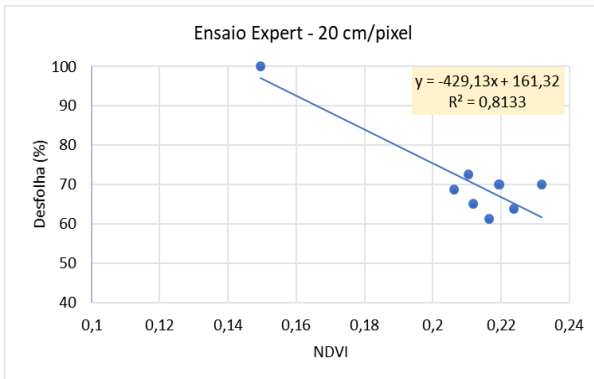


Fig. C



3.3.2 Análise dos dados de Refletância gerados pela a câmera RGB com os parâmetros avaliados no campo, severidade de ferrugem asiática e porcentagem de desfolha.

3.3.2.1 Correlações Refletâncias da banda B (RGB) com severidade

De acordo com Barbosa et al. (2016), a utilização de imagens com câmeras digitais é uma ferramenta poderosa para analisar plantas e citam também que câmeras acopladas em drones pela facilidade de difusão e praticidade apresentam forte potencial de utilização.

A utilização de imagens digitais para avaliação de fatores bióticos, como as doenças, é possível devido o aparecimento de sintomas decorrentes da infecção por patógenos e é possível utilizar imagens obtidas com câmeras comuns para mensurar a área dos sintomas em relação à área total de determinado órgão vegetal (BARBOSA et al., 2016).

De acordo com estudo de Lacerda (2016), a identificação de patógenos que causam amarelecimento foliar demonstram potencial de apresentar maiores correlações no espectro do visível, ou seja, RGB devido as frequências das bandas espectrais de Refletância dos pigmentos das folhas como clorofila, carotenoides antocianinas e xantofila estarem dentro deste espectro (400 nm a 700 nm), principalmente relacionados a banda B do espectro RGB.

Diante deste cenário, seguem apresentados abaixo os resultados obtidos das correlações das Refletâncias obtidas com as imagens RGB com os dados de severidade e desfolha causados por ferrugem asiática da soja para os ensaios que apresentaram as melhores correlações e também seus respectivos gráficos de dispersão demonstrando o comportamento das variáveis correlacionadas.

Na análise dos resultados de correlação da Refletância da banda B (RGB) com os dados de severidade e desfolha, observou-se os melhores coeficientes de correlação para os ensaios Coop, Expert, STCK, ADM e Conffit.

Para a correlação de Refletância da banda B com severidade na resolução de 3,4 cm/pixel, observou-se coeficientes de correlação positivos para o ensaio Coop ($r= 0,861$), ensaio Expert ($r= 0,899$), ensaio STCK ($r= 0,932$), Ensaio ADM ($r= 0,954$) e ensaio Conffit ($r= 0,969$) (Figura 23).

Para esta resolução observou-se melhores coeficientes de correlação para o ensaio Conffit ($r = 0,969$) (Figura 23 E).

Figura 23. Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) na resolução de 3,4 cm/pixel com porcentagem de severidade para o Ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Conffit (Figura E).

Fig.A

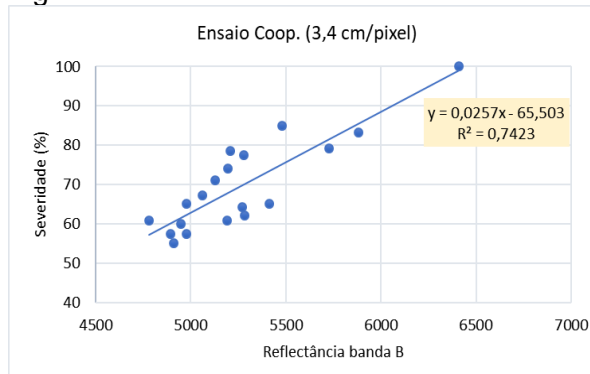


Fig.B

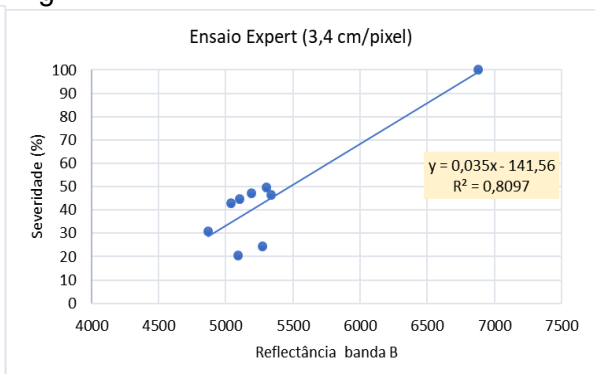


Fig. C

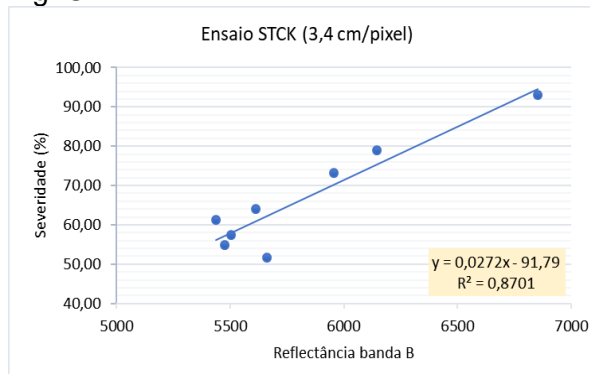


Fig. D

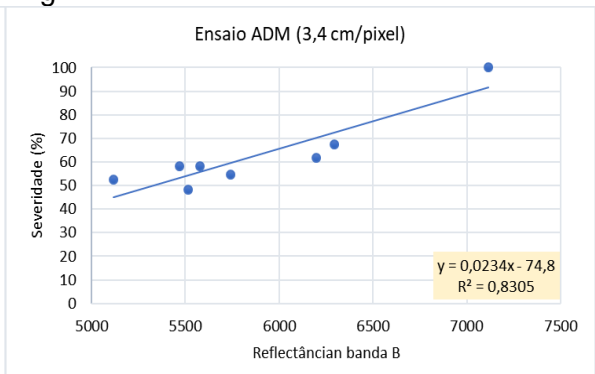
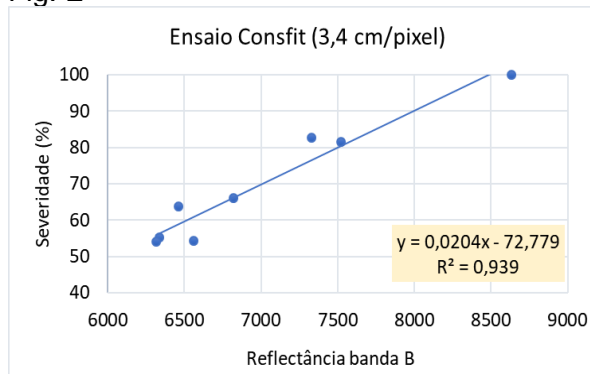


Fig. E



Para a resolução de 10 cm/pixel, os resultados obtidos demonstraram coeficientes de correlação para Refletância da banda B obtidas das imagens com a câmera RGB com severidade para o ensaio Coop ($r = 0,877$), ensaio Expert ($r = 0,849$), ensaio STCK ($r = 0,898$), Ensaio ADM ($r = 0,876$) e ensaio Conffit

($r = 0,968$), como seguem demonstrados na Figura 24.

O ensaio que apresentou melhor coeficiente de correlação neste estudo foi Conffit (0,968) (Figura 24 E).

Figura 24. Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) na resolução de 10 cm/pixel com porcentagem de severidade para o ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), Ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Conffit (Figura E).

Fig.A

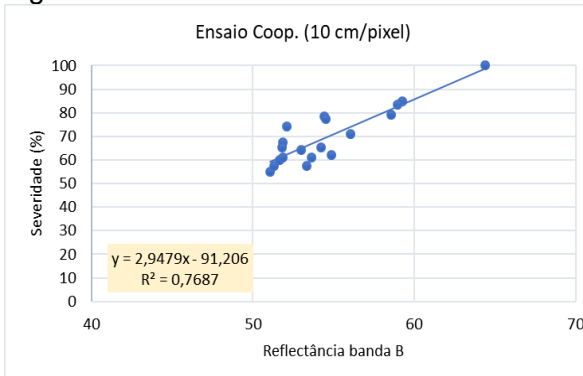


Fig.B

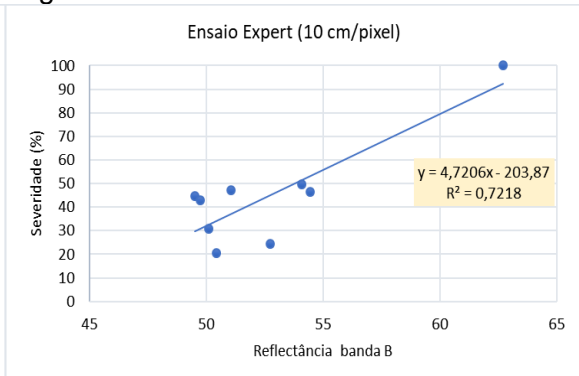


Fig. C

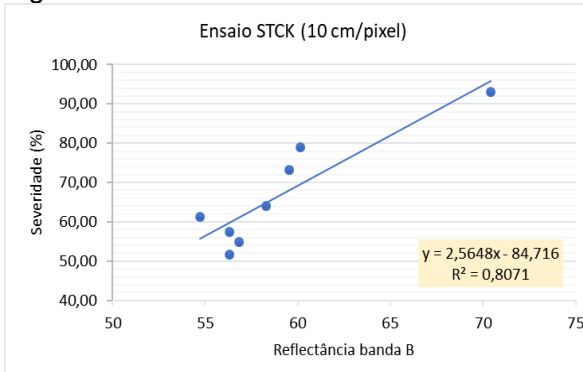


Fig. D

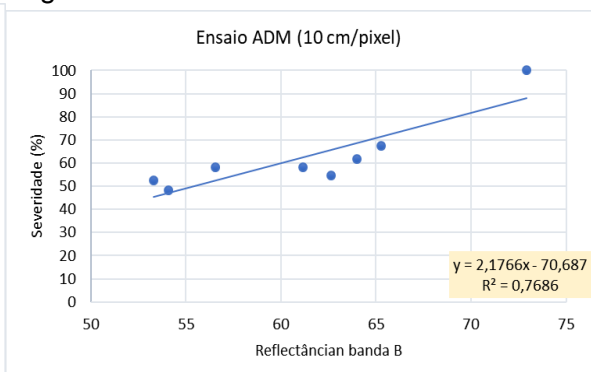
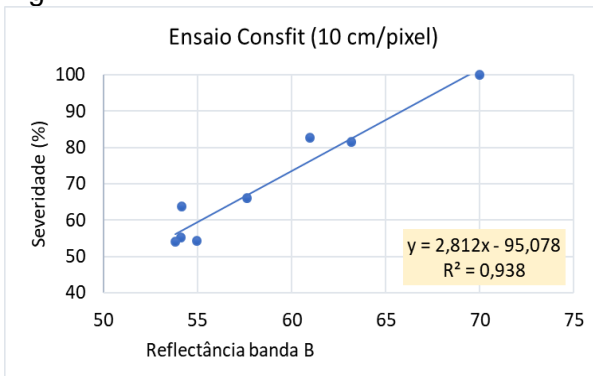


Fig. E



Abaixo, na Figura 25 seguem apresentados os resultados dos coeficientes de correlação para Refletância da banda B obtidas das imagens com a câmera RGB com severidade para o ensaio Coop ($r = 0,887$), ensaio Expert ($r =$

0,955), ensaio STCK (r= 0,840), Ensaio ADM (r= 0,756) e ensaio Conffit (r= 0,870) para a resolução de 20 cm/pixel.

Nesta resolução, observou-se maior coeficiente de correlação para o ensaio Expert (0,955) (Figura 25 B).

Figura 25. Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) na resolução de 20 cm/pixel com porcentagem de severidade para o ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), Ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Conffit (Figura E).

Fig.A

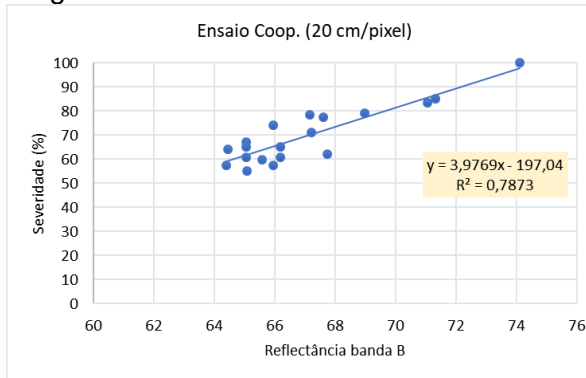


Fig.B

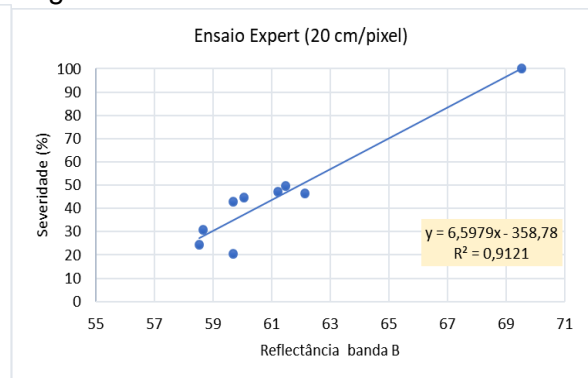


Fig. C

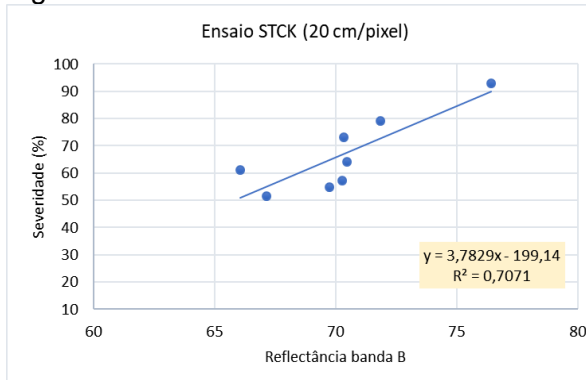


Fig. D

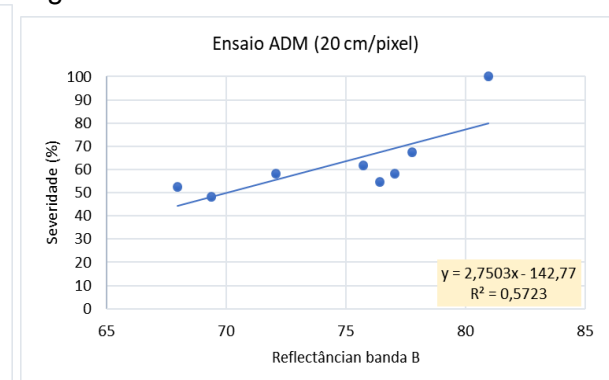
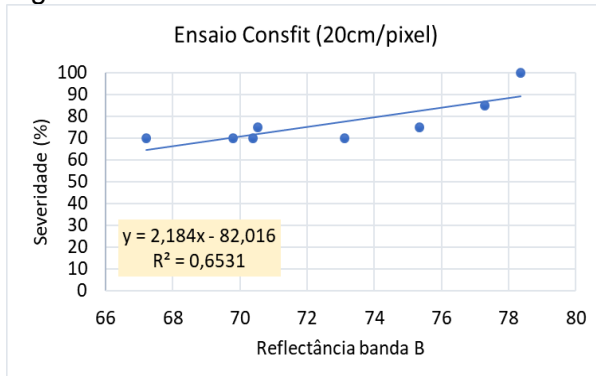


Fig. E



3.3.2.2 Correlações das Refletâncias da banda B (RGB) com desfolha

Foram realizadas as análises de correlação com os parâmetros desfolha e Refletância da banda B obtidas com a câmera RGB para cada ensaio e observou-se que os maiores coeficientes de correlação obtidos nas resoluções de 3,4, 10 e 20 cm/pixel, foram para os ensaios Coop., Expert, STCK, ADM e Conffit, os mesmos ensaios que apresentaram melhores correlação com severidade de doença.

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram coeficientes de correlação positivos para Refletância da banda B obtidas das imagens com a câmera RGB com desfolha para o ensaio Coop ($r= 0,909$), ensaio Expert ($r= 0,926$), ensaio STCK ($r= 0,899$), Ensaio ADM ($r= 0,893$) e ensaio Conffit ($r= 0,935$) para a resolução de 3,4 cm/pixel, como seguem demonstrados na Figura 26. O ensaio Expert apresentou a maior correlação (0,926) (Figura 26 B).

Figura 26. Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) nas resoluções de 3,4 cm/pixel com porcentagem de desfolha para o Ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Consfit (Figura E).

Fig.A

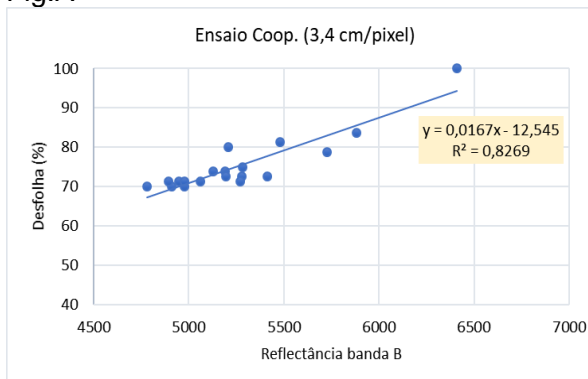


Fig.B

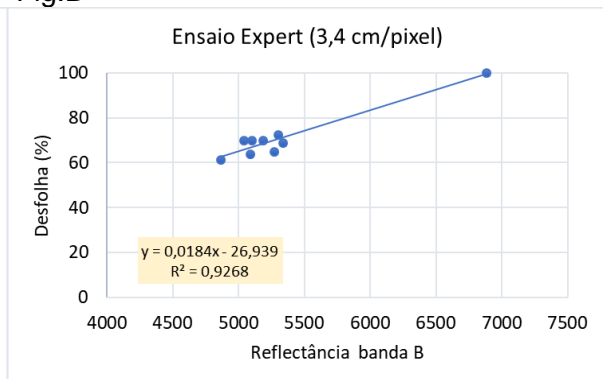


Fig. C

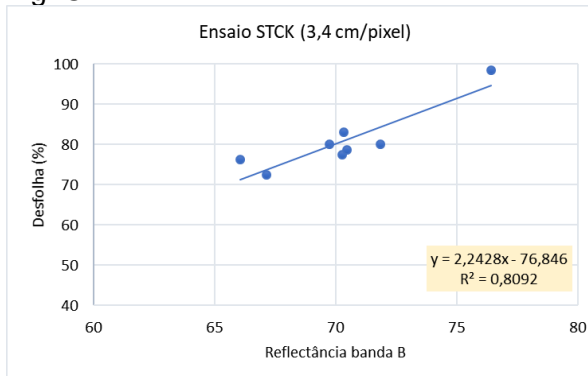


Fig. D

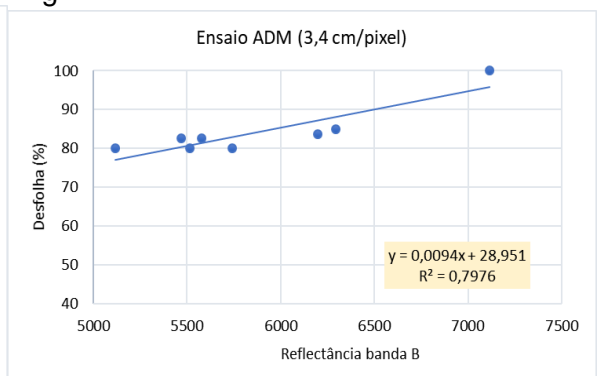
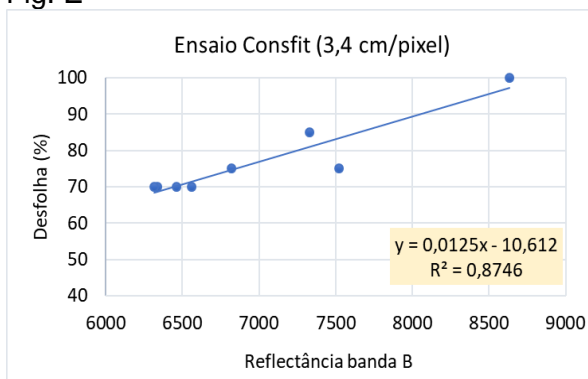


Fig. E



Os resultados obtidos neste estudo demonstraram coeficientes de correlação positivos para Refletância da banda B obtidas das imagens com a câmera RGB com desfolha para o ensaio Coop ($r = 0,926$), ensaio Expert ($r = 0,891$), ensaio STCK ($r = 0,954$), Ensaio ADM ($r = 0,830$) e ensaio Consfit ($r = 0,917$) para a resolução de 10 cm/pixel (Figura 27). Para esta resolução observou-se maior correlação para o ensaio STCK ($r = 0,954$) (Figura 27 C).

Figura 27. Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) nas resoluções de 10 cm/pixel com porcentagem de desfolha para o Ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Consfit (Figura E).

Fig.A

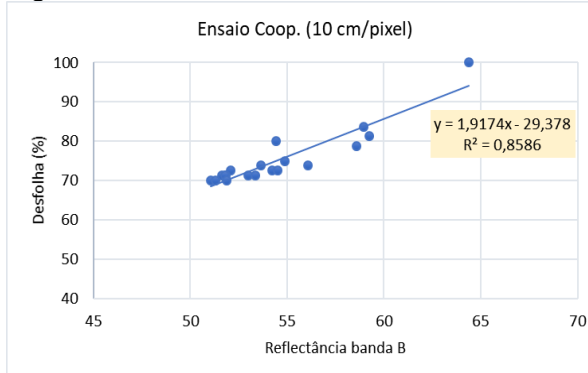


Fig.B

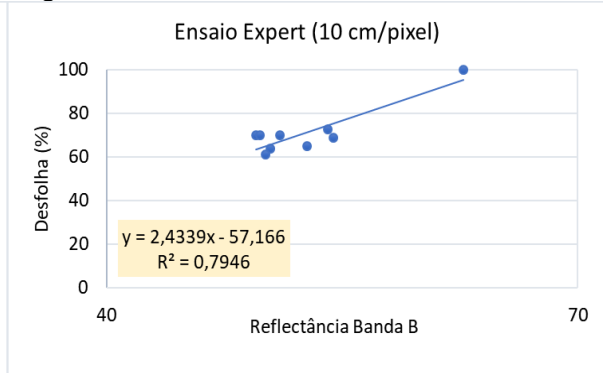


Fig. C

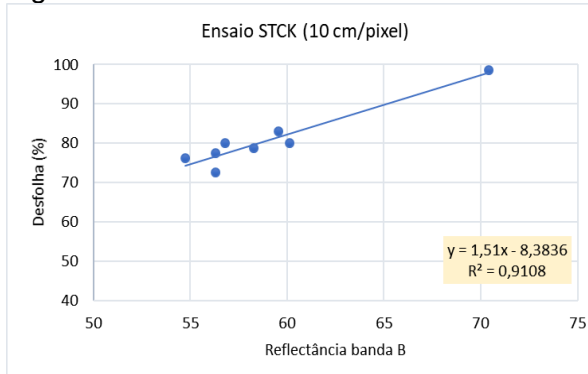


Fig. D

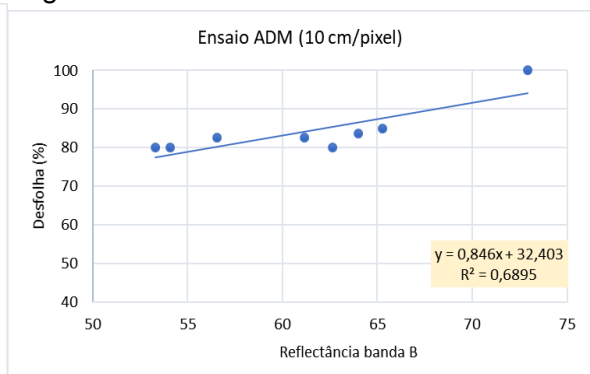
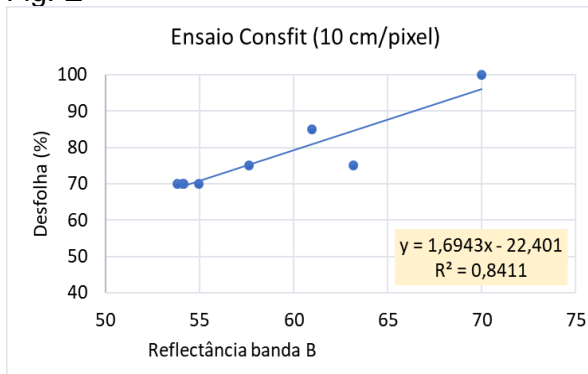


Fig. E



Os resultados obtidos neste estudo demonstraram coeficientes de correlação positivos para Refletância da banda B obtidas das imagens com a câmera RGB com desfolha para o ensaio Coop ($r = 0,921$), ensaio Expert ($r = 0,964$), ensaio STCK ($r = 0,899$), Ensaio ADM ($r = 0,698$) e ensaio Consfit ($r = 0,597$) para a resolução de 20 cm/pixel (Figura 28). Para esta resolução, observou-se maior coeficiente de correlação para o ensaio Expert ($r = 0,964$) (Figura 28 B)

Figura 28. Dispersão da refletância obtida na banda B (RGB) nas resoluções de 10 cm/pixel com porcentagem de desfolha para o Ensaio Coop. (Figura A), Ensaio Expert (Figura B), Ensaio STCK (Figura C), ensaio ADM (Figura D) e Ensaio Consfit (Figura E).

Fig.A

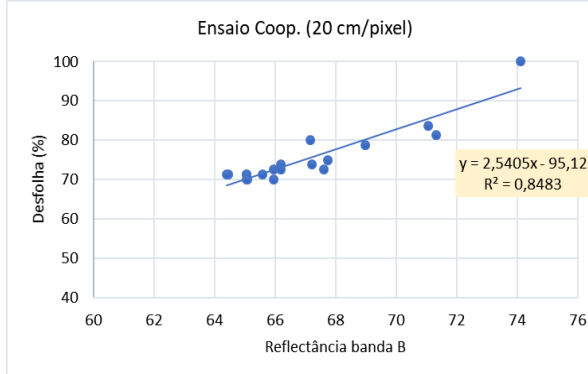


Fig.B

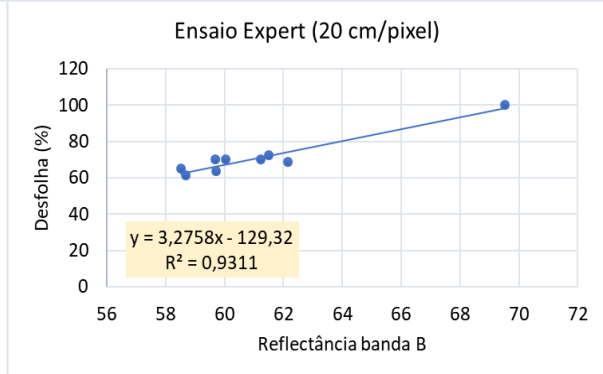


Fig. C

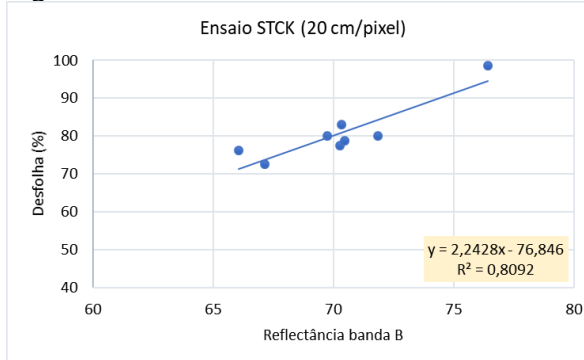


Fig. D

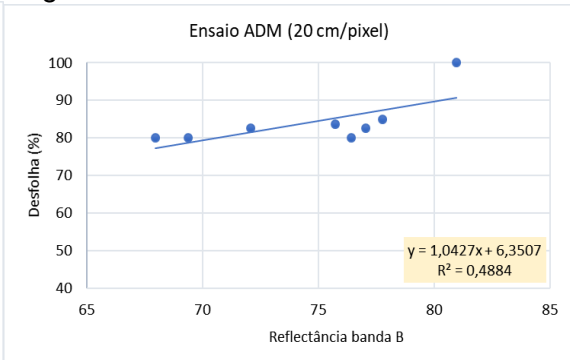
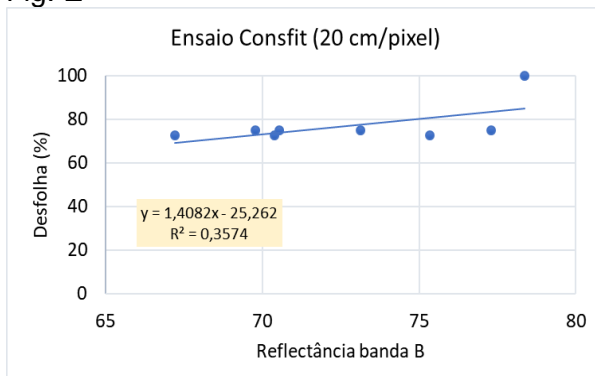


Fig. E



Nos trabalhos realizados por Berni et al. (2009), Zarco-Tejada et al. (2013) e Calderón et al. (2013), em que utilizaram um índice de Refletância fotoquímica denominado (PRI_{570}), índice que é baseado nas frequências do visível como a câmera RGB, obtiveram altas correlações com o pigmento da xantofila que proporciona coloração amarela às folhas quando em maior proporção que a clorofila. Em trabalho realizado por Sugiura et al. (2016), em que utilizaram câmera RGB para detecção de severidade de requeima da batata (*Phytophthora infestans*) em

diferentes cultivares, observaram coeficientes de determinação de 0,77 e 0,73 e concluem que as imagens aéreas RGB podem ser utilizadas como sistema de fenotipagem de alto rendimento para avaliar a resistência de doenças.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Melhores índices de correlação foram obtidas considerando a média das parcelas experimentais de todas as repetições dos tratamentos do que as parcelas experimentais individuais.

Nos ensaio Expert, STCK e Conffit houve correlações negativas significativas para o NDVI calculados das Refletâncias obtidas por meio da câmera NIR para severidade da ferrugem asiática da soja e desfolha das plantas quando visualmente avaliadas.

A utilização de imagens aéreas por câmeras digitais RGB apresentou potencial para estimar a severidade da ferrugem asiática e desfolha com índices de correlação positivas acima de 0,8.

Nos ensaios Coop, Expert, STCK, ADM e Conffit houve índices de correlação positivas significativas para Refletância da banda B (RGB) para severidade da ferrugem asiática da soja e desfolha da planta quando visualmente avaliados.

Uma aplicação que pode ser adotada, é a utilização desta ferramenta auxiliando em avaliações de ensaios que tenham por objetivo testar a eficácia de produtos em diferentes tratamentos.

3.5 CONCLUSÕES

Nas condições de realização deste estudo concluiu-se que:

A utilização de Imagens aéreas por meio de VANTs demonstraram potencial para ser utilizadas na estimativa de ferrugem asiática da soja conforme correlações obtidas entre os valores de Refletância das imagens (NDVI e RGB) e parâmetros severidade de ferrugem asiática da soja e desfolha da planta avaliados visualmente no estágio fenológico R5.5 da cultura.

Menores resoluções e menores altitudes de voo permitiram obter maiores velocidades na captura das imagens e processamento dos dados.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, L. Avaliação de Doenças. *In*: Bergamin Filho, A., Kimati, H. & Amorim, L. (ed.) **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda., 1995, v.1, cap.32, p.645-671.
- AMORIM, L.; RESENDE, A. M.; FILHO, A. B. **Manual de fitopatologia**. Brasília, 2011.
- BARBOSA, J. Z., CONSALTER, R., PAULET, V., MOTA, A.C.V. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. *Revista de ciências Agrárias, Lisboa*, n.1, v.39, p.15-24, 2016.
- BERGAMIN FILHO, A., LOPES, D.B., AMORIM, L., GODOY, C.V., BERGER, R.D. Avaliação de danos causados por doenças de plantas. *Revisão Anual de Patologia de Plantas, Passo Fundo*, v.3, p.133-184, 1995.
- BERNI, J. A. J.; ZARCO-TEJADA, P. J.; SUARÉZ, L.; FERERES, E. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From Na Unmanned Aerial Vehicle. **IEEE transactions on geosciences and remote sensing**, v. 47, n. 3, marc. 2009.
- BORATO, I.M.P.; GOMIDE, R.L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu*, p. 7345-7352, abr 2013.
- BROMFIELD, K.R. Soybean rust. St. Paul: American Phytopathological Society, 1984. 65p. (Monography, 11).
- CALDERÓN, R.; NAVAS-CORTÉS, J. A.; LUCENA, C.; CATALINA, A.; ZARCO-TEJADA, P. J. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of *Verticillium* wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 139, 2013.
- CÂMARA, G.M.S. Soja: Introdução ao Agronegócio Soja. Piracicaba, nov. 2015. 30 p.
- CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. Introduction to remote sensing. Quinta edição. The Guilford Press. Nova York-Londres. 2011.
- CANTERI, M.G., VITTI, A.J., AMORIM, L., BERGAMIN FILHO, A. Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade do amendoim. *Summa Phytopathologica*, v.25, n.3. p.228-233, 1999.
- CANTERI, M.G.; GODOY, C.V. Influência da severidade de mancha angular na eficiência fotossintética da área foliar sadia do feijoeiro, sob condições de campo. *Semina Ciências agrárias, Londrina*, v.26, n.2, p. 179-186, jun. 2005.

CANTERI, M.G.; KOGA, L.J.; GODOY, C.V. Escala diagramática para estimar desfolha provocada por doenças em soja. In: Congresso Brasileiro de Soja, 4º, 2006, Londrina. Resumos. Londrina: Embrapa, 2006, p.106.

CARLSON, T. N.; RIPLEY, D. A. On the relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index. **Remote Sensing of Environment**. V. 62, 1997.

CASSETARI NETO, D.; MACHADO, A.Q; SILVA, R.A. Doenças da soja. Cheminova Brasil, 2010.57p.

CHAVES, A. A. et al. Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Abril de 2015, João Pessoa-PB. Anais. INPE, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO (CONAB). **Monitoramento agrícola - Safra 2018/2019- Grãos, nono levantamento soja**, Brasília, 2019. 27p. Disponível em: file:///C:/Users/Odete/Downloads/BoletimZdeZMonitoramentoZVerãoZJanZ2019%20(1).pdf.pdf. Acesso em 08 de fevereiro de 2019.

CÓRCOLES, J. I.; ORTEGA, J. F.; HERNÁNDEZ, D.; MORENO, M. A. Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. **Biosystems Engineering**, v. 115, 2013.

CUI, D.; ZANG, Q.; LI, M.; ZAO, Y.; HARTMAN, G. L. Detection of soybean rust using a multispectral image sensor. Springer science + Business Media., Berlim, n.3, p.49-56, 2009.

DALL'GNOL, A. The impact of soybeans on the brazilian economy. In: **Technical information for agriculture**. São Paulo: Máquinas Agrícolas Jacto, 2000.

DAN SCIENTIA **A relação da frequência com o comprimento de onda eletromagnética**, Sorocaba, 2010. Disponível em: <<http://dan-scientia.blogspot.com/2010/03/relacao-da-frequencia-com-o-comprimento.html>>. Acesso em 08 de fevereiro de 2019.

DANELICHEN, V.H.M.; BIUDES M.S.; MACHADO, N.G.; VELASQUE, M.C.S.; SILVA, B.B; NOGUEIRA, J.S. Uso do sensoriamento remoto na estimativa do índice de área foliar em floresta tropical. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v.38, n.3, p. 1352-1360, dez. 2016.

DUTRA, E. P. Uso de VANTs na Agricultura – Obtenção e Tratamento de Dados. Trabalho de conclusão de curso – artigo. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2014.

Eibe Frank, Mark A. Hall, and Ian H. Witten (2016). The WEKA Workbench. Online Appendix for "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques", Morgan Kaufmann, Fourth Edition, 2016.

EMBRAPA SOJA. História da Soja. 2017a. Disponível em:<
<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia> >. Acesso em: 25 julho 2017.

EMBRAPA SOJA. Sistema de produção. **Soja em números (safra 2017/2018)**. Embrapa. 2017b. Disponível: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em 20 de janeiro de 2019.

EMBRAPA. Agricultura de precisão, resultados de um novo olhar, Brasília, DF, p. 120, 2014.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIAN, J.; FORMAGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de Vegetação no sensoriamento reoto na cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n.6, p.445-454, 1996.

FRAC, Comitê de Ação de Resistência à Fungicidas. Informações sobre Carboxamidas em Ferrugem da Soja. Disponível em:<
http://docs.wixstatic.com/ugd/85b1d3_060a6876562140b693f03708057acff2.pdf >. Acesso em: 23 julho 2017.

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, 2013.

GHINI, R. KIMATI, H. Resistência de fungos a fungicidas. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente. 78p. 2000.

GIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial. Disponível em: <<http://QGis.osgeo.org>> Acesso em : 05 abr, 2017.

GODOY, C.V.; SEIXAS, C.D.S.; SOARES, R.M.; MARCELINO-GUIMARÃES, F.C.; MEYER, M.C; COSTAMILAN, L.M. Asian Soybean Rust in Brasil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.5, 407-421, mai. 2016.

GODOY, C.V; KOGA, L.J.; CANTERI, M.G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, vol.31, n. p. 63-68, 2006, 2006.

GODOY, CV.; UTIAMADA, C.M.; MEYER, M.C.; CAMPOS, H.D.; ROESE, A.D.; FORCELINI, C.A.; PIMENTA, C.B.; JACCOUD FILHO, D.S.; BORGES, E.P.; SIQUERI, F.V.; JULIATTI, F.C.; FEKSA, H.R., GRIGOLLI, J.F.J.; NUNES JUNIOR, J.; CARNEIRO, L.C.; SILVA, L.H.C.P.; SATO, L.N.; CANTERI, M.G.; MADALOSSO, M. ITO, M.F.; MARTINS, M.C.; BALARDIN, R.S.; FURLAN, S.H.; MONTECELLI, T.D.N.; CARLIN, V.J.; BARROS, V.L.N.P.; VENANCIO, W.S. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2012/13: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 8p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 99).

GODOY,C.V.; CANTERI, M.G. Efeitos protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa-de-vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, 97-101, 2004.

GÓMEZ-CANDÓN, D.; DE CASTRO, A. I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. **Precision Agriculture**, v. 15, 2013.

GUAN, J. NUTTER, Jr. F. W. Factors that affect the quality and quantity of sunlight reflected from alfalfa canopies. **Plant Disease**, 85: 865-874, 2001.

HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; PATTEY, E.; ZARCO-TEJADA, P. J.; STRACHAN, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**. V. 90, 2004.

HARTMAN, G. L.; WEST, E. D.; HERMAN, T. K. Crops that feed the World 2. Soybean worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. Food Security, Beltsville, v. 3, p. 5-17, 2011.

HARTMAN, G.L.; SIKORA, E.J.; RUPE, J.C. Rust. In: HARTMAN, G.L.; RUPE, J.C.; SIKORA, E.J.; DOMIER, L.L.; DAVIS, J.A.; STEFFEY, K.L. (Ed.). Compendium of soybean diseases and pests. 5th ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 2015. p.56-58.

HIKISHIMA, M.; CANTERI, M. G.; GODOY, C. V.; KOGA, L.J.; SILVA, A. J. Da. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de Refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. Tropical Plant Pathology, Botucatu v.35, n.2, p.96-103, abr. 2010.

HIRANO, M.; HIKISHIMA, M.; SILVA, A. J.; SHAVIER, S.A.; CANTERI, M. G. **Validação de escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela ferrugem asiática em soja**. Summa Phytopathologica, Botucatu v.36, n.3, p.248-250, ago. 2010.

JAMES, W.C. Assessment of plant disease and losses. Annual Review Phytopathology, v.12, p.27-48, 1974.

JENSEN, J.R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KOGA, L. J.; CANTERI, M. G.; GODOY, C. V. Relação entre medidas de Refletância e área foliar sádia, severidade da ferrugem asiática e produtividade da cultura da soja. **Ciências Agrárias**. V. 28, n. 4, 2007.

LACERDA, Victor Schnepfer. Estimativa do Índice de Severidade de Ferrugem Asiática Na Cultura da Soja Por Meio de Imagens Obtidas com Aeronave Remotamente Pilotada. 2016. 62 f. (Mestrado em Computação Aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, 2017.

MAFFIA, L.A.; MIZUBUTI, E.S.G.; ALFENAS, A.C.; MAFIA, R.G. 2007. Quantificação de doenças de plantas. Revista Brasileira de Geografia Física 03 (2010) 190-195 Naue, C. R., Marques, M. W., Lima, N. B., Galvêncio, J. D. 195 In: ALFENAS, A.C.; MÁFIA, R.G. Métodos em Fitopatologia, UFV, Viçosa, p. 161-172.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília, 2012.

MONTEIRO, P.F.C.; FILHO, R.A.; XAVIER, A.C.; MONTEIRO, R.O.C. Índices de vegetação simulados de diferentes sensores na estimativa das variáveis biofísicas do feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.48, n.4, p. 433-441, abr 2013.

MORAES, S.A. Quantificação de doença de plantas. 2017. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/Doencas/Index.htm>. Acesso em: 25 julho 2017.

MYNENI, R. B.; HALL, F. G.; SELLERS, P. J.; MARSHAK, A. L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **Geoscience and Remote Sensing**. V.33, 1995.

NAUE, C. R.; MARQUES, M. W.; LIMA, N. B.; GALVÍNCIO, J.D.; Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão. Revista Brasileira de Geografia física, Recife, v.03, p.190-195, 2011.

NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N. Características da Soja. AGEITEC. 2017. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_24_271020069131.html>. Acesso em: 25 julho 2017.

NILSSON, H-E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. Annual Review of Phytopathology, v.33, p.489-527, 1995.

PARRELA, Augusto da Costa. Alternativas para a avaliação de severidade da Mancha-Angular, no feijoeiro comum . 2008. 103 f. (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) – Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 2008.

PIX4D. Software Manual Pix4D Support. Lausanne, Suíça: Pix4D AS. Disponível em: <<https://support.pix4d.com/he/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf-#gsc.tab=0>>. Acesso em: 05 dez. 2016.

PRETORIUS, Z.A.; KLOPPERS, F.J.; FREDERICK, R.D. First report of soybean rust in South Africa. Plant Disease, v.85, p.1288, 2001.

REIS, E.M.; LEITES, A.; FORCELINI, C.A. Relações entre Intensidade da Doença, Refletância da Radiação Solar e Rendimento de Grãos no Patossistema Ferrugem da Folha de Trigo Embrapa 16. Fitopatologia Brasileira, v.31, n.5, p. 447-454, out. 2006.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, Y. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. How a soybean plant develops, Ames, Iowa State University of Science and Technology, p 20, 1997.

ROSSI, R.L. First report of *Phakopsora pachyrhizi*, the causal organism of soybean rust in the province of Misiones, Argentina. Plant Disease, v.87, p.102, 2003.

RUPE, J.; SCONYERS, L. Ferrugem asiática da Soja. Tradução de DEL PONTE, E.M.; ALVES, R.C. 15p. 2008. Disponível em:

<<https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRustPort.aspx>>. Acesso em 28 de Julho de 2017.

SANTIAGO-CINTRA, eBee – Camera S110, Santiago e Cintra Geotecnologias, São Paulo, 2016a.

SANTIAGO-CINTRA, eBee – Camera WX, Santiago e Cintra Geotecnologias, São Paulo, 2016b.

SANTOS JUNIOR., R.F.; SANTOS, J.M.; RUDORFF, B.F.T.; MARCHIORATO, I.A. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. *Fitopatologia Brasileira* v.27 ,n.4, 355-360, ago 2002.

SENSEFLY. Resposta espectral NIR e RGB. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/293482109_fig1_Figure-1-Normalized-response-spectra-of-Canon-S110-RGB-a-and-NIR-b-cameras-Sensefly>. Acesso em: 30 jul. 2017.

SILVA, A. J. Da.; CANTERI, M. G.; SANTIAGO, D. C.; HIKISHIMA, M.; SILVA, A. L. Da. The reflectance in the estimate of the effect of fungicides in the control of asian soybean rust. *Summa Phytopathologica, Botucatu* v.35, n.1, p.53-56, 2009.

SILVA, A.C.; LIMA, E.P.C.; BATISTA, H.R. A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação. Disponível: http://www.apec.unesc.net/V_EEC/sesoes_tematicas/Economia%20rural%20e%20agricultura%20familiar/A%20IMPORT%C3%82NCIA%20DA%20SOJA%20PARA%20O%20AGRONEG%C3%93CIO%20BRASILEIRO.pdf >. 2011. Acesso em 20 de julho de 2017.

SUGIURA R.; TSUDA, S.; TAMIYA, S.; ITOH, A.; NISHIWAKI, K.; MURAKAMI, N.; SHIBUYA, Y.; HIRAFUJI, M., NUSKE, S. Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle. **Biosystems engineering**, v. 148, p. 1-10, 2016.

TECNOLOGIAS de produção de soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 16).

XIANG, H.; TIAN, L. Method for automatic georeferencing aerial remote sensing (RS) images from an unmanned aerial vehicle (UAV) platform. **Biosystems Engineering**, v. 108, n. 2, p. 104-113, 2011.

YORINORI, J. T.; YORINORI, M. A.; GODOY, C. V. Seleção de cultivares de soja resistentes à ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). In: Reunião de Soja da Região Sul, Anais... Cruz Alta, 2002, p. 94.

YORINORI, J.T.; NUNES JR., J.; GODOY, C.V.; LAZZAROTTO, J.J. Situação da ferrugem "asiática" no Brasil, safra 2003/04. In: Resumos ... REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 26., Ribeirão Preto, 2004. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p.134-135. (Embrapa Soja. Documentos, 234).

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F.; HARTMAN, G.E.; GODOY, C.V.; NUNES JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. *Plant Disease*, v.89, p.675-677, 2005.

ZARCO-TEJADA, P. J.; GUILLÉN-CLIMENT, M. L.; HERNANDEZ-CLEMENTE, R.; CATALINA, A.; GONZÁLEZ, M. R.; MARTÍN, P. Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). ***Agricultural and Forest Meteorology***, v. 171-172, 2013.