**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Sensoriamento remoto para monitoramento de mosca branca, *Bemisia tabaci*
biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja**

Fernando Henrique Iost Filho

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Entomologia

**Piracicaba
2019**

Fernando Henrique Iost Filho
Engenheiro Agrônomo

Sensoriamento remoto para monitoramento de mosca branca, *Bemisia tabaci*
biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **PEDRO TAKAO YAMAMOTO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Entomologia

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Iost Filho, Fernando Henrique

Sensoriamento remoto para monitoramento de mosca branca, *Bemisia tabaci* biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja / Fernando Henrique Iost Filho. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

62 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Estresse hídrico 2. Interação inseto-planta 3. Manejo integrado 4. Grandes culturas I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todos que confiaram em mim nessa jornada e a tornaram possível!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar nessa longa jornada, desde os primeiros passos, até essa conquista.

Ao meu orientador Prof. Pedro Yamamoto, por sempre oferecer as melhores condições de desenvolvimento pessoal e profissional, e pela disponibilidade em todos os momentos.

Ao meu co-orientador Prof. David Rosalen, pela ajuda nos momentos de elaboração do projeto de pesquisa e pela orientação nos assuntos relacionados ao sensoriamento remoto.

Agradeço à minha família, meus pais, minha irmã, meu cunhado e meus sobrinhos, por me apoiar durante todos esses anos, e por me dar forças para subir mais um degrau, além de serem meu ponto de distração e recarga de energia durante esses dois anos.

Agradeço à minha namorada, Ana Clara, por sempre acreditar e confiar em mim, mesmo nos momentos em que tudo na pesquisa se mostrava complicado. Por compartilhar a experiência da pós-graduação comigo e por fazer mais leves meus dias no laboratório, e fora dele. Agradeço também por ser um exemplo e fonte de inspiração na pesquisa, há alguns anos...

Agradeço à Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, especialmente ao Departamento de Entomologia e Acarologia da USP/ESALQ por toda a infraestrutura fornecida.

Aos professores do Departamento de Entomologia e Acarologia da USP/ESALQ, por todo ensinamento e experiência compartilhados.

Aos funcionários do Departamento de Entomologia e Acarologia da USP/ESALQ, pelo apoio e cordialidade sempre que solicitados, em especial à toda ajuda da secretaria, pela Andrea e Marta.

Agradeço à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas de classe e amigos, por tornarem essa jornada mais prazerosa, principalmente nos momentos de descontração.

Agradeço aos que me ajudaram na execução dos ensaios, Ana Clara, Pedro Paulo, Érica, Eduardo (kxola), Daniel (ezmaut), Mateus, Vitor Hugo (Vitão), Michaela, Heric (gueko) e todos os demais. Em especial ao Dr. Pedro Paulo da Silva Barros, que me acompanhou em quase todos ensaios e me auxiliou nas análises estatísticas.

Agradeço à Dra. Nathalie Maluta, por ceder os insetos utilizados nos bioensaios.

Aos meus amigos de infância, que mesmo distantes, se demonstraram otimistas e deram forças para a conclusão desse trabalho.

A todos os integrantes do Laboratório de MIP, Vitor, Gustavo, Cynthia, Gabriel, Ana Clara, Lucas, Inana, Thaís e Mateus pelo convívio, momentos de descontração e ajuda durante esses dois anos.

Agradeço ao meu primeiro orientador, Robson Thomaz Thuler, por ter me introduzido ao fascinante mundo da entomologia, e principalmente, pelos anos de amizade.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. <i>Bemisia tabaci</i>	15
2.2. Preferência e performance de artrópodes em função de estresse no hospedeiro.....	16
2.3. Sensoriamento remoto na agricultura.....	18
2.4. Sensoriamento remoto para monitoramento de pragas.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1. Manutenção de colônias de insetos.....	21
3.2. Efeito do estresse hídrico na escolha do hospedeiro por <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B.....	21
3.3. Efeito do estresse hídrico do hospedeiro na oviposição de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B.....	22
3.4. Efeito do estresse hídrico na reflectância de plantas de soja.....	23
3.5. Efeito da infestação controlada de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B na reflectância de plantas de soja.....	24
3.6. Efeito da infestação não controlada de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B na reflectância de plantas de soja.....	25
3.7. Análises estatísticas.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. Efeito do estresse hídrico na escolha do hospedeiro por <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B.....	27
4.2. Efeito do estresse hídrico do hospedeiro na oviposição de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B.....	28
4.3. Efeito do estresse hídrico na reflectância de plantas de soja.....	30
4.4. Efeito da infestação controlada de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B na reflectância de plantas de soja.....	35
4.5. Efeito da infestação não controlada de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B na reflectância de plantas de soja.....	40
5. CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	49

RESUMO

Sensoriamento remoto para monitoramento de mosca branca, *Bemisia tabaci* biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja

Surtos de pragas em lavouras são imprevisíveis em relação ao local e ao momento. Contudo, um programa manejo integrado de pragas eficiente depende do conhecimento da distribuição dos insetos o mais cedo possível, antes que a população esteja bem estabelecida e atinja o Nível de Dano Econômico. É possível, no entanto, identificar no campo fatores que podem tornar as plantas mais atrativas a esses insetos, como o estresse hídrico. Uma possível maneira de tentar prever os surtos de pragas é pelo diagnóstico da suscetibilidade das plantas às pragas. Nesse sentido, objetivou-se com esse trabalho descrever os padrões de reflectância de plantas de soja estressadas, tanto pela restrição hídrica quanto pela infestação por *Bemisia tabaci* biótipo B. Para tanto, plantas de soja foram cultivadas em casa de vegetação sob diferentes regimes hídricos (30, 50, 70 e 100% de reposição do volume de água perdido diariamente) e oferecidas a adultos de *B. tabaci* biótipo B em ensaios com e sem escolha. Todas plantas utilizadas nos bioensaios foram previamente avaliadas quanto à sua reflectância utilizando o sensor hiperespectral FieldSpec® 3, para posterior classificação nos grupos relativos ao regime hídrico imposto. Após os ensaios de suscetibilidade, foram realizados ensaios para determinar a possibilidade de uso do sensor hiperespectral para classificação de plantas estressadas, tanto pelo estresse hídrico, quanto pela infestação por *B. tabaci* biótipo B, em um esquema fatorial. Os regimes hídricos utilizados foram 70 e 100% de reposição e, ensaios com infestação controlada e não-controlada foram realizados. Nos ensaios de suscetibilidade, foi possível observar que, quando têm escolha, adultos de *B. tabaci* biótipo B depositam mais ovos em plantas cultivadas com 70 e 50% de reposição do volume de água perdida. Já quando os adultos não têm escolha, diferenças estatísticas entre a quantidade de ovos depositados nos regimes testados não foram encontradas. Quanto à classificação das plantas em grupos, pode-se afirmar que o sensor hiperespectral FieldSpec® 3 fornece informação suficiente para tanto. No ensaio de infestação controlada, quatro grupos foram gerados, 70% de reposição do volume de água com infestação, 70% de reposição sem infestação, 100% de reposição com infestação e 100% de reposição sem infestação. A análise discriminante dos dados de reflectância demonstrou que, ao final do ensaio, os quatro grupos são significativamente diferentes. Ainda, com uma validação cruzada, foi possível classificar os respectivos grupos com 73,81% de precisão. No ensaio com infestação não controlada, as plantas infestadas foram classificadas em 3 grupos de acordo com o nível de infestação, baixa, média e alta. Da mesma maneira, a análise discriminante dos dados de reflectância demonstrou que há diferença entre os grupos e, a validação cruzada indicou que é possível classificar o nível de infestação com 91,98% de precisão. Portanto, conclui-se que o sensoriamento remoto hiperespectral pode somar ao manejo integrado de pragas, tanto na avaliação da suscetibilidade das plantas às pragas, quanto na identificação de plantas infestadas e sadias.

Palavras-chave: Estresse hídrico; Interação inseto-planta; Manejo integrado de pragas; Grandes culturas

ABSTRACT

Remote sensing for monitoring whitefly, *Bemisia tabaci* biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) in soybean

Pest outbreaks in commercial fields are unpredictable in relation to location and timing. However, an efficient Integrated Pest Management depends on the knowledge of the distribution of the insects as early as possible, before the population is established and reaches the threshold of Economic Injury. It is possible, however, to identify factors in the field that may make plants more attractive to insects, such as water stress. One possible way to try to predict pest outbreaks is to diagnose the susceptibility of plants to insects. Thus, the objective of this study is to describe the reflectance patterns of soybean plants stressed by either water stress and *Bemisia tabaci* biotype B infestation. Soybean plants were grown in greenhouse under different irrigation regimes (30, 50, 70 and 100% daily water recharge), and offered to *B. tabaci* Biotype B adults in both choice and non-choice bioassays. All the plants used in the bioassays were previously evaluated for their reflectance, using the FieldSpec® 3 hyperspectral sensor, to classify them later in the irrigation groups. After the susceptibility bioassays, new studies were carried out to evaluate the feasibility of using the hyperspectral sensor to classify plants under infestation and water stress, in a factorial scheme. Irrigation regimes were 70 and 100% daily water refill, and tests were performed with controlled and uncontrolled infestation. In the susceptibility tests, it was possible to observe that, when given the options, *B. tabaci* Biotype B adults lay more eggs in plants grown with 70 and 50% daily water refill. When adults have no options, no significant difference was observed between the amount of eggs deposited in all irrigation regimes. Regarding the classification of plants in groups, it is possible to state that the FieldSpec® 3 hyperspectral sensor provides sufficient information for this. In the controlled infestation trial, four distinct groups were generated, 70% water refill + infestation, 100% water refill + infestation, 70% water refill without infestation and 100% water refill without infestation. Discriminant analysis showed that, after the assay, the groups were statistically different. In addition, using a cross-validation, it was possible to classify the groups with 73.81% accuracy. In the test with uncontrolled infestation, three groups were generated, according to the level of infestation: low, medium and high. Likewise, the Discriminant analysis showed that there is a significant difference between the groups, and cross validation indicated that it is possible to classify the level of infestation with 91.98% accuracy. Therefore, it is possible to conclude that hyperspectral remote sensing may be an additive tool for Integrated Pest Management, both to evaluate the susceptibility of plants to pests and to identify healthy and infested plants.

Keywords: Water stress; Plant-insect interaction; Integrated pest management; Field crops

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sensor hiperespectral FieldSpec® 3 (Analytical Spectral Devices–ASD, Boulder, CO, EUA).....	24
Figura 2. Preferência para oviposição de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B em função do manejo hídrico de plantas de soja.....	27
Figura 3. Oviposição de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B em função do manejo hídrico de plantas de soja.....	29
Figura 4. Comportamento espectral foliar de plantas de soja utilizadas no ensaio de preferência para oviposição de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B, em função do manejo hídrico, um dia antes do início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento..	31
Figura 5. Comportamento espectral foliar de plantas de soja utilizadas no ensaio de preferência para oviposição de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B em função do manejo hídrico, cinco dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento..	32
Figura 6. Comportamento espectral foliar de plantas de soja utilizadas no ensaio de preferência para oviposição de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B em função do manejo hídrico, dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento..	33
Figura 7. Distribuição dos centroides dos dados de reflectância (400-2500 nm) foliar de plantas de soja utilizadas no ensaio de preferência para oviposição de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B em função do manejo hídrico, dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento..	34
Figura 8. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função de infestação por ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B e manejo hídrico, um dia antes do início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento..	36
Figura 9. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função de infestação por ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B e manejo hídrico, cinco dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento..	37
Figura 10. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função de infestação por ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B e manejo hídrico, dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento..	38
Figura 11. Distribuição dos centroides dos dados de reflectância (400-2500 nm) foliar de plantas de soja em função de infestação por ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B e manejo hídrico, dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento..	39
Figura 12. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função de níveis de infestação por ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B. Níveis de infestação: Baixa < 50 ninfas por planta; Média 51-100 ninfas por planta; Alta > 101 ninfas por planta..	41
Figura 13. Distribuição dos centroides dos dados de reflectância (400-2500 nm) de plantas de soja infestadas por ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B em diferentes classes de infestação: Baixa < 50 ninfas por planta; Média 51-100 ninfas por planta; Alta > 101 ninfas por planta.....	42
Figura 14. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função de níveis de infestação por ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B, em parte da região visível da luz (450-650 nm). Níveis de infestação: Baixa < 50 ninfas por planta; Média 51-100 ninfas por planta; Alta > 101 ninfas por planta..	43
Figura 15. Número de observações de amostras em cada classe de infestação de ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B por planta. 1Baixa < 50 ninfas por planta; Média 51-100 ninfas por planta; Alta > 101 ninfas por planta..	44
Figura 16. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função do manejo hídrico, dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento, com todas plantas infestadas por <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B, em diferentes graus de infestação...	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Matriz de confusão para validação cruzada dos resultados de classificação em classes de infestação por *Bemisia tabaci* biótipo B e manejo hídrico em função do comportamento espectral foliar de plantas de soja..... 39

Tabela 2. Matriz de confusão para validação cruzada dos resultados de classificação em classes de infestação em função do comportamento espectral da planta de soja infestada por ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B.... 44

1. INTRODUÇÃO

Bemisia tabaci (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) biótipo B, atualmente conhecida por Middle East–Asia Minor 1 (MEAM-1) (DE BARRO *et al.*, 2011), é um inseto polífago, que causa danos diretos e indiretos às plantas durante a alimentação pelas ninfas e adultos no floema, além da injeção de toxinas que podem causar alterações no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas (BALDIN *et al.*, 2017). A soma desses danos em diferentes culturas no Brasil causou perdas estimadas em U\$ 714 mi no ano de 2013 (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Bemisia tabaci é um potencial vetor de vírus, que podem retardar o desenvolvimento de plantas ou até mesmo levá-las à morte. Além disso, pode ocorrer a formação de fumagina na superfície foliar, que reduz a atividade fotossintética da planta, prejudicando seu desenvolvimento.

Por tratar-se de um inseto vetor, o monitoramento precoce da praga é essencial para a implementação de táticas de controle efetivas. Para isso, é imprescindível a implementação de um programa adequado de manejo integrado de pragas (MIP) no controle da mosca-branca. Por ser de extrema importância o conhecimento de dados básicos em relação à sua presença e seus danos, que são traduzidos como nível de ação e nível de dano econômico.

O nível populacional de *B. tabaci* em plantas de soja capaz de iniciar uma redução da taxa fotossintética, independentemente do aparecimento da fumagina, ainda não é conhecido e, é um dos desafios para a pesquisa, no momento. Destaca-se, portanto, a importância do estabelecimento e calibração de técnicas de monitoramento da infestação dessa praga, de maneira precoce.

O monitoramento tradicional de lavouras demanda muito tempo e recursos financeiros (HODGSON *et al.*, 2004). Assim, um dos maiores estímulos à implementação de técnicas de sensoriamento remoto na agricultura, especialmente combinadas à tecnologia de veículos aéreos não-tripulados (VANT), é o tempo potencialmente economizado pela automação do monitoramento da lavoura (CARRIÈRE *et al.*, 2006; BACKOULOU *et al.*, 2011).

A aquisição de dados de sensoriamento remoto é baseada principalmente em sensores multiespectrais e hiperespectrais, os quais diferem basicamente pelo número de bandas, sendo 3-20 e não contíguas em sensores multiespectrais e, acima de 20 bandas e contíguas em sensores hiperespectrais (MOREIRA, 2012).

Ressalta-se que ambas tecnologias se mostraram eficientes na detecção de infestações e/ou danos causados por pragas.

Nesse contexto, o uso de técnicas não destrutivas para detecção de estresses nos estágios iniciais de seu desenvolvimento é muito promissor nos cenários de manejo integrado de pragas e doenças em culturas de importância comercial (DELALIEUX *et al.*, 2007). Além disso, a tecnologia de sensoriamento remoto aplicada na detecção de focos de pragas tem muito a contribuir com a agropecuária brasileira, visto que os gastos com inseticidas compõem uma parte significativa nos custos de produção agrícola. De maneira ainda mais inovadora, busca-se por intermédio desse trabalho descrever padrões de comportamento espectral da cultura da soja, sob situações de estresse hídrico e por infestação de mosca-branca, de maneira a detectar tal infestação o mais breve possível. Acredita-se que com a difusão dessa tecnologia, em escala comercial e em médio prazo, a agricultura brasileira tornar-se-á ainda mais competitiva mundialmente.

O conhecimento da preferência e performance de artrópodes nos hospedeiros cultivados, e a relação entre eles é fundamental para o entendimento da dinâmica de populações de pragas (PRICE, 2003). De maneira especial, entender a dinâmica das populações de pragas em plantas com estresse hídrico deve ser um interesse dos praticantes do MIP.

É imprescindível considerar que a agricultura será executada em um ambiente de produção com cada vez menos acerto na previsão de fenômenos meteorológicos e, possibilidade de ocorrência de períodos áridos em áreas mais extensas no futuro (DAI, 2011). Analisando as relações existentes entre estresse abiótico e surtos de pragas, torna-se extremamente necessário o desenvolvimento de técnicas de monitoramento da suscetibilidade de plantas cultivadas às pragas.

Objetivou-se, portanto, a descrição dos padrões de reflectância de plantas de soja estressadas, seja pelo estresse abiótico relativo à restrição hídrica, seja pelo estresse biótico relativo à infestação.

Desse modo, busca-se estabelecer uma correlação entre os níveis de estresse hídrico e a infestação por mosca-branca e, posteriormente, correlacionar ambos estresses com o padrão de reflectância da planta, a fim de, no futuro, poder utilizar esses dados no manejo integrado dessa praga.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. *Bemisia tabaci*

No Brasil, os primeiros surtos de mosca branca, *Bemisia tabaci* biótipo B em soja foram detectados em janeiro de 1996, no norte do Estado do Paraná e no município de Pedrinhas no Estado de São Paulo, provocando perdas entre 30 e 80%. Na safra de soja de 1997/98, danos de até 100% foram relatados no município de Miguelópolis, no norte do estado de São Paulo (LOURENÇÃO *et al.*, 1999). A ocorrência da praga se espalhou para diversas regiões produtoras de soja, como é o caso do oeste da Bahia, onde ocorreu aumento considerável das aplicações de inseticidas para seu controle, principalmente nos anos de 2004, 2005 e 2006 (TAMAI *et al.*, 2006). Na última década, infestações vêm ocorrendo na região Centro-Oeste, causando danos expressivos à cultura da soja (DEGRANDE e VIVAN, 2010).

Em plantas de soja, *B. tabaci* é transmissora do vírus da “necrose-da-haste”, do grupo dos carlavírus (ALMEIDA *et al.*, 2002). Plantas infectadas com esse vírus têm a haste necrosada, que, com a evolução dos sintomas, pode levar a planta à morte. Além disso, *B. tabaci* tem se destacado como um importante vetor do geminivírus (NAVAS-CASTILLO *et al.*, 2011; POLSTON *et al.*, 2014).

Ao se alimentarem continuamente, esses insetos excretam o “honeydew”, que é uma substância açucarada, favorecendo a formação de fumagina na superfície das folhas, causada pelo fungo *Capnodium* sp. As folhas passam a apresentar coloração preta, podendo ser queimadas pela radiação solar, além de não captarem os raios solares, reduzindo a taxa fotossintética das plantas (NARANJO e LEGG, 2010).

Do mesmo modo, as injúrias causadas pela sua alimentação podem gerar clorose nas folhas das plantas atacadas, sendo também capaz de reduzir a fotossíntese das plantas hospedeiras (HOELMER *et al.*, 1991; BUNTIN *et al.*, 1993; YEE *et al.*, 1996; LIN *et al.*, 1999a, 1999b); destaca-se que essa mesma situação também foi demonstrada para ácaros (WELTER, 1991). Outro dano decorrente da infestação de *B. tabaci* ocorre quando em altos níveis de infestação a mosca branca causa elevado estresse nas plantas, pela extração de grandes volumes de seiva, provocando a desfolha precoce da planta e prejudicando o desenvolvimento e a produtividade das lavouras (TAMAI *et al.*, 2006).

Dentre as alternativas para controle de *B. tabaci*, o controle químico é o principal método utilizado. No entanto, esse método pode selecionar indivíduos resistentes e causar desbalanços ambientais (PRABHAKER *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2009). Considerando-se esse fato, torna-se necessário avaliar alternativas de controle mais sustentáveis, alinhadas ao manejo integrado de pragas (MIP), reduzindo o uso abusivo de inseticidas (BALDIN *et al.*, 2017).

Uma das bases para o estabelecimento de programas de MIP é o monitoramento da praga, visando a implementação das táticas de controle somente no momento em que se façam necessárias. Para tanto, é necessário que protocolos de monitoramento e a correlação com os níveis de ação sejam definidos.

O nível de infestação de *B. tabaci* em plantas de soja capaz de causar danos econômicos ainda não é conhecido. Também, não há uma distinção clara entre os efeitos diretos da injúria do inseto e indiretos, causados pela presença da fumagina. Contudo, Bueno *et al.* (2005) demonstraram que 79 adultos por planta de soja no período vegetativo V2 não foram suficientes para reduzir a capacidade fotossintética da planta 3 dias após a infestação.

2.2. Preferência e performance de artrópodes em função de estresse no hospedeiro

O hospedeiro deve ser visto como fornecedor de alguns recursos essenciais para o desenvolvimento do inseto, como: substrato para alimentação, local de cópula, substrato para oviposição e refúgio (PROKOPY e OWENS, 1983). Na busca pelos melhores hospedeiros, as fêmeas adultas devem, em teoria, ovipositar em plantas que garantam melhores condições de desenvolvimento de sua prole (AWMACK e LEATHER, 2002), especialmente no caso de insetos que possuem baixa mobilidade nos estágios iniciais de desenvolvimento e, portanto, não são capazes de procurar hospedeiros mais adequados (THOMPSON e PELLMYR, 1991; ZALUCKI *et al.*, 2002). A teoria que explica a correlação entre a preferência de oviposição do adulto e a performance no desenvolvimento da prole foi proposta por Jaenike (1978).

Nas últimas décadas, relatos de que o estresse hídrico em plantas é um dos principais fatores para surtos de pragas têm sido reportados (WHITE, 1969; MATTSON e HAACK, 1987). White (1969) formulou a hipótese denominada “plant-

stress hypothesis (PSH)”, que correlaciona surtos de pragas com alterações na fisiologia vegetal, especialmente na disponibilidade de nitrogênio, durante períodos de seca prolongada.

Alterações fisiológicas em plantas devido à restrição hídrica podem gerar respostas distintas por parte dos artrópodes. É possível encontrar na literatura exemplos de insetos fitófagos que preferem se alimentar em plantas com certos níveis de estresse hídrico (MODY *et al.*, 2009) e, exemplos de insetos que evitam se alimentar em plantas com a mesma condição (ARCHER *et al.*, 1995). A resposta encontrada pode ser positiva para o artrópode, causando uma melhor performance, em função do possível aumento na concentração de nitrogênio foliar (MODY *et al.*, 2009). Pode também ser negativa, causando uma piora na performance, devido à redução no potencial hídrico e conteúdo de água (ARCHER *et al.*, 1995). Pulgões, por exemplo, necessitam alto potencial hídrico para se alimentarem nas células do floema de forma eficiente (GUERRIERI e DIGILIO, 2008), enquanto artrópodes mastigadores precisam de maior conteúdo de água na planta para maior eficiência na assimilação de proteínas (HUBERTY e DENNO, 2004).

Dando destaque ao aumento da performance da praga em plantas sob estresse hídrico, ressalta-se que o conteúdo de nitrogênio foliar não é o único responsável (SCONIERS e EUBANKS, 2017). Plantas sob estresse hídrico acumulam compostos relacionados ao estresse, como enzimas antioxidantes, aminoácidos e carboidratos que mitigam os efeitos negativos do estresse (SHOWLER, 2002; JITHESH *et al.*, 2006). Os aminoácidos e carboidratos são nutritivos para artrópodes que se alimentam nas plantas estressadas, portanto, essa é mais uma explicação para os surtos de pragas em plantas sob estresse hídrico.

No entanto, a correlação entre os níveis de compostos relacionados ao estresse e a intensidade do estresse não é linear, de maneira que a concentração dos compostos pode tanto aumentar quanto diminuir em função do aumento do estresse (GUTBRODT *et al.*, 2011; GUTBRODT *et al.*, 2012). Dessa forma, é necessário estudar e entender cada cenário da relação entre estresse hídrico e surto de pragas, considerando vários fatores como a espécie vegetal, as condições de cultivo, a espécie de artrópode, ou ainda de artrópodes, e a intensidade do estresse.

Dentre as possíveis maneiras de estudar os estresses que acometem as plantas cultivadas e, suas interações, destaca-se o sensoriamento remoto.

2.3. Sensoriamento remoto na agricultura

O termo sensoriamento remoto foi utilizado inicialmente na década de 1950, pelo departamento americano de pesquisa naval e, atualmente é comumente usado para descrever a ciência que identifica, observa e mede objetos sem entrar em contato direto com os mesmos (NASA, 2017). Quando alguma energia eletromagnética incide em qualquer superfície, três possíveis reações com essa superfície são possíveis: reflexão, absorção ou transmissão (LILLESAND *et al.*, 2004). Portanto, técnicas de sensoriamento remoto identificam e categorizam objetos distantes pela detecção e mensuração da radiação em diferentes comprimentos de ondas refletidas ou transmitidas desses objetos.

Entre as possíveis contribuições do sensoriamento remoto para agricultura, apontadas por Formaggio e Sanches (2017), podem-se citar: estimativas de biomassa e produtividade, mapeamento de desenvolvimento fenológico das culturas e identificação de padrões de plantio e consequentemente, de falhas. Além dessas, destacam-se, particularmente no contexto do presente trabalho, as avaliações de eventos climáticos sobre a produção agrícola e o mapeamento de distúrbios e estresses.

Essa tecnologia já demonstrou sua importância em detectar e quantificar estresses à vegetação (ADAMS *et al.*, 1999). Tal detecção baseia-se na suposição que fatores de estresse interferem na fotossíntese ou estruturas físicas das plantas e afetam a absorção de energia luminosa, alterando assim o espectro de reflectância das plantas (MORAN *et al.*, 1997). Portanto, ao se mensurar o espectro de reflectância de plantas, pode-se aferir o status sanitário das mesmas.

Muitos pesquisadores já reportaram que plantas sob estresse apresentam uma diminuição na reflectância do dossel nas porções inferiores da banda infravermelho-próxima (750-1300 nm), uma redução na absorção de vermelho na banda de clorofila ativa (680 nm), e uma consequente mudança no vermelho de borda (CARTER, 1993, MALTHUS e MADEIRA, 1993, FERNANDEZ *et al.*, 1994).

A tecnologia de sensoriamento remoto também pode ser utilizada na predição de estresse hídrico na vegetação, com aplicações para conservação, agricultura e floresta (GOVENDER *et al.*, 2009). Na agricultura, essa predição é empregada com diversos fins, entre eles manejo de irrigação e monitoramento de seca, com finalidade de estudar a produtividade de lavouras agrícolas (PEÑUELAS *et al.*, 1994)

ou à suscetibilidade de florestas a incêndios, por exemplo (CARLSON e BURGAN, 2003; CHUVIECO *et al.*, 2004).

2.4. Sensoriamento remoto para monitoramento de pragas

A utilização do sensoriamento remoto no monitoramento de pragas foi demonstrada por Elliott *et al.* (2007), que diferenciaram níveis variáveis de injúrias causadas pelo pulgão *Diuraphis noxia* (Kurdjumov) (Hemiptera: Aphididae) em trigo utilizando um sistema baseado em 3 bandas (verde, vermelho e infravermelho-próximo). Do mesmo modo, o sensoriamento remoto com imagens hiperespectrais já demonstrou sua utilidade no campo da entomologia, ao ser utilizado com sucesso para diferenciar espécies de parasitoides, com o uso de imagens dos ovos parasitados (NANSEN, 2014).

Alguns estudos demonstraram que essa técnica pode ser utilizada para a detecção do dano do gorgulho *Bruchus pisorum* (L.) (Coleoptera: Chrysomelidae) em ervilhas, de vários coleópteros em trigo e do ácaro-vermelho *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae) em milho (SINGH *et al.*, 2010; NANSEN *et al.*, 2013). Kumar *et al.* (2010) constataram que a reflectância do dossel de plantas de mostarda infestadas com pulgão apresenta diferença significativa na região espectral próxima ao infravermelho, em relação à reflectância do dossel de plantas não-infestadas. Esses autores demonstraram que as bandas espectrais mais significantes para avaliar infestações de pulgões em mostarda foram encontradas nas regiões espectrais em torno do verde (550-560 nm) e do vermelho/infravermelho próximo (700-1250 e 1950-2450 nm).

A utilização de dados hiperespectrais pode ser considerada uma ferramenta poderosa na coleta de dados devido à sua capacidade de receber um amplo espectro de luz, partindo do ultra-violeta ao infra-vermelho, além do alto poder de discriminação entre os comprimentos de luz.

Entretanto, características espectrais e sintomas de danos necessitam ser apropriadamente correlacionados com base em valores de referência coletados em campo, antes do desenvolvimento de cenários de manejo de pragas (YANG e CHENG, 2001). É, portanto, imperativo desenvolver e diferenciar comportamentos espectrais relacionadas a estresses bióticos e abióticos para facilitar a rápida detecção destes através de técnicas de sensoriamento remoto (YANG *et al.*, 2001).

A simplificação dos dados de reflectância facilita as análises das respostas coletadas nas plantas e, o uso de índices vegetativos é um exemplo de processamento desses dados. Um índice vegetativo pode ser definido como uma medição adimensional da radiação, calculado através da combinação de dados obtidos através de sensoriamento remoto (PRABHAKAR *et al.*, 2012). Tais índices geram uma redução na dimensionalidade dos dados, intensificam a sensibilidade a sinais espectrais de vegetação verde, superam as limitações de simples combinações das bandas através da minimização de sinais exteriores, como solo ou interferência ambiental e, com isso, se correlacionam mais precisamente com constituintes bioquímicos dos vegetais (ZHAO *et al.*, 2005; DELAIEUX *et al.*, 2009).

Além do uso de índices de vegetação, informações específicas de uma ou algumas bandas podem ser melhores indicativos de estresses vegetais. Por exemplo, valores de reflectância nas bandas 731 nm e 715 nm foram indicativos de estresse causado por ácaros (Acari: Tetranychidae) em milho (NANSEN, 2012) e, valores de reflectância nas bandas 550 nm, 560 nm, 680 nm e 740 nm foram importantes para detectar infestações de ácaros em algodão, assim como a efetividade dos acaricidas (LAN *et al.*, 2013).

Apesar dos importantes desafios, tecnologias de sensoriamento remoto terão importância ainda maior no manejo de sistemas agrícolas num futuro próximo, à exemplo do caso reportado por Zhang *et al.* (2014), em que o manejo da cultura do trigo baseado no sensoriamento remoto está sendo adotado com sucesso para detectar infestações de insetos, como a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Manutenção de colônias de insetos

A população inicial de *Bemisia tabaci* biótipo B foi obtida de uma colônia do Instituto Agronômico (IAC), em Campinas-SP, previamente identificada como biótipo B (FONTES *et al.*, 2010, 2012; VALLE *et al.*, 2013). A manutenção da colônia foi realizada seguindo a metodologia adaptada de Maluta (2013). Adultos foram mantidos em estufa cercada com tela anti-afídica contendo plantas de couve (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* cv. Manteiga) cultivadas em vasos plásticos contendo substrato. As plantas foram irrigadas diariamente e renovadas no período de 2-3 semanas.

3.2. Efeito do estresse hídrico na escolha do hospedeiro por *Bemisia tabaci* biótipo B

Para verificar o efeito do estresse hídrico em plantas de soja no comportamento de preferência de hospedeiro de *Bemisia tabaci* biótipo B, um experimento baseado no peso dos vasos contendo as plantas de soja foi realizado, segundo a metodologia proposta por Tomaseto (2017).

Sementes de soja da variedade convencional BRS232 foram semeadas em vasos cilíndricos de plástico (10 L), contendo terra fina seca ao ar como substrato, para melhor representar as condições de campo. Uma adubação inicial foi realizada, com fertilizante para plantio NPK, da formulação 08:28:16. Após essa adubação inicial, o mesmo substrato foi utilizado para os demais experimentos, sem que fossem realizadas novas adubações. Em cada vaso, 3 plantas de soja foram mantidas.

Aproximadamente 20 dias após a emergência, quando as plantas atingiram o estágio fenológico V2-V3 (FEHR e CAVINESS, 1977), essas foram submetidas a quatro regimes de reposição hídrica: 100, 70, 50 e 30% do volume de água perdido nas plantas do controle, com base no peso dos vasos medido diariamente. Para tanto, o peso dos sessenta vasos utilizados foi padronizado e, posteriormente, os vasos foram irrigados no final da tarde. Assumindo que o consumo de água pelas

plantas em período noturno é praticamente nulo, na manhã seguinte, 15 vasos foram escolhidos aleatoriamente e pesados novamente, para determinação do peso médio do vaso na capacidade de campo. Diariamente, a pesagem desses mesmos 15 vasos foi realizada e o consumo de água calculado, sendo posteriormente repostos 100, 70, 50 e 30% do volume de água nos demais vasos, de acordo com os diferentes regimes. Essas reposições foram realizadas por dez dias e, após esse período os ensaios de escolha do hospedeiro de *B. tabaci* foram realizados. O período de dez dias foi escolhido pois em ensaios preliminares foi possível observar que períodos mais curtos resultavam em plantas com pouca diferenciação e, períodos mais longos causavam a morte das plantas.

Para o ensaio de escolha de hospedeiro para oviposição, 100 adultos não separados por sexo de mosca-branca foram coletados na casa-de-vegetação com o auxílio de um sugador e mantidos em um tubo de ensaio, quando então foram liberados em uma gaiola de observação (45 cm de altura × 45 cm de largura × 50 cm de comprimento) contendo uma planta de cada regime hídrico. As plantas foram dispostas no interior da gaiola de maneira equidistante. As gaiolas foram mantidas em sala com temperatura ambiente, com fotofase de 14 h. Após 24 h, os adultos foram descartados e, o número de ovos em todos os folíolos de cada planta foi avaliado.

O ensaio foi realizado seguindo um delineamento em blocos casualizados, sendo realizadas 3 réplicas no tempo, em 16/04/2018, 12/05/2018 e 28/05/2018, com 8 repetições em cada réplica.

3.3. Efeito do estresse hídrico do hospedeiro na oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B

Para a realização desse ensaio, a mesma metodologia de indução de estresse hídrico descrita anteriormente foi realizada.

Para avaliar a oviposição de *B. tabaci* em hospedeiro submetido a estresse hídrico, 10 pares de adultos de *B. tabaci* foram coletados na casa-de-vegetação com o auxílio de um sugador e mantidos em um tubo de ensaio, quando então foram liberados em uma gaiola individual de formato cilíndrico (120 cm de altura × 25 centímetros de diâmetro) contendo uma planta dos diferentes tratamentos, de maneira que não houve possibilidade de escolha de hospedeiro. Padronizou-se

utilizar 10 pares de adultos pois os pares são geralmente associados a casais. Após 48 h, os adultos foram descartados e, o número de ovos em todos folíolos de cada planta foi avaliado.

O ensaio foi realizado seguindo um delineamento em blocos casualizados. O primeiro ensaio foi realizado em 25/06/18 contendo com 10 repetições de cada um dos 4 tratamentos. O segundo ensaio, realizado em 14/08/18, contou com 15 repetições dos 4 tratamentos.

3.4. Efeito do estresse hídrico na reflectância de plantas de soja

Para avaliar o efeito do estresse hídrico na reflectância de plantas de soja, as mesmas plantas utilizadas nos experimentos descritos anteriormente foram monitoradas durante os dez dias em que o estresse hídrico foi imposto a elas. Aos 0, 5 e 10 dias, dados da reflectância foliar foram coletados, utilizando-se o sensor hiperespectral FieldSpec[®] 3 (Analytical Spectral Devices–ASD, Boulder, CO, EUA) (Figura 1), sensível à região espectral de 350 a 2500 nm, com resolução espectral de 1,4 nm de 350 a 1050 nm e 2 nm de 1050 a 2500 nm. A leitura foi realizada com o acessório ASD Leaf Clip, projetado para medições espectrais de modo não destrutivo, sem interferência na leitura por luminosidade externa. Esse acessório, conectado ao espectrorradiômetro por um cabo de fibra óptica, cria uma câmara no ponto de leitura da folha, isolando-a de fontes de energia externa para que o sensor trabalhe apenas com a sua própria fonte de luz, garantindo a qualidade dos dados, além de manter constante a distância entre o sensor e o alvo.

A reflectância é expressa como fator de reflectância, calculado em relação à reflectância de superfície de calibração de branco padronizada. A superfície de calibração utilizada como referência foi uma placa de Sulfato de Bário, que reflete 100% do feixe de luz.

Para avaliação do comportamento espectral, uma planta de cada vaso foi marcada e seu folíolo central do segundo trifólio do ápice foi amostrado em todas observações,

Figura 1. Sensor hiperespectral FieldSpec® 3 (Analytical Spectral Devices–ASD, Boulder, CO, EUA). Fonte: O autor.

3.5. Efeito da infestação controlada de *Bemisia tabaci* biótipo B na reflectância de plantas de soja

Para avaliar o efeito do estresse biótico (infestação controlada de *B. tabaci*) na reflectância de plantas de soja, um ensaio em esquema fatorial entre infestação e estresse hídrico (estresse abiótico) foi realizado. Os tratamentos foram: 1) 100% de reposição hídrica + plantas não infestadas; 2) 100% de reposição hídrica + plantas infestadas; 3) 70% de reposição hídrica + plantas não infestadas; e 4) 70% de reposição hídrica + plantas infestadas.

Para se obter plantas infestadas, aproximadamente 10 dias após as plantas emergirem, metade dos vasos foram acomodados em gaiolas individuais com 20 casais de *B. tabaci* por 24 h. Após esse período, todos insetos foram retirados e as plantas foram levadas de volta à estufa. Após 10 dias, o ensaio com diferentes regimes de reposição hídrica teve início, seguindo a mesma metodologia descrita anteriormente.

Aos 0, 5 e 10 dias após o início do ensaio, os dados da reflectância foliar foram coletados, com o aparelho descrito anteriormente.

Ao final do período de 10 dias, o número de ninfas foi analisado em todas as plantas, quantificando o número presente em cada folíolo.

O ensaio foi realizado seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com 15 repetições de cada tratamento (n= 60).

3.6. Efeito da infestação não controlada de *Bemisia tabaci* biótipo B na reflectância de plantas de soja

Para avaliar o efeito do estresse biótico pela infestação não controlada de *B. tabaci* na reflectância de plantas de soja, um ensaio foi realizado de modo a verificar também o efeito do estresse hídrico nas plantas. Desse modo, os tratamentos foram 100 e 70% de reposição hídrica e, todos os vasos foram mantidos em uma casa de vegetação previamente infestada, sem controle da infestação. As plantas foram mantidas na casa de vegetação por aproximadamente 30 dias após a emergência das plantas, sendo que, nos últimos 10 dias, foram submetidas aos dois regimes de reposição hídrico previamente descritos.

Aos 0, 5 e 10 dias após o início da imposição dos dois regimes hídricos, os dados da reflectância foliar foram coletados, com os aparelhos descritos anteriormente.

Ao final desse período, o número de ninfas foi analisado, em todas as plantas, quantificando o número presente em cada folíolo.

O ensaio foi realizado seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com 30 repetições de cada tratamento (n= 60).

3.7. Análises estatísticas

Nos ensaios de preferência e oviposição, os dados de contagem de ovos foram submetidos à análise de normalidade de Bartlett e Shapiro-Wilk e ao teste não-paramétrico Kruskal-Wallis. Do mesmo modo, nos ensaios em esquema fatorial, os dados de contagem de ninfas foram submetidos a esses testes.

Os dados de reflectância foram submetidos à análise Discriminante, e as médias de reflectância dos respectivos tratamentos foram comparados segundo o teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Para os ensaios em esquema fatorial, os dados foram submetidos a predições durante a análise Discriminante, gerando uma Matriz de Confusão e os valores de precisão da predição.

As análises foram realizadas no software R Studio v. 1.1.456 e na extensão XLSTAT, dentro do programa Microsoft Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito do estresse hídrico na escolha do hospedeiro por *Bemisia tabaci* biótipo B

A variação na reposição hídrica por dez dias em plantas de soja, iniciada aos 28 dias após a semeadura, causou poucas diferenças visíveis nas plantas, no entanto, tais efeitos foram perceptíveis para fêmeas de *B. tabaci*. Plantas submetidas a 70% de reposição hídrica apresentaram maior número de ovos (61,21) na avaliação após 24 h, sendo estatisticamente igual a plantas com 50% de reposição hídrica (39,75). Tais valores foram superiores aos encontrados em plantas com 100% de reposição hídrica (29,66) e 30% de reposição hídrica (16,25) (Figura 2). A análise de variância não indicou diferença entre os blocos (réplicas no tempo) e indicou diferença entre os tratamentos (Figura 2).

Figura 2. Preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B em função do manejo hídrico de plantas de soja. ¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney ($P \leq 0,05$).

Esse resultado se assemelha ao obtido por Helmberger *et al.* (2016). Nesse trabalho, plantas de *Solidago altissima*, uma planta comum em ambientes não cultivados na América do Norte e hospedeiro alternativo do percevejo-de-renda, *Corythucha marmorata* (Uhler) (Hemiptera: Tingidae), foram cultivadas em condições de alta e baixa disponibilidade hídrica e, foi observada uma tendência de preferência para plantas com menor disponibilidade hídrica.

Flint *et al.* (1996) e Bestete *et al.* (2016), ao analisar o efeito do estresse hídrico em plantas de algodão, *Gossypium hirsutum*, obtiveram resultados semelhantes ao presente estudo, sendo que fêmeas de *B. tabaci* depositaram mais ovos em plantas com menores níveis de reposição hídrica.

Esses resultados corroboram a hipótese da planta estressada (WHITE, 1969), pois insetos, principalmente sugadores, apresentam preferência por plantas sob estresse hídrico para se alimentar e depositar seus ovos. Tal preferência pode ocorrer em função das melhores condições de desenvolvimento da prole oferecidas por tais plantas.

Assim como no caso da soja, plantas de algodão apresentam alterações na coloração e concentração de nutrientes, metabólitos secundários e, evidentemente, água, quando passam por situações de estresse hídrico (BESTETE *et al.*, 2017). No início dos regimes de estresse hídrico, essas alterações já ocorrem e são imperceptíveis ao olho humano. Além disso, essas alterações são conhecidas por causarem mudança no processo de exploração do hospedeiro pelos artrópodes herbívoros (MATTSON e HAACK, 1987; INBAR *et al.*, 2001). Portanto, um dos motivos da utilização do sensor hiperespectral no presente estudo foi a possibilidade de detectar alterações mensuráveis e distinguíveis nas plantas dos diferentes tratamentos, antes de tais alterações serem perceptíveis a olho nu.

4.2. Efeito do estresse hídrico na oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B

Assim como no ensaio de preferência, a variação na reposição hídrica por dez dias não causou alterações visíveis na planta de soja. O desempenho reprodutivo de fêmeas de mosca-branca não foi afetado pela reposição hídrica do hospedeiro, pois não foi observada diferença estatística entre os tratamentos. Apesar de não ser significativamente diferente, um maior número de ovos foi encontrado em plantas

com 100% de reposição hídrica. A análise de variância indicou haver diferença nos blocos (réplicas no tempo) e não haver diferença entre os tratamentos (Figura 3).

Figura 3. Oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B em função do manejo hídrico de plantas de soja.

No estudo realizado por Tariaq *et al.* (2013), constatou-se que o pulgão *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) apresentou melhor performance reprodutiva em plantas de couve-de-bruxelas, *Brassica oleracea* var. gemnifera, submetidas a regimes intermediários de reposição hídrica, classificado pelos autores como médio estresse.

O mesmo resultado foi observado no trabalho descrito anteriormente (HELMBERGER *et al.*, 2016), em que adultos de *C. marmorata* demonstraram preferência por ovipositar em plantas com menor disponibilidade hídrica, no entanto a performance reprodutiva não apresentou diferença quando os adultos não tinham opções para escolha.

A falta de diferença significativa pode estar relacionada a outros fatores, que não a disponibilidade hídrica das plantas. A grande diferença climática entre os meses em que os ensaios foram conduzidos pode ter contribuído para a grande variação nas respostas encontradas e, conseqüente falta de diferença significativa. Uma vez que as plantas foram cultivadas em casas de vegetação sem manipulação das condições ambientais e, sem monitoramento das mesmas, não é possível dizer

com certeza se esse é realmente um fator impactante na resposta. Além das alterações ambientais, nos respectivos ensaios foram utilizadas diferentes gerações do inseto proveniente da população estoque e, é fato conhecido entre os pesquisadores que mantêm colônias de *B. tabaci*, que ocorre uma queda no vigor dos insetos nos meses mais frios e secos do ano.

É possível ocorrer variações na performance reprodutiva e biológica dos artrópodes em plantas estressadas em função dos compostos de estresse produzidos pela planta e os benefícios nutricionais desses compostos a esses herbívoros. Como demonstrado anteriormente, o estresse hídrico resulta no aumento da concentração desses compostos, nutritivos aos artrópodes, e, posteriormente, promove uma melhor performance reprodutiva desses. Por melhor performance reprodutiva, pode-se entender maior número de descendentes e maior viabilidade em cada fase de vida. No entanto, a produção desses compostos diminui com o aumento da severidade do estresse (GHANNOUM, 2008; ANJUM *et al.*, 2011), o que pode explicar a variação de resposta da oviposição de mosca branca em plantas de soja com estresse hídrico, observada no presente estudo.

Bestete *et al.* (2017) observaram que plantas de algodão cultivadas com menores níveis de reposição hídrica apresentaram maior preferência para oviposição e, também forneceram melhores condições para o desenvolvimento de ninfas de *B. tabaci*.

Existe, portanto, uma grande variabilidade nas repostas experimentais encontradas em estudos que confrontam estresse hídrico e surtos de pragas. Uma característica desses experimentos, e do presente trabalho, é o estresse hídrico contínuo. Contudo, as condições que melhor representam as situações naturais são as secas intermitentes. Além de ser mais representativo do natural, as condições de seca intermitentes permitem o retorno da turgescência vegetal, possibilitando que insetos que se alimentam do floema se beneficiem de tal estresse (HUBERTY e DENNO, 2004). Por consequência, esse é um fator que pode ser alterado em estudos futuros.

4.3. Efeito do estresse hídrico na reflectância de plantas de soja

Para avaliar o efeito do estresse hídrico na reflectância de soja, os dados foram coletados nas plantas utilizadas nos ensaios anteriormente descritos como

escolha do hospedeiro e oviposição de *B. tabaci*. Dessa maneira, foram apresentados os dados obtidos das plantas utilizadas no ensaio de escolha do hospedeiro, pois apresentam a mesma tendência em relação aos dados das plantas utilizadas no ensaio de oviposição.

As médias das curvas relativas ao comportamento espectral das plantas de soja em função do manejo hídrico apresentam pouca diferença, um dia antes do início da imposição dos diferentes regimes de reposição hídrica (Figura 4).

Figura 4. Comportamento espectral foliar de plantas de soja utilizadas no ensaio de preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B, em função do manejo hídrico, um dia antes do início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento.

Apesar da pouca diferença visual nas curvas, os dados relativos aos respectivos tratamentos já apresentavam diferença de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Isso se dá devido ao alto grau de detalhamento obtido por esse aparelho e pela variação natural existente nas plantas cultivadas, principalmente no estágio vegetativo, no caso da soja.

As médias das curvas relativas ao comportamento espectral das mesmas plantas 5 dias após o início dos regimes hídricos apresentavam uma forma

semelhante às curvas do dia 0, no entanto pequenas diferenças podem ser observadas na região relativa ao verde (550 nm) e no infravermelho próximo, mais especificamente entre 750 e 1300 nm (Figura 5).

Figura 5. Comportamento espectral foliar de plantas de soja utilizadas no ensaio de preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B em função do manejo hídrico, cinco dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento.

Aos 10 dias de reposição hídrica variando de acordo com o tratamento, as curvas do comportamento espectral de plantas de soja apresentavam o mesmo formato das anteriores, característico do comportamento espectral da vegetação (Figura 6). Ressaltam-se, nessa observação, diferenças mais acentuadas, principalmente na curva relativa às plantas sujeitas a 30% de reposição hídrica. Para essa curva, nota-se uma maior reflectância relativa na região do infravermelho próximo (750-1300 nm), e nas regiões relativas ao conteúdo de água na planta (1400-1500 nm e 1900-2000 nm). Destaca-se, também, a maior reflectância relativa na região correspondente ao verde (550 nm) na curva relativa às plantas sujeitas a 100% de reposição hídrica (Figura 6). A maior resposta da curva de 100% de

reposição na região visível pode ser em função do estresse sofrido pela planta, ao ser cultivada nas condições de saturação. Esse estresse é caracterizado pela degradação da clorofila, indicando uma menor absorção de energia na região visível, principalmente na região correspondente ao verde (550 nm) (FIORIO *et al.*, 2015).

A água absorve energia luminosa ao longo de todo espectro. No entanto, na vegetação, a água produz maior absorção de energia nos comprimentos de onda 970, 1200, 1450, 1940 e 2500 nm (KNIPLING, 1970; TUCKER, 1980; CARTER, 1991). Já para Faurtyot e Baret (1997), os comprimentos de onda 1530 nm e 1720 nm são os mais apropriados para monitorar o conteúdo de água, tanto em espécies vegetais lenhosas, quanto herbáceas. Merece atenção a região do Red-Edge (690-740 nm), que vem ganhando atenção nos últimos anos, destacando-se como uma das mais importantes regiões do espectro para estudo de estresse na vegetação (GOVENDER *et al.*, 2009).

Figura 6. Comportamento espectral foliar de plantas de soja utilizadas no ensaio de preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B em função do manejo hídrico, dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento.

Com base nos dados coletados dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada e, levando-se em consideração a presença de tratamentos com plantas infestadas e não infestadas, uma análise Discriminante foi realizada. Essa análise demonstrou que existem diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com a posição dos centroides nos eixos F1 e F2 (Figura 7). É possível notar também que a separação entre os tratamentos 30 e 50% é menos pronunciada do que quando comparados com os demais tratamentos. Essa resposta pode ser devida ao maior nível de estresse sofrido por esses dois tratamentos, o que pode ter causado maiores alterações na fisiologia das plantas, fazendo com que elas respondam de maneira mais homogênea à radiação eletromagnética.

Figura 7. Distribuição dos centroides dos dados de reflectância (400-2500 nm) foliar de plantas de soja utilizadas no ensaio de preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B em função do manejo hídrico, dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento.

A estimativa do conteúdo de água na folha não era o principal objetivo no estudo em questão. Portanto, folhas não foram coletadas nas plantas e medidas quanto ao seu conteúdo de água. Dessa maneira, não foi possível utilizar os diversos índices vegetativos descritos na literatura para predição do conteúdo de água da vegetação.

Govender *et al.* (2009) revisaram o assunto e chegaram à conclusão, já naquela época, de que existe uma intensa pesquisa para utilização de sensoriamento remoto terrestre para medição do conteúdo de água na vegetação.

Ao se estudar a interação entre a reflectância da vegetação e seu conteúdo de água, encontra-se, na maioria dos trabalhos, a correlação entre os valores medidos e os estimados. Mirzaie *et al.* (2014) demonstraram que medidas hiperespectrais podem ser utilizadas com sucesso na predição do conteúdo de água em plantas com distintas arquiteturas de dossel. Em relação a plantas cultivadas com interesse agrônomo, estimativas de conteúdo de água a partir de respostas hiperespectrais foram obtidas com sucesso para algodão (YI *et al.*, 2014) e milho (CHAMPAGNE *et al.*, 2003; GE *et al.*, 2016), por exemplo.

4.4. Efeito da infestação controlada de *Bemisia tabaci* na reflectância de plantas de soja

As médias das curvas relativas ao comportamento espectral das plantas de soja em função do manejo hídrico indicam grande diferença um dia antes do início da imposição dos diferentes regimes de reposição hídrica (Figura 8).

Esse ensaio foi realizado em uma única réplica, com 15 repetições de cada tratamento. A grande variabilidade observada nesse ensaio pode ser explicada pelo número de observações, indicando a necessidade de se realizarem mais réplicas e observações desse estudo no futuro.

Figura 8. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função de infestação por ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B e manejo hídrico, um dia antes do início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento.

Aos cinco dias após o início da imposição dos diferentes regimes de reposição hídrica as médias das curvas relativas ao comportamento espectral das plantas de soja em função do manejo hídrico (Figura 9) apresentam menor diferença em relação às médias obtidas aos 10 dias (Figura 10).

A estabilização da resposta pode ser função do desenvolvimento da infestação nos tratamentos em que o inseto estava presente, além da imposição das reposições hídricas diferenciadas. Nesse ensaio, os níveis de reposição hídrica eram muito próximos e, o período de cinco dias pode não ter sido suficiente para causar alterações mais drásticas na resposta espectral das plantas.

Figura 9. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função de infestação por ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B e manejo hídrico, cinco dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento.

Já para as médias das curvas relativas ao comportamento espectral das plantas de soja em função do manejo hídrico seguiram apresentando pouca diferença aos 10 dias após o início da imposição dos diferentes regimes de reposição hídrica (Figura 10).

Da mesma maneira que demonstrado na coleta anterior, também nessa data poucas diferenças foram encontradas, em função de pequena diferença no nível de reposição e do nível de infestação nos tratamentos infestados não ter sido tão grande.

Figura 10. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função de infestação por ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B e manejo hídrico, dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento.

Com base nos dados coletados dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada e, levando-se em consideração a presença de tratamentos com plantas infestadas e não infestadas, uma análise Discriminante foi realizada. Essa análise demonstrou que existem diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com a posição dos centroides nos eixos F1 e F2 (Figura 11).

Figura 11. Distribuição dos centróides dos dados de reflectância (400-2500 nm) foliar de plantas de soja em função de infestação por ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B e manejo hídrico, dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento.

Considerando que existe diferença entre os tratamentos, uma matriz de confusão foi gerada para prever a classificação de cada repetição em sua classe específica (tratamento). Pode-se observar que a precisão na classificação e validação cruzada foi de 73,81% (Tabela 1), que poderia ter sido melhor se os tratamentos fossem mais distintos, conforme explicitado nos parágrafos anteriores.

Tabela 1. Matriz de confusão para validação cruzada dos resultados de classificação em classes de infestação por *Bemisia tabaci* biótipo B e manejo hídrico em função do comportamento espectral foliar de plantas de soja.

De / para	100% e não infestado	70% e não infestado	100% e infestado	70% e infestado	Total	% Corretos
100% e não infestado	9	0	0	2	11	81,82%
70% e não infestado	0	6	0	2	8	75,00%
100% e infestado	5	0	7	0	12	58,33%
70% e infestado	2	0	0	9	11	81,82%
Total	16	6	7	13	42	73,81%

Os efeitos mais comuns induzidos pela infestação de insetos que alteram a resposta espectral de plantas incluem mudança na concentração de pigmentos, estruturas internas das folhas e biomassa (RIEDEL e BLACKMER, 1999; STONE *et al.*, 2001, FRANZEN *et al.*, 2014). É importante ressaltar que as respostas espectrais de plantas induzidas pela infestação de insetos são muito variáveis e dependentes do tipo de dano (MEYER, 2000), que é função, principalmente, do tipo de aparelho bucal de cada grupo de insetos.

A caracterização de plantas infestadas e sadias já foi demonstrada na literatura para uma extensa lista de plantas cultivadas e espécies. No entanto, nenhum exemplo do uso dessa técnica para monitorar danos diretos de *B. tabaci* em soja foi encontrado. Gazala *et al.* (2013) demonstraram o potencial uso do sensoriamento remoto para detectar plantas de soja infectadas com o begomovirus, causadores do mosaico amarelo da soja na Índia e, transmitidos por *B. tabaci*.

Quanto aos danos diretos de *B. tabaci* em lavouras, pode-se destacar o estudo de Nigam *et al.* (2016), que utilizaram o mesmo sensor hiperespectral para detectar infestações em algodoeiro. As conclusões desse estudo são de que *B. tabaci* causa redução na concentração de clorofila e no conteúdo de água da planta infestada. Segundo os mesmos autores, as regiões mais afetadas foram 450-490 nm, 520-995 nm e 750-790 nm.

Em relação a estudos com soja, foi reportado que plantas infestadas com pulgão, *Aphis glycines* (Matsumura, 1917) (Hemiptera: Aphididae), não responderam espectralmente às infestações na região visível da luz (ALVES, 2018). Portanto, observa-se, novamente, a necessidade de estudos complementares para a interação *B. tabaci* x soja, para concluir com maior grau de precisão os reais efeitos da infestação na reflectância das plantas e encontrar as bandas ótimas para amostragem.

4.5. Efeito da infestação não controlada de *Bemisia tabaci* biótipo B na reflectância de plantas de soja

Dados espectrais foram coletados em plantas submetidas a dois níveis de reposição hídrica (100 e 70%) e sem controle de infestação por *B. tabaci*. Na Figura 12, é apresentada a média do comportamento espectral das plantas de soja, de ambos níveis de reposição hídrica, de acordo com o nível de infestação de *B. tabaci*.

Figura 12. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função de níveis de infestação por ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B. Níveis de infestação: Baixa < 50 ninfas por planta; Média 51-100 ninfas por planta; Alta > 101 ninfas por planta.

Os dados de comportamento espectral foram submetidos à análise discriminante, que gerou um gráfico demonstrando a distribuição dos centroides das observações nos eixos F1 e F2 (Figura 13).

Figura 13. Distribuição dos centróides dos dados de reflectância (400-2500 nm) de plantas de soja infestadas por ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B em diferentes classes de infestação: Baixa < 50 ninfas por planta; Média 51-100 ninfas por planta; Alta > 101 ninfas por planta.

A região visível da luz (400-700 nm) apresentou as maiores diferenças nas curvas em função do nível de infestação. Pode-se notar que a média de reflectância relativa das plantas com alta infestação foi maior do que as plantas com baixa e média infestação, que apresentaram curvas próximas (Figura 14). O fato de a baixa infestação ter refletido mais na região visível deve ser melhor estudado em futuros ensaios, uma vez que o comportamento espectral de plantas infestadas varia em função da espécie vegetal e do artrópode em questão.

Os pigmentos no interior das folhas são os principais fatores relacionados à resposta espectral das folhas nos comprimentos de onda na luz visível (GAUSMAN, 1977). Em particular, redução no conteúdo de clorofila, que é diretamente associado com a capacidade fotossintética e produtividade, é um indicativo de estresse na vegetação (CURRAN *et al.*, 1992; GAUSMAN, 1977). A observação da variação no nível de clorofila, para estudar possíveis estresses na vegetação, deve ser baseada na resposta de índices constituídos por 2 ou mais comprimentos de onda, pois a medida de um único valor pode não ser suficiente para determinar o estresse.

Uma outra possibilidade de explicar a maior reflectância nas plantas com baixa infestação é que, nesse estudo, os dois fatores (conteúdo de água e infestação) não foram isolados. Como observado nos resultados dos bioensaios anteriores, somente a alteração na reposição hídrica já é capaz de causar alterações

na reflectância na parte visível da luz. Portanto, não é possível saber, nesse momento, se a alteração observada na Figura 13 é em função da infestação ou do regime hídrico.

A aquisição de dados hiperespectrais de plantas para classificação da infestação em níveis já foi demonstrada na literatura como sendo uma técnica promissora para o monitoramento de pragas agrícolas. Dentre as diversas culturas e pragas amostradas podemos destacar pulgão, *A. glycines* em soja (ALVES *et al.*, 2015; 2018), pulgões, *D. noxia* e *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775) (Hemiptera: Aphididae) em trigo (MIRIK *et al.*, 2014; YUAN *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2017), ácaros em algodão (REISIG e GODFREY, 2006) e cigarrinha em arroz (HUANG *et al.*, 2015, LIU e SUN, 2016).

Figura 14. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função de níveis de infestação por ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B, em parte da região visível da luz (450-650 nm). Níveis de infestação: Baixa < 50 ninfas por planta; Média 51-100 ninfas por planta; Alta > 101 ninfas por planta.

Após a coleta dos dados espectrais das plantas nas três datas definidas, o número de ninfas de *B. tabaci* em cada planta foi avaliado. Com base no número de ninfas, as plantas foram classificadas em três classes de infestação: baixa, com menos de 50 ninfas por planta, médias, entre 51 e 100 ninfas por planta e alta, com mais de 101 ninfas por planta (Figura 15).

Figura 15. Número de observações de amostras em cada classe de infestação de ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B por planta. ¹Baixa < 50 ninfas por planta; Média 51-100 ninfas por planta; Alta > 101 ninfas por planta.

Utilizando-se os dados de comportamento espectral, foi possível prever a classe de infestação à qual cada repetição pertence, utilizando-se a matriz de confusão de validação cruzada dos dados (Tabela 2).

Tabela 2. Matriz de confusão para validação cruzada dos resultados de classificação em classes de infestação em função do comportamento espectral da planta de soja infestada por ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B.

De / para	Alta ¹	Baixa ¹	Média ¹	Total	% Corretos
Alta ¹	15,79	0,00	0,88	16,67	94,74%
Baixa ¹	1,85	14,81	0,00	16,67	88,89%
Média ¹	1,28	0,00	15,28	16,67	92,31%
Total	18,92	14,81	16,26	50,00	91,98%

¹Baixa < 50 ninfas por planta; Média 51-100 ninfas por planta; Alta > 101 ninfas por planta.

Da mesma maneira, as plantas foram separadas e classificadas quanto ao manejo hídrico a que foram submetidas, independentemente da infestação, alcançando 90,48% de acerto na classificação.

Por se tratar de um experimento em esquema fatorial, é possível estudar tanto o efeito da infestação de *B. tabaci* no comportamento espectral de plantas de soja, quanto o efeito dos níveis de irrigação nesse comportamento.

Na região visível da luz, a média de reflectância relativa de plantas mantidas com 100% de reposição hídrica diária foi maior em relação à média das plantas mantidas com 70% de reposição (Figura 16). Observa-se, também, que na região do infravermelho próximo essa tendência foi alterada, assim como nas bandas relativas ao conteúdo de água na planta. Esse comportamento está em conformidade com o esperado, pois a maior reflectância na região visível é resultado da degradação dos pigmentos foliares, em função do desequilíbrio causado pela constante saturação por água. Já nas bandas de absorção de água, uma menor reflectância é resultado da maior interação entre a água e a energia luminosa e, por consequência maior absorção de energia luminosa.

Figura 16. Comportamento espectral foliar de plantas de soja em função do manejo hídrico, dez dias após o início da reposição hídrica diferenciada para cada tratamento, com todas plantas infestadas por *Bemisia tabaci* biótipo B, em diferentes graus de infestação.

5. CONCLUSÃO

É possível identificar plantas cultivadas sob diferentes níveis de reposição hídrica a partir da coleta dos dados de reflectância dessas plantas, assim como é possível identificar plantas infestadas por ninfas de *Bemisia tabaci* biótipo B, com alto grau de precisão.

Quando têm opção de escolha, adultos de *B. tabaci* depositam mais ovos em plantas de soja cultivadas com 70 e 50% de reposição hídrica diária, e, quando não têm opção de escolha, a oviposição de *B. tabaci* não apresenta diferença em função do nível de reposição hídrica em que a planta de soja se encontra.

Por fim, as ferramentas de sensoriamento remoto podem ser incorporadas aos programas de Manejo Integrado de Pragas para monitoramento tanto da suscetibilidade das plantas às pragas, quanto das infestações já estabelecidas.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, M. L.; PHILPOT, W. D.; NORVELL, W. A. Yellowness index: an application of spectral second derivatives to estimate chlorosis of leaves in stressed vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 18, p. 3663–3675, 1999.
- ALVES, T. M.; MACRAE, I. V.; KOCH, R. L. Soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) affects soybean spectral reflectance. **Journal of economic entomology**, v. 108, n. 6, p. 2655-2664, 2015. ISSN 1938-291X.
- ALVES, T. M.; MOON, R. D.; MACRAE, I. V.; KOCH, R. L. Optimizing band selection for spectral detection of *Aphis glycines* Matsumura in soybean. **Pest management science**, v. 74, n. 12, 2018. ISSN 1526-498X.
- ANJUM, S. A.; XIE, X.; WANG, L.; SALEEM, M. F.; MAN, C.; LEI, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011. ISSN 1991-637X.
- ARCHER, T.; BYNUM JUNIOR, E.; ONKEN, A.; WEND, C. Influence of water and nitrogen fertilizer on biology of the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) on wheat. **Crop Protection**, v. 14, n. 2, p. 165-169, 1995. ISSN 0261-2194.
- AWMACK, C. S.; LEATHER, S. R. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. **Annual review of entomology**, v. 47, n. 1, p. 817-844, 2002. ISSN 0066-4170.
- BACKOULOU, G. F.; ELLIOT, N. C.; PHOOFULO, M.; CATANA, V. Development of a method using multispectral imagery and spatial pattern metrics to quantify stress to wheat fields caused by *Diuraphis noxia*. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, n. 1, p. 64-70, 2011. ISSN 0168-1699. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169910001900> >.

- BALDIN, E. L. L.; CRUZ, P. L.; MORANDO, R.; SILVA, I. F.; BENTIVENHA, J. P. F.; TOZIN, L. R. S.; RODRIGUES, T. M. Characterization of Antixenosis in Soybean Genotypes to *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype B. **Journal of Economic Entomology**, v. 110, n. 4, p. 1869-1876, 2017. ISSN 0022-0493. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1093/jee/tox143> >.
- BESTETE, L. R.; TORRES, J. B.; SILVA, R. B.; SILVA-TORRES, C. S. Water stress and kaolin spray affect herbivorous insects' success on cotton. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 10, n. 5, p. 445-453, 2016. ISSN 1872-8855.
- BESTETE, L. R.; TORRES, J. B.; SILVA, R. B.; SILVA-TORRES, C. S. Development of cotton pests exhibiting different feeding strategy on water-stressed and kaolin-treated cotton plants. **Journal of pest science**, v. 90, n. 1, p. 139-150, 2017. ISSN 1612-4758.
- BUENO, A. F.; BUENO, R. C. O. F.; FERNANDES, O. Resposta fisiológica de plantas de soja e tomate à injúria causada pela mosca branca *Bemisia tabaci* raça B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Ecossistema**, v. 30, p. 65-70, 2005.
- BUNTIN, D. G.; GILBERTZ, D. A.; OETTING, R. D. Chlorophyll loss and gas exchange in tomato leaves after feeding injury by *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). **Journal of economic entomology**, v. 86, n. 2, p. 517-522, 1993. ISSN 1938-291X.
- CARLSON, J.; BURGAN, R. Review of users' needs in operational fire danger estimation: the Oklahoma example. **International journal of remote sensing**, v. 24, n. 8, p. 1601-1620, 2003. ISSN 0143-1161.
- CARRIÈRE, Y.; ELLSWORTH, P. C.; DUTILLEUL, P.; ELLERS-KIRK, C.; BARKLEY, V.; ANTILLA, L. A GIS-based approach for areawide pest management: the scales of *Lygus hesperus* movements to cotton from alfalfa, weeds, and cotton. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 118, n. 3, p. 203-210, 2006.

- CARTER, G. A. Primary and secondary effects of water content on the spectral reflectance of leaves. **American Journal of Botany**, v. 78, n. 7, p. 916-924, 1991. ISSN 0002-9122.
- CARTER, G. A. Responses of leaf spectral reflectance to plant stress. **American Journal of Botany**, v. 80, n. 3, p. 239-243, 1993.
- CHAMPAGNE, C. M.; STAENS, K.; BANNARI, A.; MCNAIRN, H.; DEGUISE, J-C. Validation of a hyperspectral curve-fitting model for the estimation of plant water content of agricultural canopies. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 2-3, p. 148-160, 2003. ISSN 0034-4257.
- CHUVIECO, E.; COCERO, D.; AGUADO, I.; PALACIOS, A.; PRADO, E. Improving burning efficiency estimates through satellite assessment of fuel moisture content. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 109, n. D14, 2004. ISSN 0148-0227.
- CORNELISSEN, T.; WILSON FERNANDES, G.; VASCONCELLOS-NETO, J. Size does matter: variation in herbivory between and within plants and the plant vigor hypothesis. **Oikos**, v. 117, n. 8, p. 1121-1130, 2008. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.0030-1299.2008.16588.x> >.
- CRUZ, P. L.; BALDIN, E. L. L. Performance of *Bemisia tabaci* Biotype B on Soybean Genotypes. **Neotropical Entomology**, v. 46, n. 2, p. 210-215, 2017. ISSN 1678-8052. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s13744-016-0445-3> >.
- CURRAN, P. J.; DUNGAN, J. L.; MACLER, B. A.; PLUMMER, S. E.; PETERSON, D. L. Reflectance spectroscopy of fresh whole leaves for the estimation of chemical concentration. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, n. 2, p. 153-166, 1992. ISSN 0034-4257.
- DAI, A. Drought under global warming: a review. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 2, n. 1, p. 45-65, 2011. ISSN 1757-7799.

- DE BARRO, P. J.; LIU, S. S.; BOYKIN, L. M.; DINSDALE, A. B. *Bemisia tabaci*: a statement of species status. **Annual Review of Entomology**, v. 56, p. 1-19, 2011.
- DEGRANDE, P. E.; VIVAN, L. M. Pragas da soja. **Boletim de pesquisa de soja da Fundação MT**, v.1, n.14, p.152-215, 2010.
- DELAIEUX, S.; SOMERS, B.; VERSTRAETEN, W. W.; AARDT, J. A. N. V., COPPIN P. Hyperspectral indices to diagnose leaf biotic stress of apple plants, considering leaf phonology. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 8, p. 1887-1912, 2009.
- DELALIEUX, S. VAN AARDT, J.; KEULEMANS, W.; SCHREVEENS, E.; COPPIN, P. Detection of biotic stress (*Venturia inaequalis*) in apple trees using hyperspectral data: Non-parametric statistical approaches and physiological implications. **European Journal of Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 130-143, 2007. ISSN 1161-0301.
- ELLIOTT, N. C.; MIRIK, M.; YANG, Z.; DVORAK, T.; RAO, M. MICHELS, J. WALKER, T.; CATANA, V.; PHOOFOLO, M.; GILES, K.; ROYER, T. Airborne multi-spectral remote sensing of Russian wheat aphid injury to wheat. Southwest. **Southwestern Entomologist**, v. 32, n. 4, p. 213-219, 2007.
- FAURTYOT, T.; BARET, F. Vegetation water and dry matter contents estimated from top-of-the-atmosphere reflectance data: a simulation study. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, n. 1, p. 34-45, 1997. ISSN 0034-4257.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, (Special Report, 80), 11p., 1977.
- FERNANDEZ, S.; VIDAL, D.; SIMON, E.; SOLE-SUGARNES, L. Radiometric characteristic of *Triticum aestivum* cv. Astral under water and nitrogen stress. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 9, p. 1867-1884, 1994.

- FIORIO, P. R.; MARTINS, J. A.; BARROS P. P. S.; MOLIN, J. P.; DO AMARAL, L. R. Dados espectrais de dossel de cana-de-açúcar para predição do teor relativo de clorofila. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2015, João Pessoa-PB. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 6313-6319.
- FLINT, H. M.; NARANJO, S. E.; LEGGETT, J. E.; HENNEBERRY, T. J. Cotton water stress, arthropod dynamics, and management of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 89, n. 5, p. 1288-1300, 1996. ISSN 1938-291X.
- FONTES, F. H. M.; COLOMBO, C. A.; LOURENÇÃO, A. L. Caracterização molecular e divergência genética de *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) em diferentes culturas e locais de cultivo. **Neotropical Entomology**, v. 39, p. 221–226, 2010.
- FONTES, F. H. M.; COLOMBO, C. A.; LOURENÇÃO, A. L. Structure of genetic diversity of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) populations in Brazilian crops and locations. **Scientia Agricola**, v. 69, p. 47–53, 2012.
- FORMAGGIO, A.; SANCHES, L. **Sensoriamento Remoto em Agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- FRANZEN, L. D.; GUTSCHE, A. R.; HENG-MOSS, T. M.; HIGLEY, L. G.; SARATH, G.; BURD, J. D. Physiological and biochemical responses of resistant and susceptible wheat to injury by Russian wheat aphid. **Journal of Economic Entomology**, v. 100, n. 5, p. 1692-1703, 2014. ISSN 0022-0493.
- GAUSMAN, H. W. Reflectance of leaf components. **Remote sensing of Environment**, v. 6, n. 1, p. 1-9, 1977. ISSN 0034-4257.
- GAZALA, I. S.; SAHOO, R.; PANDEY, R.; MANDAL, B.; GUPTA, V.; SINGH, R.; SINHA, P. Spectral reflectance pattern in soybean for assessing yellow mosaic disease. **Indian Journal of Virology**, v. 24, n. 2, p. 242-249, 2013. ISSN 0970-2822.

- GE, Y.; BAI, G.; STOERGER, V.; SCHNABLE, J. C. Temporal dynamics of maize plant growth, water use, and leaf water content using automated high throughput RGB and hyperspectral imaging. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 625-632, 2016. ISSN 0168-1699.
- GHANNOUM, O. C4 photosynthesis and water stress. **Annals of botany**, v. 103, n. 4, p. 635-644, 2008. ISSN 1095-8290.
- GOVENDER, M.; GOVENDER, P.; WEIERSBYE, I.; WITKOWKI, E.; AHMED, F. Review of commonly used remote sensing and ground-based technologies to measure plant water stress. **Water SA**, v. 35, n. 5, 2009. ISSN 0378-4738.
- GUERRIERI, E.; DIGILIO, M. C. Aphid-plant interactions: a review. **Journal of Plant Interactions**, v. 3, n. 4, p. 223-232, 2008. ISSN 1742-9145.
- GUTBRODT, B.; DORN, S.; MODY, K. Drought stress affects constitutive but not induced herbivore resistance in apple plants. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 6, n. 2, p. 171-179, 2012. ISSN 1872-8855.
- GUTBRODT, B.; MODY, K.; DORN, S. Drought changes plant chemistry and causes contrasting responses in lepidopteran herbivores. **Oikos**, v. 120, n. 11, p. 1732-1740, 2011. ISSN 1600-0706.
- HELMBERGER, M. S.; CRAIG, T. P.; ITAMI, J. K. Effects of drought stress on oviposition preference and offspring performance of the lace bug *Corythucha marmorata* on its goldenrod host, *Solidago altissima*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 160, n. 1, p. 1-10, 2016. ISSN 0013-8703.
- HODGSON, E. W.; BURKNESS, E. C.; HUTCHISON, W. D.; RAGSDALE, D. W. Enumerative and Binomial sequential sampling plans for soybean aphid (Homoptera: Aphididae) in soybean. **Journal of economic entomology**, v. 97, n. 6, p. 2127-2136, 2004.

- HOELMER, K.; OSBORNE, L.; YOKOMI, R. Foliage disorders in Florida associated with feeding by sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*. **The Florida Entomologist**, v. 74, n. 1, p. 162-166, 1991. ISSN 0015-4040.
- HUBERTY, A. F.; DENNO, R. F. Plant water stress and its consequences for herbivorous insects: a new synthesis. **Ecology**, v. 85, n. 5, p. 1383-1398, 2004. ISSN 1939-9170.
- INBAR, M.; DOOSTDAR, H.; MAYER, R. T. Suitability of stressed and vigorous plants to various insect herbivores. **Oikos**, v. 94, n. 2, p. 228-235, 2001. ISSN 0030-1299.
- JAENIKE, J. On optimal oviposition behavior in phytophagous insects. **Theoretical population biology**, v. 14, n. 3, p. 350-356, 1978. ISSN 0040-5809.
- JITHESH, M.; PRASHANTH, S.; SIVAPRAKAS, K.; PARIDA, A. Monitoring expression profiles of antioxidant genes to salinity, iron, oxidative, light and hyperosmotic stresses in the highly salt tolerant grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. by mRNA analysis. **Plant cell reports**, v. 25, n. 8, p. 865-876, 2006. ISSN 0721-7714.
- KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote sensing of environment**, v. 1, n. 3, p. 155-159, 1970. ISSN 0034-4257.
- KUMAR, J.; VASHISTH, A.; SEHGAL, V.; GUPTA, V. Identification of aphid infestation in mustard by hyperspectral remote sensing. **Journal of Agricultural Physics**, v. 10, p. 53-60, 2010.
- LAN, Y.; ZHANG, H.; HOFFMANN, W.; LOPEZ, J. J. D. Spectral response of spider mite infested cotton: Mite density and miticide rate study. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 6, n. 1, p. 48-52, 2013. ISSN 1934-6352.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. Hoboken, USA: Wiley, 2004.

LIN, T.-B.; SCHWARTZ, A.; SARANGA, Y. Non-stomatal factors limit cotton photosynthesis under silverleaf whitefly stress. **Physiologia Plantarum**, v. 107, n. 3, 1999. ISSN 0031-9317.

LIN, T.-B.; SCHWARTZ, A.; SARANGA, Y. Photosynthesis and productivity of cotton under silverleaf whitefly stress. **Crop science**, v. 39, n. 1, p. 174-184, 1999. ISSN 0011-183X.

LIU, X.-D.; SUN, Q.-H. Early assessment of the yield loss in rice due to the brown planthopper using a hyperspectral remote sensing method. **International Journal of Pest Management**, v. 62, n. 3, p. 205-213, 2016. ISSN 0967-0874.

LOURENÇÃO, A. L.; YUKI, V. A.; ALVES, S. B. Epizootics of *Aschersonia* cf. *goldiana* on *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) biotype B in the State of Sao Paulo, Brazil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, n. 2, p. 343-345, 1999. ISSN 0301-8059.

MALTHUS, T. J.; MADEIRA, A. C. High resolution spectroradiometry: spectral reflectance of field beans leaves infected by *Botrytis fabae*. **Remote Sensing of Environment**, v. 45, n. 1, p. 107-116, 1993.

MALUTA, Nathalie Kristine Prado. **Efeitos direto e indireto dos begomovírus Tomato severe rugose virus (ToSRV) e Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) no desempenho biológico de Bemisia tabaci (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2013. doi:10.11606/D.11.2013.tde-25032013-142604. Acesso em: 2018-12-03.

- MARUBAYASHI, J. M.; YUKI, V. A.; WUTKE, E. B. Transmissão do Cowpea mild mottle virus pela mosca branca *Bemisia tabaci* biótipo B para plantas de feijão e soja. **Summa Phytopathologica**, p. 158-160, 2010. ISSN 0100-5405.
- MATTSON, W. J.; HAACK, R. A. The role of drought in outbreaks of plant-eating insects. **Bioscience**, v. 37, n. 2, p. 110-118, 1987. ISSN 0006-3568.
- MEYER, G. A. Effects of insect feeding on growth and fitness of goldenrod (*Solidago altissima*). **Recent research developments in entomology**, v. 3, p. 29-41, 2000.
- MIRIK, M.; ANSLEY, R. J.; STEDDOM, K.; RUSH, C. M.; MICHELS, G. J.; WORKNEH, F.; CUI, S.; ELLIOTT, N. C. High spectral and spatial resolution hyperspectral imagery for quantifying Russian wheat aphid infestation in wheat using the constrained energy minimization classifier. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 083661, 2014.
- MIRZAIE, M.; DARVISHZADEH, R.; SHAKIBA, A.; MATKAN, A.; ATZBERGER, C.; SKIDMORE, A. Comparative analysis of different uni-and multi-variate methods for estimation of vegetation water content using hyper-spectral measurements. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 26, p. 1-11, 2014. ISSN 0303-2434.
- MODY, K.; EICHENBERGER, D.; DORN, S. Stress magnitude matters: different intensities of pulsed water stress produce non-monotonic resistance responses of host plants to insect herbivores. **Ecological Entomology**, v. 34, n. 1, p. 133-143, 2009. ISSN 0307-6946.
- MORAN, M. S.; INOUE, Y.; BARNES, E. M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in Precision Crop Management. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, n. 3, p. 319-346, 1997.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: UFV, 2012.

NANSEN, C. Use of variogram parameters in analysis of hyperspectral imaging data acquired from dual-stressed crop leaves. **Remote Sensing**, v. 4, n. 1, p. 180-193, 2012.

NANSEN, C.; SIDUMO, A. J.; CAPAREDA, S. Variogram analysis of hyperspectral data to characterize the impact of biotic and abiotic stress of maize plants and to estimate biofuel potential. **Applied spectroscopy**, v. 64, n. 6, p. 627-636, 2010.

NARANJO, S. E.; LEGG, J. P. Biology and ecology of *Bemisia tabaci*. In: STANSLY, P. A.; NARANJO, S. E. (eds). **Bemisia: bionomics and management of a global pest**. Dordrecht: Springer, 2010. p. 105–107.

NASA. **Remote Sensing**. 2017. Disponível em: https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/dictionary/Remote_Sensing.html
Acesso em: 1 de maio de 2018.

NAVAS-CASTILLO, J.; FIALLO-OLIVÉ, E.; SÁNCHEZ-CAMPOS, S. Emerging virus diseases transmitted by whiteflies. **Annual review of phytopathology**, v. 49, p. 219-248, 2011. ISSN 0066-4286.

NIGAM, R.; KOT, R.; SANDHU, S. S.; BHATTACHARYA, B. K.; CHANDI, R. S.; SINGH, J.; MANJUNATH, K. R. Ground-based hyperspectral remote sensing to discriminate biotic stress in cotton crop. **Proc. SPIE 9880, Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Remote Sensing Technology, Techniques and Applications VI**, v. 9880, p.98800H, 2016.

OLIVEIRA, C.; AUAD, A.; MENDES, S.; FRIZZAS, M. Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. **Journal of Applied Entomology**, v. 137, n. 1-2, p. 1-15, 2013. ISSN 0931-2048.

PEÑUELAS, J.; GAMON, J.; FREDEEN, A.; MERINO, J.; FIELD, C. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen-and water-limited sunflower leaves. **Remote sensing of Environment**, v. 48, n. 2, p. 135-146, 1994. ISSN 0034-4257.

- POLSTON, J. E.; DE BARRO, P.; BOYKIN, L. M. Transmission specificities of plant viruses with the newly identified species of the *Bemisia tabaci* species complex. **Pest management science**, v. 70, n. 10, p. 1547-1552, 2014. ISSN 1526-498X.
- PRABHAKAR, M.; PRASAD, Y. G.; RAO, M. N. Remote Sensing of Biotic Stress in Crop Plants and Its Applications for Pest Management. In: VENKATESWARLU, B.; SHANKER, A. K.; SHANKER, C.; MAHESWARI, M. (EdS.). **Crop stress and its management: Perspectives and strategies**. Netherlands: Springer, 2012. p.517-545.
- PRABHAKER, N.; CASTLE, S.; HENNEBERRY, T.; TOSCANO, N. Assessment of cross-resistance potential to neonicotinoid insecticides in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Bulletin of entomological research**, v. 95, n. 6, p. 535-543, 2005. ISSN 1475-2670.
- PRICE, P. W. **Macroevolutionary theory on macroecological patterns**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. ISBN 0521520371.
- PROKOPY, R. J.; OWENS, E. D. Visual detection of plants by herbivorous insects. **Annual review of entomology**, v. 28, n. 1, p. 337-364, 1983. ISSN 0066-4170.
- REISIG, D.; GODFREY, L. Remote Sensing for Detection of Cotton Aphid– (Homoptera: Aphididae) and Spider Mite– (Acari: Tetranychidae) Infested Cotton in the San Joaquin Valley. **Environmental Entomology**, v. 35, n. 6, p. 1635-1646, 2006. ISSN 0046-225X.
- RIEDEL, W. E.; BLACKMER, T. M. Leaf reflectance spectra of cereal aphid-damaged wheat. **Crop Science**, v. 39, n. 6, p. 1835-1840, 1999. ISSN 1435-0653.
- SCONIERS, W. B.; EUBANKS, M. D. Not all droughts are created equal? The effects of stress severity on insect herbivore abundance. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 11, n. 1, p. 45-60, 2017. ISSN 1872-8855.

- SHOWLER, A. T. Effects of water deficit stress, shade, weed competition, and kaolin particle film on selected foliar free amino acid accumulations in cotton, *Gossypium hirsutum* (L.). **Journal of chemical ecology**, v. 28, n. 3, p. 631-651, 2002. ISSN 0098-0331.
- SILVA, L. D.; OMOTO, C.; BLEICHER, E.; DOURADO, P. M. Monitoring the susceptibility to insecticides in *Bemisia tabaci* (Gennadius)(Hemiptera: Aleyrodidae) populations from Brazil. **Neotropical entomology**, v. 38, n. 1, p. 116-125, 2009. ISSN 1519-566X.
- SINGH, C. B.; JAYAS, D. S.; PALIWAL, J.; WHITE, N. D. G. Identification of insect-damaged wheat kernels using the short-wave near-infrared hyperspectral and digital colour imaging. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 73, n. 2, p. 118-125, 2010.
- STONE, C.; CHISHOLM, L.; COOPS, N. Spectral reflectance characteristics of eucalypt foliage damaged by insects. **Australian Journal of Botany**, v. 49, n. 6, p. 687-698, 2001. ISSN 1444-9862.
- TAMAI, M.A.; MARTINS, M.C.; LOPES, P.V.L. **Perda de produtividade em cultivares de soja causada pela mosca branca no cerrado baiano**. Bahia: Fundação BA, 2006.
- THOMPSON, J. N.; PELLMYR, O. Evolution of oviposition behavior and host preference in Lepidoptera. **Annual review of entomology**, v. 36, n. 1, p. 65-89, 1991. ISSN 0066-4170.
- TOMASETO, Arthur Fernando. **Fatores bióticos e abióticos influenciando a mobilidade e aspectos biológicos de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae)**. 2016. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2017. doi:10.11606/T.11.2017.tde-26042017-111944. Acesso em: 2018-12-03.
- TUCKER, C. J. Remote sensing of leaf water content in the near infrared. **Remote sensing of Environment**, v. 10, n. 1, p. 23-32, 1980. ISSN 0034-4257.

- VALLE, G. E.; LOURENÇÃO, A. L.; ZUCCHI, M. I.; PINHEIRO, J. B.; DE ABREU, A. G. Population variability of *Bemisia tabaci* (Genn.) in different hosts. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, p. 4615–4624, 2013.
- WHITE, T. An index to measure weather-induced stress of trees associated with outbreaks of psyllids in Australia. **Ecology**, v. 50, n. 5, p. 905-909, 1969. ISSN 1939-9170.
- YANG, C. M.; CHENG, C. H. Spectral characteristics of rice plants infested by brown plant hoppers. **Proceedings of the National Science Council, Republic of China. Part B, Life Sciences**, v. 25, n. 3, p. 180-186, 2001.
- YANG, L.; STEHMAN, S. V.; SMITH, J. H.; WICKHAM, J. D. Thematic accuracy of MRLC land cover for the eastern United States. **Remote sensing of Environment**, v. 76, n. 3, p. 418-422, 2001. ISSN 0034-4257.
- YEE, W. L.; TOSCANO, N. C.; CHU, C-C.; HENNEBERRY, T. J.; NICHOLS, R. L. *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) action thresholds and cotton photosynthesis. **Environmental entomology**, v. 25, n. 6, p. 1267-1273, 1996. ISSN 1938-2936.
- YI, Q.; WANG, F.; BAO, A.; JIAPAER, G. Leaf and canopy water content estimation in cotton using hyperspectral indices and radiative transfer models. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 33, p. 67-75, 2014. ISSN 0303-2434.
- YUAN, L.; HUANG, Y.; LORAAMM, R. W.; NIE, C.; WANG, J.; ZHANG, J. Spectral analysis of winter wheat leaves for detection and differentiation of diseases and insects. **Field Crops Research**, v. 156, p. 199-207, 2014. ISSN 0378-4290.
- ZALUCKI, M. P.; CLARKE, A. R.; MALCOLM, S. B. Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera. **Annual review of entomology**, v. 47, n. 1, p. 361-393, 2002. ISSN 0066-4170.

ZHANG, C. H.; WALTERS, D.; KOVACS, J. M. Applications of Low Altitude Remote Sensing in Agriculture upon Farmers' Requests- A Case Study in Northeastern Ontario, Canada. **Plos One**, v. 9, n. 11, 2014. ISSN 1932-6203.

ZHANG, J.; WANG, N.; YUAN, L.; CHEN, F.; WU, K. Discrimination of winter wheat disease and insect stresses using continuous wavelet features extracted from foliar spectral measurements. **Biosystems Engineering**, v. 162, p. 20-29, 2017. ISSN 1537-5110.

ZHAO, D.; REDDY, K. R.; KAKANI, V. G.; KOTI, S. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field grown cotton. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 1, p. 89-98, 2005.