

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

RESPOSTA ESPECTRAL E FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE AMENDOIM  
INFESTADAS COM *Enneothrips enigmaticus* sp. n.  
(Thysanoptera: Thripidae)

CÉSAR SAMPAIO PAVANI

Orientador: Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências  
Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de  
Jaboticabal, para graduação em ENGENHARIA  
AGRONÔMICA.

Jaboticabal - SP  
1º semestre/2022

P337r

Pavani, César Sampaio

Resposta espectral e fisiológica de plantas de amendoim infestadas com  
Enneothrips enigmaticus sp. n. (Thysanoptera: Thripidae) / César Sampaio  
Pavani. -- Jaboticabal, 2022

79 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônoma) -  
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e  
Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Odair Aparecido Fernandes

1. Manejo Integrado de Pragas. 2. Monitoramento. 3. Amendoim. 4.  
Trips-do-prateamento. 5. Agricultura digital. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: Ciências da Produção Agrícola

**CERTIFICADO**  
TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: Resposta espectral e fisiológica de plantas de amendoim infestadas com *Enneothrips enigmaticus* sp. n. (Thysanoptera: Thripidae)

ACADÊMICO: César Sampaio Pavani

CURSO: Engenharia Agrônômica

ORIENTADOR: Odair Aparecido Fernandes

PERÍODO: 08/2019 à 10/2021

Este trabalho é recomendado para compor a base de dados CAPELO.  Sim  Não

BANCA EXAMINADORA:

(Nomes)

(Assinaturas)

Presidente: Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes

Membro: Prof. Dr. Priscila Lupino Gratão

Membro: Prof. Dr. Antonio Maria Garcia Tommaselli

Jaboticabal 29 / 04 / 2022

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 21 / 06 / 2022

Prof. Dr. Edmar Biondo do Carvalho  
Chefe do Depto. de Ciências da Produção Agrícola  
PCAW/UNESP

## **DEDICATÓRIA**

A Deus, pelo dom da vida e por sempre prover proteção e perseverança ao longo da minha caminhada. À Santa Paula Frassinetti, cuja devoção carrego por toda minha vida estudantil.

Aos meus pais, Aparecido Tadeu Pavani e Maria Inês Sampaio Pavani, e ao meu irmão, Leonardo Sampaio Pavani, por serem meu alicerce, meus exemplos e minha fonte incessante de incentivo para vencer os desafios.

A todas as amizades conquistadas ao longo deste período de Graduação que foram fundamentais para a concretização deste sonho.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus Jaboticabal (UNESP/FCAV), docentes e colaboradores do Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica, por todo ensinamento transmitido e oportunidades oferecidas.

Ao Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes, por contribuir na minha formação, orientando-me neste Trabalho de Iniciação Científica, e pela oportunidade de integrar a equipe do Laboratório de Ecologia Aplicada (ApEcoLab), onde obtive inúmeros ensinamentos.

A toda equipe do ApEcoLab, pela amizade construída ao longo destes anos, contribuindo de forma inestimável para meu crescimento pessoal e acadêmico e por todo auxílio no cumprimento de cada etapa dos experimentos.

Ao Prof. Dr. David Luciano Rosalen, pela parceria e colaboração no desenvolvimento desta linha de pesquisa, cooperando com seu conhecimento e aconselhando para melhorias deste trabalho.

Aos doutores e amigos José Ricardo Lima Pinto e Gabriel Fernandes Rezende, pelas contribuições feitas desde a concepção do Projeto de Iniciação Científica até a sua conclusão neste trabalho, sempre se dispondo incondicionalmente nas diversas circunstâncias enfrentadas.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Priscila Lupino Gratão e ao Prof. Dr. Antonio Maria Garcia Tommaselli, pela disponibilidade em compor a banca examinadora e pela enriquecedora contribuição realizada na defesa deste Trabalho de Iniciação Científica, com construtivas sugestões e reflexões.

À Cooperativa Agroindustrial (COPLANA), pela concessão das sementes de amendoim e todo apoio nos experimentos realizados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de iniciação científica, por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

## ÍNDICE

1	RESUMO.....	viii
2	SUMMARY .....	iv
3	INTRODUÇÃO .....	1
4	REVISÃO DE LITERATURA .....	4
4.1	Sensoriamento remoto como ferramenta para o monitoramento de pragas agrícolas .....	4
4.2	A importância da relação entre a herbivoria de insetos e o desenvolvimento das plantas.....	6
4.3	Cenário do Manejo Integrado de Pragas na cultura do amendoim .....	8
5	MATERIAL E MÉTODOS .....	10
5.1	Experimento 1 - Safra 2019/2020 .....	10
5.1.1	Casa de vegetação.....	10
5.1.1.1	Semeadura e tratos culturais .....	10
5.1.1.2	Delineamento experimental .....	11
5.1.1.3	Coleta de ninfas de <i>E. enigmaticus</i> e infestação das plantas de amendoim.....	12
5.1.1.4	Avaliação da resposta espectral e fisiológica.....	13
5.1.2	Campo experimental .....	19
5.1.2.1	Semeadura e tratos culturais .....	19
5.1.2.2	Delineamento experimental .....	19
5.1.2.3	Avaliação da resposta espectral e fisiológica.....	20
5.2	Experimento 2 - Safra 2020/2021 .....	20

5.2.1	Semeadura e tratos culturais.....	21
5.2.2	Delineamento experimental.....	21
5.2.3	Coleta de ninfas de <i>E. enigmaticus</i> e infestação das plantas de amendoim .....	22
5.2.4	Avaliação da resposta espectral e fisiológica .....	24
5.3	Análise de dados .....	25
6	RESULTADOS .....	29
6.1	Experimento 1 - Safra 2019/2020 .....	29
6.1.1	Casa de vegetação.....	29
6.1.2	Campo experimental .....	40
6.2	Experimento 2 - Safra 2020/2021 .....	44
7	DISCUSSÃO .....	52
8	CONCLUSÕES .....	62
9	LITERATURA CITADA .....	63



**RESPOSTA ESPECTRAL E FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE AMENDOIM  
INFESTADAS COM *Enneothrips enigmaticus* sp. n.  
(Thysanoptera: Thripidae)**

## **1 RESUMO**

Na cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.), uma das pragas-chave é o tripes-do-prateamento, *Enneothrips enigmaticus* sp. n. (Thysanoptera: Thripidae). O sistema de amostragem dessa praga é laborioso e o seu controle é baseado em sistema calendarizado de pulverizações, o que pode elevar os custos de produção à medida que as pulverizações ocorram em momentos inadequados, visto que o nível de população da praga não é considerado. Diante desse problema, a agricultura digital por meio do sensoriamento remoto é capaz de propor alternativas para o monitoramento de insetos-praga. Aliado a isso, entender os danos causados na fisiologia da planta por esse inseto é de fundamental importância para compreensão da resposta espectral de plantas infestadas. Assim, o presente trabalho teve por objetivo determinar e associar a resposta espectral e fisiológica de plantas de amendoim infestadas com *E. enigmaticus*, por meio de padrões de reflectância, parâmetros fisiológicos e índices de vegetação. Para tanto, experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e em campo experimental, em duas safras (2019/2020 e 2020/2021), utilizando sensores RGB e hiperespectral para obter padrões de reflectância e índices de vegetação, bem como mensurador de trocas gasosas cujos parâmetros fisiológicos mensurados foram concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci), condutância estomática (gs), taxa de fotossíntese (A), taxa de transpiração (E), déficit de pressão de vapor (VPD) e temperatura foliar (Tleaf). Os resultados mostraram que é possível diferenciar folíolos injuriados por *E. enigmaticus* e não injuriados pelo padrão de reflectância na região visível do espectro, com maior importância para o comprimento de onda de 607,05 nm, no primeiro experimento realizado. Todavia, no segundo experimento, não foi possível notar diferenças na reflectância das folhas injuriadas e não injuriadas, nas duas épocas avaliadas (34 DAE e 41 DAE). A relação entre notas visuais de injúria e parâmetros fisiológicos foram semelhantes nos dois experimentos, em que o ataque de *E. enigmaticus* provoca reduções na condutância estomática, taxa de fotossíntese e taxa de transpiração, ao passo que concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, déficit de pressão de vapor e temperatura foliar aumentam. Os índices de vegetação contribuíram para distinguir os níveis de injúria, em especial folíolos com poucas pontuações prateadas e com início de enrolamento das bordas, no primeiro experimento. Entretanto, no segundo experimento, a sobreposição do agrupamento de folíolos sem injúria e baixa injúria não permitiu distingui-los com clareza. Por fim, a realização deste trabalho evidencia o potencial desta linha de pesquisa com propósito de otimizar o monitoramento de *E. enigmaticus* na cultura do amendoim e, assim, impulsionar a implantação do MIP-Amendoim.

**SPECTRAL AND PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF PEANUT PLANTS  
INFESTED WITH *Enneothrips enigmaticus* sp. n.  
(Thysanoptera: Thripidae)**

## **2 SUMMARY**

In the peanut crop (*Arachis hypogaea* L.), one of the key pests is the thrips, *Enneothrips enigmaticus* sp. n. (Thysanoptera: Thripidae). Scouting of this pest is laborious and its control is based on a scheduled spraying system, which can increase production costs as sprays occur at inappropriate times, as the pest population level is not considered. Therefore, digital agriculture through remote sensing is able to propose alternatives for monitoring pest insects. In addition, understanding the damage caused by this insect in plant physiology is of fundamental importance for understanding the spectral response of infested plants. Thus, this study aimed to determine and associate the spectral and physiological response of peanut plants infested with *E. enigmaticus*, using reflectance patterns and vegetation indices and physiological parameters. For this, experiments were carried out in a greenhouse and open field, in two harvests (2019/2020 and 2020/2021), using RGB and hyperspectral sensors to obtain reflectance patterns and vegetation indices, as well as gas exchange measurement, whose physiological parameters measured were intercellular CO<sub>2</sub> concentration (C<sub>i</sub>), stomatal conductance (g<sub>s</sub>), photosynthesis rate (A), transpiration rate (E), vapor pressure deficit (VPD) and leaf temperature (T<sub>leaf</sub>). The results showed that it is possible to differentiate leaflets injured by *E. enigmaticus* and not injured by the reflectance pattern in the visible region of the spectrum, with greater importance for the wavelength of 607.05 nm, in the first experiment carried out. However, in the second experiment, it was not possible to notice differences in the reflectance of the injured and non-injured leaves, in the two seasons evaluated (34 DAE and 41 DAE). The relationship between visual injury scores and physiological parameters were similar in both experiments, in which the attack of *E. enigmaticus* causes reductions in stomatal conductance, photosynthesis rate and transpiration rate, while intercellular CO<sub>2</sub> concentration, vapor pressure deficit and leaf temperature increase. The vegetation indexes contributed to distinguish the levels of injury, especially leaflets with few silver scores and with beginning of winding of the edges, in the first experiment. However, in the second experiment, the overlap leaflet groups without injury and low injury did not allow to distinguish them clearly. Finally, the accomplishment of this work evidences the potential of this line of research with the purpose of optimizing the monitoring of *E. enigmaticus* in peanut culture and, thus, to boost the implementation of IPM-Peanut.

### 3 INTRODUÇÃO

A agricultura é altamente dinâmica e tem passado por diversas transformações ao longo do tempo, dentre elas, mais recentemente, destaca-se uma maior incorporação de ferramentas digitais nos sistemas agrícolas. Esta realidade enquadra-se também no Manejo Integrado de Pragas (MIP), que tem a amostragem como um dos fundamentos para a tomada de decisão. Assim, uma das técnicas empregadas é o sensoriamento remoto, o qual possibilita melhorias para o monitoramento de pragas, dentro de um cenário moderno de agricultura (NANSEN; ELLIOTT, 2016).

Dessa forma, a modernização das técnicas de monitoramento de insetos apresenta-se como potencial ferramenta para viabilizar o manejo de tripes-do-prateamento, *Enneothrips enigmaticus* sp. n. (Thysanoptera: Thripidae), que era erroneamente identificado como *Enneothrips flavens* Moulton (LIMA et al., 2022). Esta espécie é uma praga-chave na cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) (GABRIEL, 2016).

O controle dessa praga é recomendado quando a população de *E. enigmaticus* atinge 20% de folíolos de amendoim em uma determinada área (CALORE et al., 2012). No entanto, esse sistema exige coleta de grande

quantidade de folíolos novos na área de cultivo, que devem ser abertos para verificar a presença de *E. enigmaticus*. Por ser um inseto diminuto, a avaliação requer maior acuidade para identificação. Logo, esta prática torna-se bastante laboriosa e onerosa, dificultando a adoção por parte dos produtores (FERNANDES; PINTO, 2017).

O tripes-do-prateamento possui ciclo de vida com 13 dias de duração média, compreendendo a fase de ovo, fase imatura (dois estádios ninfais e dois estádios imóveis) e fase adulta (MOUND; TEULON, 1995). Abriga-se nos folíolos fechados da planta de amendoim, onde realiza postura endofítica, e as ninfas, quando eclodem, alimentam-se no interior dos folíolos fechados (GABRIEL, 2016).

Após a abertura dos folíolos, os danos são evidenciados por pontuações ou estrias prateadas, deformações e encarquilhamento, que, conforme Funderburg e Brandenburg (1995), acarretam prejuízo na absorção de energia luminosa pela planta, afetando diretamente o processo de fotossíntese, que irá refletir negativamente no desenvolvimento e produção das plantas.

Estes aspectos relacionados à herbivoria dos insetos podem interferir na reflectância da folha, ao reduzir a absorção luminosa pelos pigmentos fotossintéticos, e nos processos fisiológicos das plantas, afetando negativamente o processo de fotossíntese (NANSEN; ELLIOT, 2016). Em virtude de detectar essas diferenças de reflectância, o sensoriamento remoto permite o monitoramento das áreas. Para a cultura do amendoim, a tecnologia já foi empregada para auxiliar na seleção de cultivares tolerantes à seca

(BALOTA; OAKES, 2017) e para a predição da maturação dos grãos (DOS SANTOS, 2019), demonstrando, portanto, o potencial de emprego na cultura.

No entanto, os padrões de reflectância e resposta fisiológica de plantas de amendoim infestadas por *E. enigmaticus* ainda não foram estabelecidos. Essas informações são cruciais para compreender a assinatura espectral e as mudanças fisiológicas das plantas e, nesse sentido, permitir o desenvolvimento de um sistema de amostragem baseado em captura de imagens, o qual fornecerá dados para tomadas de decisão de controle dessa praga.

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo determinar e associar as respostas espectral e fisiológica de plantas de amendoim infestadas ou não com *E. enigmaticus*, por meio de padrões de reflectância e índices de vegetação e parâmetros fisiológicos. Diante disso, a hipótese desse trabalho é que a herbivoria de *E. enigmaticus* afeta o padrão de reflectância e o processo fotossintético de plantas de amendoim. Isto deverá contribuir para a otimização do procedimento de amostragem e, conseqüentemente, impulsionar a implantação do MIP-Amendoim, que é um requisito necessário para a Produção Integrada de Amendoim.

## **4 REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Sensoriamento remoto como ferramenta para o monitoramento de pragas agrícolas**

Com o avanço da internet e fluxo de dados, a chamada agricultura digital passou a figurar como a nova etapa de transformação dos sistemas de produção agrícola, ao propor o emprego de tecnologias de informação e comunicação inseridas em máquinas, equipamentos e sensores com a finalidade de gerar dados e informações que possibilitem melhorias de gerenciamento e tomadas de decisão (BASSOI, 2019; PIVOTO et al., 2018).

No monitoramento de pragas em ambientes agrícolas, este avanço pode ser observado por meio do emprego do sensoriamento remoto, cuja definição, segundo Lillesand, Kiefer e Chipman (2015), é expressa como “a ciência e arte de obter informação acerca de um objeto, área ou fenômeno através de análise de dados adquiridos por um dispositivo que não possui contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação”.

Para tanto, o sensoriamento remoto tem por princípio a medição da radiação eletromagnética (REM) emitida ou refletida por um alvo que esteja na superfície terrestre ou aquática (MOREIRA, 2011), por exemplo uma vegetação. Segundo Jensen (2009), a captação desta energia eletromagnética refletida pela planta é importante, pois pode atuar como indicadora de alterações nas concentrações de nutrientes, água, substâncias químicas, pigmentos e nas trocas gasosas de processos fisiológicos.

As fontes de REM são divididas em ativas e passivas (NOVO, 2010). Os dispositivos ativos possuem a fonte em seu próprio sistema, enquanto que os passivos utilizam a energia solar ou artificial proveniente de objetos na superfície terrestre (JENSEN, 2009). Tais dispositivos são os sensores, que podem ser câmeras acopladas em plataformas orbitais (satélites), aéreas (drones e aeronaves tripuladas) ou terrestres (em máquinas, implementos ou de uso manual) (CREPANI, 1993).

Assim, quando a REM atinge o alvo ocorrerá a fragmentação desta energia, sendo ela transmitida, absorvida ou refletida (MORLIN, 2018). Ainda, a REM é subdividida em faixas ou bandas espectrais que são separadas por comprimentos de onda que, em conjunto, formam o chamado espectro eletromagnético (LORENZZETTI, 2015).

Na agricultura, sabe-se que as faixas mais comuns para se observar alterações provocadas por estresses são as do visível: vermelho ( $\cong 660$  nm), verde ( $\cong 550$  nm) e azul ( $\cong 460$  nm). Contudo, segundo Carter e Knapp (2001), ressalta-se que a clorofila possui baixa eficiência de absorção da luz verde, o que explica maiores reflectâncias pelas plantas nesta porção. Ainda, a faixa do

infravermelho próximo (a partir de 770 nm) também é muito importante para detecção de mudanças no comportamento espectral (MOLIN et al., 2015).

Analisar a dispersão de insetos-praga, considerando sua dinâmica espacial e temporal, é um desafio em qualquer ecossistema (WILLERS et al., 2014). No entanto, visando otimizar os processos de classificação de dados entomológicos obtidos pelo sensoriamento remoto, ultimamente têm se desenvolvido diversos métodos de análise, tais como: análise de valores únicos de reflectância de bandas espectrais, índices de banda espectral, análises de componentes principais (ACP), árvores de decisão, redes neurais, *support vector machine* (SVM), entre outros (NANSEN; ELLIOT, 2016).

Diante deste cenário, constata-se que, ao aplicar este conceito no monitoramento de pragas agrícolas, etapa essencial para o MIP, é preciso estudar com profundidade a interação inseto-planta, bem como utilizar tecnologia de sensores que forneçam dados de alta resolução, possibilitando melhorias no sistema de amostragem a partir de estratégias de baixo impacto econômico e ambiental (NANSEN; ELLIOT, 2016) que, por meio de metodologias síncronas e precisas, contribuem para avanços na segurança alimentar (BARROS et al., 2021).

#### **4.2 A importância da relação entre a herbivoria de insetos e o desenvolvimento das plantas**

Segundo Delaney e Macedo (2000), a herbivoria influenciou consideravelmente o processo evolutivo das plantas, de tal forma que impactos desfavoráveis ocasionam a síntese de compostos secundários, alterações



morfológicas e indução de defesa. Tais respostas compõem um arsenal contra a ação de herbívoros, especialmente aquelas espécies de insetos que atingem o *status* de pragas.

A herbivoria ainda é responsável por relevantes perdas de produção em ambientes manejados, à medida em que raízes, caules, folhas, frutos e sementes são fontes de alimento para os diversos organismos (DELANEY; MACEDO, 2000). Logo, salienta-se a importância de estudar a interação inseto-planta em sistemas de produção agrícola.

De acordo com Haile (2000) e Peterson (2000), é fundamental compreender a influência que a herbivoria é capaz de provocar na resposta fisiológica da planta, uma vez que o acúmulo de biomassa e rendimento são maiores sob altas taxas fotossintéticas. Logo, quando se busca desenvolver um plano de monitoramento de insetos-praga, é importante realizar estudos acerca da resposta fisiológica das plantas acometidas por tais estressores bióticos.

Para compreender a resposta das plantas, é necessário conhecer o modo de alimentação do inseto estudado, visto que insetos desfolhadores e insetos sugadores, por exemplo, podem influenciar de maneiras distintas o processo de trocas gasosas da planta hospedeira (PETERSON, 2000).

Quanto a *E. enigmaticus*, seu aparelho bucal é constituído de três estiletes: um mandibular esquerdo e dois maxilares. Estes dois últimos formam o tubo alimentar e, com isso, perfuram as células e sugam o líquido extravasante, desse modo o aparelho bucal desse inseto é classificado como perfurador-sugador, uma característica única da ordem Thysanoptera (MONTEIRO; MOUND, 2012).

Portanto, torna-se evidente que a relação entre herbivoria dos insetos e desenvolvimento das plantas deve interessar tanto produtores, como pesquisadores, que buscam amenizar perdas de produção, bem como avançar na seleção de plantas com aptidões para tolerar os efeitos desses estressores bióticos (DELAYNE; MACEDO, 2000).

#### **4.3 Cenário do Manejo Integrado de Pragas na cultura do amendoim**

De forma objetiva, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) consiste em um conjunto de medidas racionais e integradas, que considera as esferas econômica, ambiental, social e toxicológica do agroecossistema em que a praga está inserida, com intuito de manter a densidade populacional abaixo do nível de dano econômico (FERNANDES, 2019; STERN, 1959).

Considerando que as plantas sofrem constantes injúrias, tanto de fatores bióticos como abióticos, os sistemas devem ser tratados a partir de uma visão integral, que preconize a competitividade e a qualidade da produção (SUASSUNA et al, 2012). No sistema de cultivo de amendoim, a suscetibilidade a doenças fúngicas, a escassez de defensivos agrícolas registrados para a cultura e o cultivo em áreas arrendadas com diferentes localizações são empecilhos para a implementação do MIP (FERNANDES, 2019).

A grande variedade de doenças fúngicas que acometem a cultura do amendoim exige controle calendarizado, com aplicação de fungicidas a cada 15 dias (BARRETO, 2007; FERNANDES, 2019). Essa tática de manejo interfere negativamente no controle de pragas, pois, a fim de evitar maiores custos, os inseticidas são aplicados em conjunto com os fungicidas, desconsiderando a

tomada de decisão com base no nível populacional da praga (FERNANDES, 2019).

Somado a isso, o registro de produtos para a cultura do amendoim ainda é incipiente quando se compara a outras culturas, como soja e feijão, que também pertencem à família Fabaceae (FERNANDES, 2019). Esta situação é favorável para o surgimento de resistência nas populações das pragas.

Ainda, a organização das áreas de amendoim, em especial no Estado de São Paulo, principal produtor nacional (CAMARGO et al., 2021), ocorre de acordo com as áreas de renovação de canaviais e de pastagens. Isto significa que tais localidades, muitas vezes, são distantes entre si, o que dificulta a logística de maquinário e pessoal e reforça a prática de calendários de pulverizações predefinidos (FERNANDES, 2019).

Diante desse cenário, a união entre instituições de pesquisa, órgãos de extensão, empresas e cooperativas de produtores para se conseguir reduções de custos de produção e incrementos significativos de produtividade pautados em estratégias sustentáveis será determinante para impulsionar a prática efetiva do MIP no cultivo do amendoim (ALMEIDA, 2013).

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Experimento 1 - Safra 2019/2020**

Os experimentos foram conduzidos em condições de casa de vegetação ( $30\pm 10^{\circ}\text{C}$ ; UR  $50\pm 30\%$  e luz natural) e campo experimental localizados na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Campus de Jaboticabal - SP.

#### **5.1.1 Casa de vegetação**

##### **5.1.1.1 Semeadura e tratamentos culturais**

Plantas de amendoim, cultivar IAC 503 (Tabela 1), foram semeadas em vasos de 5 L contendo substrato misto de terra, areia e esterco bovino (1:2:1). As sementes não continham tratamento químico. Durante a condução das plantas não houve a necessidade de aplicação de fungicidas e tampouco houve aplicação de inseticida ou adubação. A semeadura foi realizada em período semelhante ao adotado pelos produtores da região, visando facilitar a coleta de insetos a campo para infestação de plantas.

**Tabela 1.** Principais características da cultivar IAC 503 (GODOY et al., 2018).

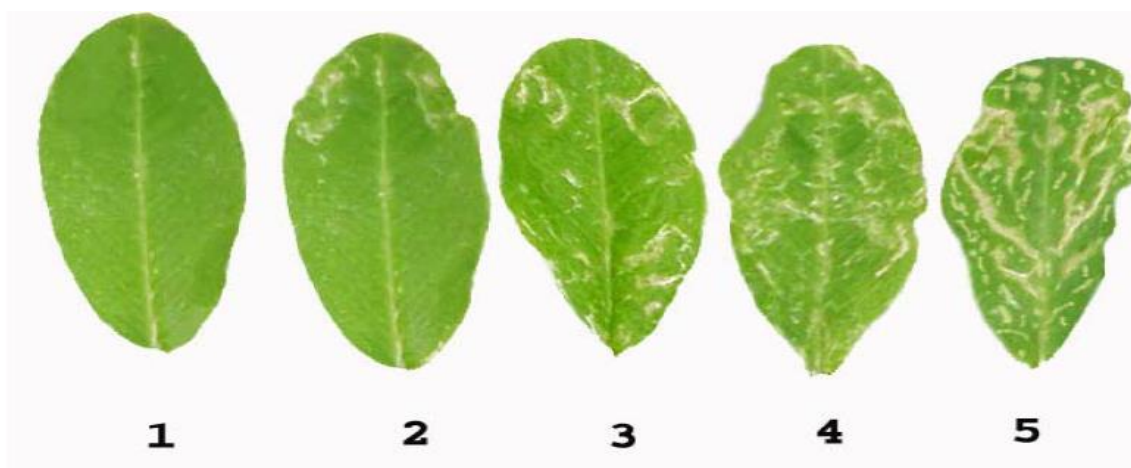
<b>Característica</b>	<b>Descrição</b>
Ciclo	Longo (130 a 140 dias)
Hábito de crescimento	Rasteiro e acentuadamente indeterminado
Resistência a doenças	Moderada resistência à mancha preta e ferrugem e moderada suscetibilidade à mancha castanha
Produtividade	4500 kg ha <sup>-1</sup> (em média) - 6500 kg ha <sup>-1</sup> (potencial)

As plantas do tratamento “controle” (sem infestação) foram conduzidas dentro de gaiolas individualizadas cobertas por tecido *voile* para restringir a infestação decorrente das plantas infestadas. Ainda, foi padronizada a mesma disponibilidade hídrica para todas as plantas por meio de irrigação diária.

#### **5.1.1.2 Delineamento experimental**

O experimento foi delineado em blocos casualizados (DBC). Os tratamentos corresponderam ao nível de infestação das plantas com ninfas de *E. enigmaticus* (0, 3, 6 e 9 ninfas por folha), com 10 repetições (blocos), sendo a parcela composta por uma planta de amendoim, em que os quatro folíolos da folha infestada foram avaliados. Os níveis de infestação foram estipulados com base no número de ninfas por folha (tetrafoliolada) comumente encontrado em cultivos comerciais.

Independentemente do nível de infestação, foram atribuídas notas visuais de injúria aos folíolos avaliados, visando a comparação de injúrias e número de ninfas por planta. A avaliação se baseou na escala proposta por Moraes (2005), categorizada em notas de 1 a 5 (Figura 1).



**Figura 1.** Escala de notas visuais de injúria de *Enneothrips enigmaticus* em folíolos de amendoim: 1 - folíolo com ausência de sintomas; 2 - folíolo com poucas pontuações prateadas e sem deformações; 3 - folíolo com poucas pontuações prateadas e com início de enrolamento das bordas dos folíolos; 4 - folíolo com pontuações prateadas generalizadas e com enrolamento das bordas; 5 - folíolo com pontuações prateadas generalizadas e com encarquilhamento total desse folíolo. Fonte: MORAES, 2005.

#### 5.1.1.3 Coleta de ninfas de *E. enigmaticus* e infestação das plantas de amendoim

Indivíduos de *E. enigmaticus* foram coletados em lavoura comercial de amendoim situada no município de Dobrada, SP. O procedimento de coleta consistiu na remoção manual de folíolos fechados de plantas de amendoim, após constatação da presença de *E. enigmaticus* na área. Em seguida, os folíolos foram armazenados em tubos de vidro de fundo chato (8,5 cm de altura x 2 cm de diâmetro) cobertos por filme de policloreto de vinila (PVC) e acondicionados em caixas de isopor sendo posteriormente levados para laboratório, onde as ninfas foram coletadas dos folíolos.

Após a coleta, as ninfas foram contabilizadas e transferidas para folíolos de amendoim mantidos em placas de Petri (2 cm de altura x 6,5 cm de diâmetro). Folhas duplas de papel filtro umedecido com algodão hidrofílico foram mantidas no interior das placas para manutenção da turgidez dos mesmos.

Aos 19 dias após emergência (DAE) das plantas, próximo à época em que se observa início das infestações naturais em campo (CALORE et al., 2012), a folha mais nova da haste principal das plantas de amendoim foi infestada com ninfas de *E. enigmaticus*, segundo a quantidade determinada para cada nível de infestação. A transferência desses insetos foi realizada conjuntamente com os folíolos mantidos na placa de Petri, inserindo-os entre os folíolos fechados da planta. Isso foi estabelecido para evitar nova manipulação dos insetos, que poderia provocar sua morte. Com o ressecamento desses folíolos, os insetos passaram para os folíolos das plantas em que foi conduzido o experimento. Logo após a transferência dos folíolos, foi observado o caminhar das ninfas, confirmando que a estratégia adotada foi adequada e garantiria a infestação das plantas.

#### **5.1.1.4 Avaliação da resposta espectral e fisiológica**

A avaliação da resposta espectral de plantas de amendoim foi realizada com os sensores GreenSeeker® (Trimble, California), Sony Cyber-shot DSC-W350® (Sony, Tóquio) e Resonon Pika L® (Resonon, Bozeman), todos empregados de forma proximal. O sensor GreenSeeker® é utilizado de forma terrestre e é um sensor de dossel classificado como ativo, isto é, que emite luz própria, neste caso, nas bandas do vermelho (650 nm) e do infravermelho próximo (770 nm), e acoplado a este sensor, o receptor GNSS Nomad Trimble® (Trimble, California), que realiza o armazenamento dos dados coletados (TRIMBLE, 2010). Para captação dos dados, padronizou-se a altura de trabalho

de 0,6 a 0,7 m do dossel da planta. Este sensor já fornece e calcula automaticamente os índices de vegetação descritos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Índices de vegetação NDVI e IRVI calculados pelo sensor GreenSeeker® (NIR = *near infrared* ou infravermelho próximo - 770 nm; R = Red - 650 nm).

Índice de vegetação	Equação	Referência	Característica
1. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(NIR_{770} - R_{650}) / (NIR_{770} + R_{650})$	ROUSE et al. (1974)	Índices de correlação com a quantidade de biomassa do dossel
2. IRVI (Inverse Ratio Vegetation Index)	$(R_{650} / NIR_{770})$	RICHARDSON; WIEGAND (1977)	

O sensor Sony Cyber-shot DSC-W350® é classificado como passivo, que não possui luz própria, portanto utiliza fonte de radiação eletromagnética externa, sendo a luz solar a principal. Este sensor permite adquirir reflectância emitida nas bandas do espectro visível: vermelho ( $\cong 660$  nm), verde ( $\cong 550$  nm) e azul ( $\cong 460$  nm). A captura das imagens foi auxiliada com o uso de um suporte metálico, sobre o qual se apoiou a câmera para manter a altura de 0,8 a 0,9 m em relação ao dossel da planta e para evitar interferências manuais na qualidade da imagem. A correção da luminosidade foi realizada por meio da reflectância de uma superfície plástica branca. Com a reflectância obtida por este sensor, calculou-se os seguintes índices de vegetação descritos na Tabela 3.



**Tabela 3.** Índices de vegetação calculados a partir das reflectâncias obtidas pelo sensor Sony Cyber-shot DSC-W350® (R = Red - 650 nm; G = Green - 550 nm; B = Blue - 460 nm).

Índice de vegetação	Equação	Referência	Característica
1. RGBVI (Red Green Blue Vegetation Index)	$\frac{(G_{550})^2 - (R_{650} * B_{460})}{(G_{550})^2 + (R_{650} * B_{460})}$	BENDIG et al. (2015)	Índice de correlação com a biomassa em estágios iniciais de vegetação
2. GLI (Green Leaf Index)	$\frac{(2 * G_{550} - R_{650} - B_{460})}{(2 * G_{550} + R_{650} + B_{460})}$	LOUHAICHI et al. (2001)	
3. VARI (Visible Atmospherically Resistant Index)	$\frac{(G_{550} - R_{650})}{(G_{550} + R_{650} - B_{460})}$	GITELSON et al. (2002)	Índices de estimativas das atividades fotossintéticas da vegetação
4. NGRDI (Normalized Green Red Difference Index)	$\frac{(G_{550} - R_{650})}{(G_{550} + R_{650})}$	TUCKER (1979)	

O sensor Resonon Pika L® (Resonon, Bozeman), que também é classificado como passivo, é hiperespectral, pois abrange ampla faixa de comprimentos de onda, a partir de 400 nm, englobando toda a região do espectro visível e grande parte da região do infravermelho próximo (RESONON, 2020) (Tabela 4). Assim, este sensor é capaz de fornecer maior quantidade de informações em relação aos anteriores (RESONON, 2019). A avaliação dos folíolos foi realizada com os folíolos destacados da planta, uma vez que o sensor é montado em um sistema de bancada com os folíolos levados ao laboratório para proceder a obtenção de imagens em sala escura e climatizada.

**Tabela 4.** Especificações técnicas do sensor hiperespectral Resonon Pika L® (RESONON, 2020).

<b>Característica</b>	<b>Especificação</b>
Faixa espectral	400 a 1000 nm
Canais espectrais	281
Largura de banda espectral (nm)	2,1
Resolução espectral - FWHM (nm)	3,3
Pixels espaciais	900
Taxa máxima de quadrados (fps)	249
f/#	2,4
Interface	USB 3.0
Dimensões (mm)	115 x 104 x 66
<b>Distância focal (mm)</b>	<b>FOV (graus)</b>
70	4,3
50	6,0
23	13,1
17	17,6
12	24,8
8	36,5
6	47,5

f/# = medida de velocidade da lente, que é importante para determinar o desempenho radiométrico do sistema óptico (RESONON, 2020).

Os sensores GreenSeeker® e Sony Cyber-shot DSC-W350® foram utilizados em seis momentos, em intervalos de três dias (0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias após infestação - DAI), abrangendo boa parte do período vegetativo das plantas. A primeira avaliação (0 DAI) foi realizada antes de se proceder a infestação, para ser utilizada como padrão. As avaliações foram realizadas sempre às 13h30min. Para o sensor hiperespectral Resonon Pika L®, a avaliação foi realizada apenas aos 15 DAI, uma vez que foi necessário destacar os folíolos avaliados (método destrutivo), impossibilitando que mais avaliações fossem realizadas.

Por fim, o mensurador de trocas gasosas Ciras-3® (PP Systems, Amesbury) foi empregado para avaliação da resposta fisiológica das plantas também aos 15 DAI. Foram obtidos os seguintes parâmetros fisiológicos: concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub> - μmol mol<sup>-1</sup>), condutância estomática (g<sub>s</sub> - mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa de fotossíntese (A - μmol de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa de

transpiração ( $E$  -  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), déficit de pressão de vapor (VPD - kPa) e temperatura foliar ( $T_{\text{leaf}}$  -  $^{\circ}\text{C}$ ).

Previamente ao início de cada coleta de dados, obteve-se a curva de resposta para os parâmetros a partir de dados avaliados num folíolo considerado sadio em planta do tratamento controle, para proporcionar controles ambiental, independente e automático de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , temperatura e luz e, assim, realizar a calibração necessária para não haver interferência na coleta dos dados. Em seguida, a avaliação dos parâmetros se deu pela fixação dos folíolos no interior da câmara de mensuração (PLC3 Leaf Cuvette) de área de  $4,5 \text{ cm}^2$ . Cada medição aguardava-se até o momento em que os valores dos parâmetros se estabilizassem.

As avaliações fisiológicas foram realizadas a partir das 08h00 min do 14<sup>o</sup> DAI, momento em que se estima que ninfas de *E. enigmaticus* tenham efetivamente causado injúrias e até mesmo que os insetos utilizados na infestação já haviam completado seu ciclo de vida.

Para os equipamentos utilizados, exceto GreenSeeker®, que é um sensor de dossel, foram avaliados individualmente os quatro folíolos expandidos pertencentes à folha mais nova localizada na haste principal da planta de amendoim. Em sua maioria, estes foram os folíolos inicialmente infestados, porém algumas plantas emitiram novos folíolos, sendo avaliado nestas os folíolos da folha mais nova. Ainda, a sequência de avaliação desses folíolos também foi padronizada, enumerando-os (1 a 4) em sentido anti-horário e iniciando-se no folíolo mais próximo do pecíolo (Figura 2).



**Figura 2.** Indicação da sequência de avaliação dos folíolos de amendoim (sentido anti-horário).

## **5.1.2 Campo experimental**

### **5.1.2.1 Semeadura e tratos culturais**

Para a semeadura do amendoim a campo utilizou-se a cultivar IAC 503, cujas sementes receberam tratamento químico, com mistura contendo inseticidas e fungicidas, conforme adotado em áreas comerciais. Para a condução das plantas, foi realizada adubação de plantio (0-20-20), aplicações de herbicidas, inseticidas e fungicidas de acordo com as recomendações para a cultura na região de Jaboticabal, SP. Embora tenha sido realizado o controle de pragas, este não afetou a detecção de injúrias de *E. enigmaticus*. Ainda, pelo fato de o tratamento de sementes apresentar período residual de até 21 dias após semeadura (DAS) e as avaliações terem ocorrido a partir de 30 DAE, estas não inviabilizaram o desenvolvimento do experimento.

### **5.1.2.2 Delineamento experimental**

O experimento de campo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Para tanto, 50 plantas em área experimental com 800 m<sup>2</sup> foram selecionadas aleatoriamente, sendo divididas em grupos de 10 plantas (repetições) que correspondiam às notas visuais de injúria (1 a 5). Os grupos de plantas com diferentes notas de injúria corresponderam aos tratamentos. Ainda, em cada planta, foram avaliados os quatro folíolos da folha mais nova, assim como em casa de vegetação, atribuindo notas para cada um deles.

Diferentemente do experimento em casa de vegetação, no qual foi realizada infestação artificial, o experimento em campo apoiou-se na ocorrência

natural de *E. enigmaticus* na área, logo, não se tem um número de ninfas estabelecido por folha.

### **5.1.2.3 Avaliação da resposta espectral e fisiológica**

Para as informações de reflectância, o sensor Sony Cyber-shot DSC-W350® foi utilizado, mantendo-se a mesma altura de trabalho utilizada em casa de vegetação, bem como a superfície plástica branca para correção da luminosidade e o mesmo horário de avaliação. A coleta de dados referentes a resposta fisiológica em campo foi realizada aos 32 DAE das plantas. Assim como em casa de vegetação, utilizou-se o equipamento Ciras-3® para mensuração dos mesmos parâmetros fisiológicos citados.

## **5.2 Experimento 2 - Safra 2020/2021**

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação ( $30\pm 10^{\circ}\text{C}$ ; UR  $50\pm 30\%$  e luz natural) e a coleta de ninfas de *E. enigmaticus* ocorreu em campo de amendoim localizados na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Campus de Jaboticabal - SP. O sistema de cultivo e cronograma de aplicações de defensivos adotados para o amendoim cultivado a campo seguiram aquele praticado por produtores, excetuando a aplicação de inseticidas. Com isso, este campo teve por função servir como fonte de ninfas de *E. enigmaticus* para o experimento.

### 5.2.1 Semeadura e tratos culturais

Plantas de amendoim, cultivar IAC 503 (grupo Runner), foram semeadas em vasos de 5 L contendo substrato misto de terra e areia na proporção 2:1. Para este experimento, optou-se por sementes tratadas industrialmente com fungicida, inseticida e bioestimulante, utilizadas pelos produtores da região, uma vez que se observou, em testes preliminares, elevada infestação fúngica nas sementes sem tratamento, impedindo ou atrasando o processo de emergência. No entanto, durante a condução das plantas, não se realizou aplicação de fungicidas e tampouco de inseticidas. A adubação foi feita durante a preparação do substrato, acrescentando os fertilizantes superfosfato simples ( $P_2O_5$ ) e cloreto de potássio (KCl) nas doses de  $1,6 \text{ mg L}^{-1}$  de solo e  $0,8 \text{ mg L}^{-1}$  de solo, respectivamente. A irrigação para todas as plantas foi realizada diariamente.

### 5.2.2 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), com arranjo fatorial  $4 \times 3$ , com 8 repetições. Os tratamentos consistiram em quatro níveis de infestação (0, 4, 8 e 12 ninfas por folha) e três tempos de duração da infestação (2, 4 e 6 dias após infestação – DAI). Esses tempos de duração da infestação foram determinados com base no período dos dois estádios ninfais de *E. enigmaticus*, pois são essas fases que se alimentam ativamente nos folíolos fechados (MOUND; TEULON, 1995).

As parcelas foram constituídas de uma planta, sendo que os quatro folíolos da folha infestada foram avaliados. Assim como no Experimento 1,

atribuiu-se notas visuais de injúria aos folíolos avaliados com base na escala proposta por Moraes (2005), categorizada em notas de 1 a 5.

### **5.2.3 Coleta de ninfas de *E. enigmaticus* e infestação das plantas de amendoim**

Em campo de amendoim com infestação de *E. enigmaticus*, folíolos fechados foram coletados e levados para laboratório, onde as ninfas foram contabilizadas com auxílio de lente de aumento. Estes folíolos com número conhecido de ninfas de *E. enigmaticus* foram inseridos em microtubos plásticos de 2 ml com tampa (Eppendorf®) para evitar manipulações diretas que pudessem ocasionar danos ou mesmo a morte do inseto. Com isso, os microtubos foram agrupados de acordo com cada nível de infestação (item 5.2.2).

Para a infestação das plantas, os microtubos foram fixados com fita adesiva em palitos de madeira, os quais, por sua vez, foram fixados no solo a uma distância e altura próximas à folha tetrafoliolada mais nova da haste principal da planta de amendoim (Figura 3). Com isso, as ninfas puderam se deslocar para a planta sem qualquer manipulação direta. Os microtubos foram mantidos abertos e em contato com as plantas durante um período de 24 h.





**Figura 3.** Infestação de ninfas de *E. enigmaticus* com auxílio de microtubo plástico (Eppendorf®) posicionado próximo a folha tetrafoliolada mais nova da haste principal da planta de amendoim.

Destaca-se que a infestação precisou ser dividida em dois momentos, pois a quantidade de ninfas coletadas em campo não foi suficiente para suprir a demanda de infestação dos oito blocos (repetições) previstos. Assim, infestou-se primeiramente quatro blocos, quando as plantas se encontravam com 21 DAE, e, na semana seguinte, infestou-se os quatro blocos restantes, quando as plantas se encontravam com 28 DAE. Devido a essa readequação, para efeito de análise, os dados foram tratados separadamente levando-se em consideração as duas épocas de infestação como um novo fator experimental. Nesse sentido, utilizou-se o arranjo fatorial 4x3x2, com 4 repetições, sendo quatro níveis de infestação (0, 4, 8 e 12 ninfas por folha), três tempos de duração da infestação (2, 4 e 6 dias após infestação – DAI) e duas épocas de infestação (21 DAE e 28 DAE).

No entanto, ao notar que os níveis de infestação estipulados não corresponderam proporcionalmente à injúria observada nos folíolos de amendoim, decidiu-se pelo reagrupamento dos níveis. Para tanto, os folíolos foram reagrupados em dois níveis de injúria de *E. enigmaticus*, separando em folíolos sem injúria e folíolos com baixa injúria, sendo esses correspondentes apenas às notas 2 e 3, pois eliminou-se os folíolos com notas 4 e 5 devido ao baixo número de amostras obtidas. Com isto, os níveis de infestação foram substituídos por estes níveis de injúria, enquanto que as duas épocas de infestação foram mantidas como fator. Ainda, o tempo de duração da infestação passou a ser tratado como covariável. Por fim, foi utilizado o arranjo fatorial 2x2, sendo dois níveis de injúria (sem injúria e baixa injúria) e duas épocas de infestação (21 DAE e 28 DAE), em que foram utilizadas 225 repetições de folíolos sem injúria e 147 repetições de folíolos com baixa injúria.

#### **5.2.4 Avaliação da resposta espectral e fisiológica**

A avaliação da resposta espectral de plantas de amendoim foi realizada com os mesmos sensores utilizados no Experimento 1, bem como o mensurador de trocas gasosas (item 5.1.1.4). Os sensores GreenSeeker® e Sony Cyber-shot DSC-W350® foram utilizados em três momentos (2, 4 e 6 DAI), tanto para a primeira época de infestação (21 DAE), como para a segunda época de infestação (28 DAE), totalizando seis avaliações. Salienta-se que se procedeu a avaliação prévia das plantas, anterior à infestação (“Pré-infestação”), a fim de se obter um panorama balizador das plantas. O período definido para início das avaliações com esses sensores foi entre o final da manhã e início da tarde,

considerando a incidência da luminosidade neste período e visando evitar ocorrências de sombreamento nas imagens capturadas. Quanto ao sensor hiperespectral Resonon Pika L®, a avaliação foi feita aos 13 DAI de cada época de infestação.

O mensurador de trocas gasosas Ciras-3® foi utilizado também aos 13 DAI de cada época de infestação. As medidas dos parâmetros fisiológicos sempre foram realizadas a partir das 07h00min (horário de Brasília – DF), portanto, antes de proceder o destacamento dos folíolos para avaliação com sensor hiperespectral. Ainda, realizou-se a calibração dos parâmetros em folíolo sadio, bem como utilizou-se a área de 4,5 cm<sup>2</sup> da câmara de mensuração (PLC3 Leaf Cuvette) onde cada folíolo é inserido para a medição, a qual é obtida com a estabilização dos parâmetros. Assim como no Experimento 1, quando tais avaliações ocorreram aos 15 DAI, assumiu-se também que, aos 13 DAI, as ninfas de *E. enigmaticus* já tinham causado injúrias, já que os insetos utilizados na infestação já deveriam ter completado seu ciclo de vida que é de 13 dias (MOUND; TEULON, 1995).

Os quatro folíolos expandidos foram avaliados individualmente nas imagens obtidas pelo sensor RGB e pelo Ciras-3, enquanto que pelo sensor hiperespectral foi extraída a reflectância dos quatro folíolos em conjunto. Já o GreenSeeker avalia o dossel da planta.

### **5.3 Análise de dados**

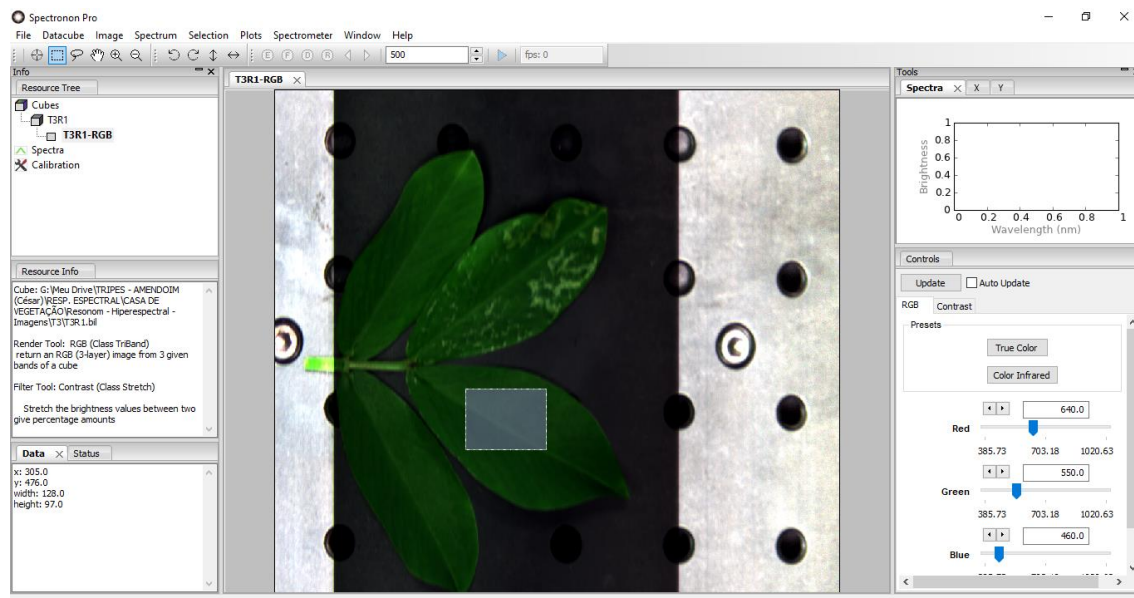
Modelos lineares mistos ( $\alpha=0,05$ ) (PROC MIXED) foram utilizados para avaliar o efeito dos diferentes níveis de infestação e posição dos folíolos

(Experimento 1), bem como para avaliar o efeito dos níveis de injúria e épocas de infestação (Experimento 2) sobre os parâmetros fisiológicos das folhas de amendoim. As notas visuais de injúria foram fixadas como covariáveis no Experimento 1, enquanto que no Experimento 2 os tempos de duração da infestação foram as covariáveis. Além disso, para a avaliação da relação entre as diferentes notas visuais de injúria e os parâmetros de trocas gasosas obtidos nos experimentos, realizou-se análise de regressão utilizando PROC REG. Estas análises foram realizadas com auxílio do software SAS (SAS Institute, 2015).

Com o objetivo de compreender a resposta das trocas gasosas dos folíolos de amendoim sob diferentes notas visuais de injúria, obtidas no Experimento 1, foi desenvolvido um modelo de árvore de regressão que possui a taxa de fotossíntese como variável resposta. Utilizamos a biblioteca `sklearn.tree` para criar a árvore de regressão e uma validação cruzada padrão 5-StratifiedKFold com `GridSearchCV` para definir a profundidade máxima da árvore, o número mínimo de amostras necessárias para dividir um nó interno e a função para medir a qualidade de uma divisão. Portanto, adotamos os parâmetros de trocas gasosas como variáveis explicativas (preditoras).

O processamento de todas as imagens utilizadas para obtenção dos valores de reflectância foi realizado através do software SpectronPro v2.45® (Resonon, Bozeman) (RESONON, 2019) (Figura 4). Para análise de dados hiperespectrais, obtidos pelo sensor Resonon Pika L®, os folíolos foram divididos em duas categorias: não injuriados e injuriados; para as quais calculou-

se a reflectância média em cada comprimento de onda da faixa que o sensor abrange.



**Figura 4.** Delimitação da região para obtenção de reflectância de folíolos de amendoim não injuriados e injuriados por *E. enigmaticus* por meio do software SpectrononPro v2.45®.

Com o intuito de verificar a possibilidade de previsão em discernir folíolos injuriados por *E. enigmaticus* e folíolos saudáveis, o modelo Random Forest Classification (RFC) foi utilizado com auxílio da biblioteca de aprendizado de máquina Scikit-learn: Machine Learning in Pythonv3.6 (PEDREGOSA et al., 2011). Neste caso, foi utilizada a faixa do espectro visível (RGB) (400 a 700 nm) dos dados de reflectância coletados no Experimento 1, porque esta exibiu separação nos espectros de referência da amostra. Os parâmetros RFC foram selecionados por uma validação cruzada 5-StratifiedKFold padrão com GridSearchCV da biblioteca sklearn.model\_selection usando Pythonv3.6. Para avaliar a robustez do modelo, usamos a precisão, acurácia, recall e f1-score de nosso modelo RFC, usando 70% dos dados para treinamento e 30% para validação de dados de teste.

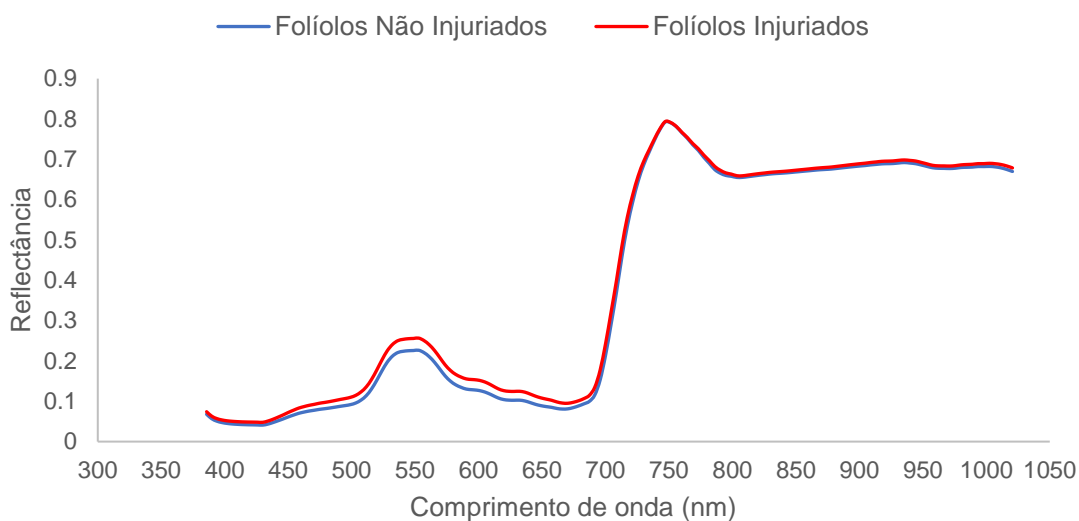
A análise de componentes principais (ACP) dos dados obtidos pelos dois experimentos foi empregada para associar os diferentes índices de vegetação e parâmetros fisiológicos com os níveis de injúria atribuídos aos folíolos de amendoim avaliados. Os índices de vegetação foram calculados a partir da reflectância obtida na região visível pelo sensor Cyber-shot DSC-W350® e os parâmetros fisiológicos adquiridos pela mensuração com o aparelho Ciras-3®. A análise de ACP, portanto, permite sintetizar grande quantidade de informação original contida nas variáveis  $p$  ( $p = 7$ , no Experimento 1;  $p = 8$ , no Experimento 2) em duas variáveis ortogonais chamadas de componentes principais, que são combinações lineares das variáveis ortogonais criadas que podem ser visualizadas graficamente, com perda mínima de informações (HUSSON et al., 2017). Para esta análise, foi usada a função ACP nos pacotes FactoMineR (para a análise) e Factoextra (para visualização do gráfico) no software estatístico R v3.61 (The R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria).

## **6 RESULTADOS**

### **6.1 Experimento 1 - Safra 2019/2020**

#### **6.1.1 Casa de vegetação**

O padrão de reflectância obtido pelo sensor hiperespectral permitiu distinguir os folíolos não injuriados daqueles injuriados na região visível do espectro, que compreende o intervalo entre 400 e 700 nm (Figura 5). Desse modo, os folíolos que não apresentaram injúria de *E. enigmaticus* apresentaram menor reflectância do que folíolos com injúria. Já nas regiões do infravermelho próximo (NIR) e infravermelho curto (SWIR = *shortwave infrared*), a partir de 700 nm, ambas as curvas apresentam maior semelhança.



**Figura 5.** Padrão de reflectância de folíolos de amendoim não injuriados e injuriados por *E. enigmaticus* em casa de vegetação, aos 34 DAE, com infestação ocorrida aos 19 DAE.

Ainda, o modelo Random Forest Classification (Tabela 5) indicou que o comprimento de onda de 607,05 nm possui maior importância para diferenciar folíolos com injúria de *E. enigmaticus* de folíolos sem injúria.

**Tabela 5.** Importância dos comprimentos de onda (nm) definidos pelo modelo Random Forest Classification na diferenciação dos folíolos de amendoim infestados e não infestados por *E. enigmaticus* em casa de vegetação.

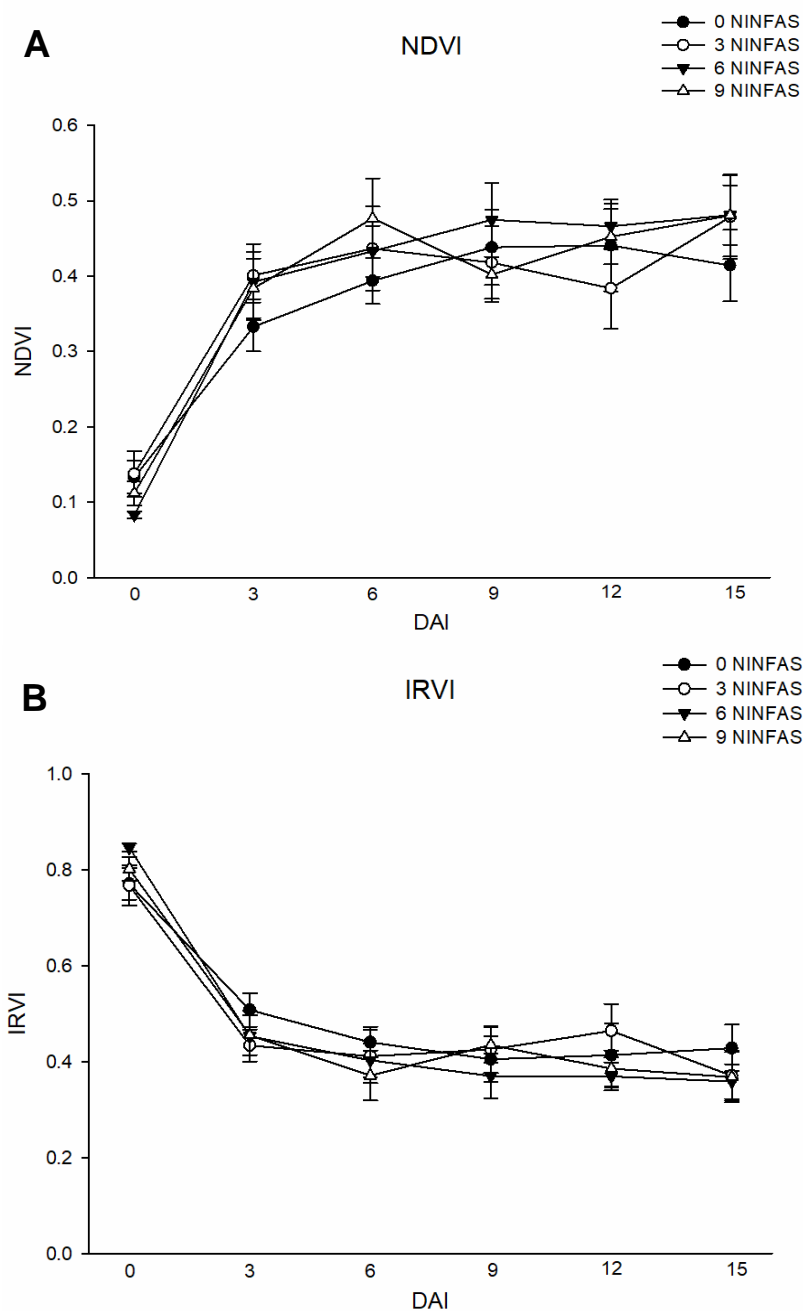
	Comprimentos de onda (nm)	Importância	Média da Reflectância ( $\pm$ EPM)	
			Não Injuriados	Injuriados
1	607,05	0,032067	0,1204 $\pm$ 0,003	0,1450 $\pm$ 0,004
2	474,69	0,030935	0,0800 $\pm$ 0,001	0,0952 $\pm$ 0,002
3	644,90	0,026780	0,0924 $\pm$ 0,002	0,1126 $\pm$ 0,003
4	653,35	0,026634	0,0868 $\pm$ 0,002	0,1053 $\pm$ 0,003
5	486,95	0,025896	0,0854 $\pm$ 0,001	0,1019 $\pm$ 0,003
6	602,86	0,024208	0,1249 $\pm$ 0,003	0,1500 $\pm$ 0,004
7	385,73	0,023880	0,0678 $\pm$ 0,006	0,0741 $\pm$ 0,001
8	503,34	0,022600	0,0958 $\pm$ 0,002	0,1149 $\pm$ 0,003
9	478,77	0,022544	0,0816 $\pm$ 0,001	0,0971 $\pm$ 0,002
10	499,24	0,022478	0,0918 $\pm$ 0,001	0,1099 $\pm$ 0,003

Na Figura 6 estão apresentados os resultados obtidos para os índices de vegetação NDVI e IRVI a partir da avaliação com o sensor GreenSeeker® em casa de vegetação. Ao longo dos dias após infestação (DAI), é possível observar



aumento em NDVI (Figura 6A) e redução em IRVI (Figura 6B), o qual é inversamente proporcional ao primeiro. No entanto, para ambos os índices avaliados não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Os índices obtidos aos 0 DAI correspondem ao momento em que as plantas ainda não haviam sido infestadas. Nos dias seguintes, isto é, após a infestação com diferentes níveis populacionais (0, 3, 6 e 9 ninfas), foi observado que os diferentes níveis de infestação de *E. enigmaticus* não influenciaram os índices NDVI e IRVI, de modo que esses não se mostram eficientes na caracterização de plantas de amendoim submetidas aos diferentes tratamentos.



**Figura 6.** Índices de vegetação NDVI (A) e IRVI (B) obtidos de plantas de amendoim sob diferentes níveis de infestação de *E. enigmaticus*, ao longo do tempo após infestação.

As plantas não infestadas por *E. enigmaticus* apresentaram concentração intercelular de CO<sub>2</sub> maior do que as plantas infestadas. Os valores desse parâmetro não são significativamente diferentes entre os folíolos avaliados (Tabela 6). Por outro lado, os valores de condutância estomática e taxa de

fotossíntese foram influenciados tanto pelos níveis de infestação, como também pela posição dos folíolos (Tabela 6). Ainda, foi observado que a taxa de transpiração e déficit de pressão de vapor foram menores quando houve infestação por *E. enigmaticus* (Tabela 6). A temperatura foliar foi similar entre os diferentes níveis de infestação e folíolos avaliados.

A intensidade do ataque de tripses-do-prateamento em amendoim, representada pela nota visual de injúria causada e utilizada como covariável na análise de modelos lineares mistos, afetou significativamente os parâmetros condutância estomática, taxa de fotossíntese, taxa de transpiração e déficit de pressão de vapor (Tabela 7). Apenas a variável temperatura foliar não foi afetada pelo nível de infestação.

A posição dos folíolos apresentou-se como fator importante na variação da condutância estomática, taxa de fotossíntese e taxa de transpiração. Ainda, a interação entre estes dois fatores (nível de infestação e posição dos folíolos) não foi significativa para os parâmetros fisiológicos, o que indica que os fatores atuam de maneira independente (Tabela 7).

O parâmetro concentração intercelular de CO<sub>2</sub> não foi afetado pelo aumento na intensidade da injúria provocada por *E. enigmaticus* (Figura 7A), enquanto a condutância estomática (Figura 7B), a taxa de fotossíntese (Figura 7C) e a taxa de transpiração (Figura 7D) apresentaram relação negativa com este fator. Por outro lado, o déficit de pressão de vapor (Figura 7E) e a temperatura foliar (Figura 7F) apresentaram relação positiva com o aumento da nota visual de injúria.

**Tabela 6.** Valores médios ( $\pm$ EPM) dos parâmetros fisiológicos observados nos diferentes níveis de infestação (0 ninfa, 3 ninfas, 6 ninfas e 9 ninfas) e posições dos folíolos (1, 2, 3 e 4) em plantas de amendoim infestadas por *E. enigmaticus*, em condições de casa de vegetação.

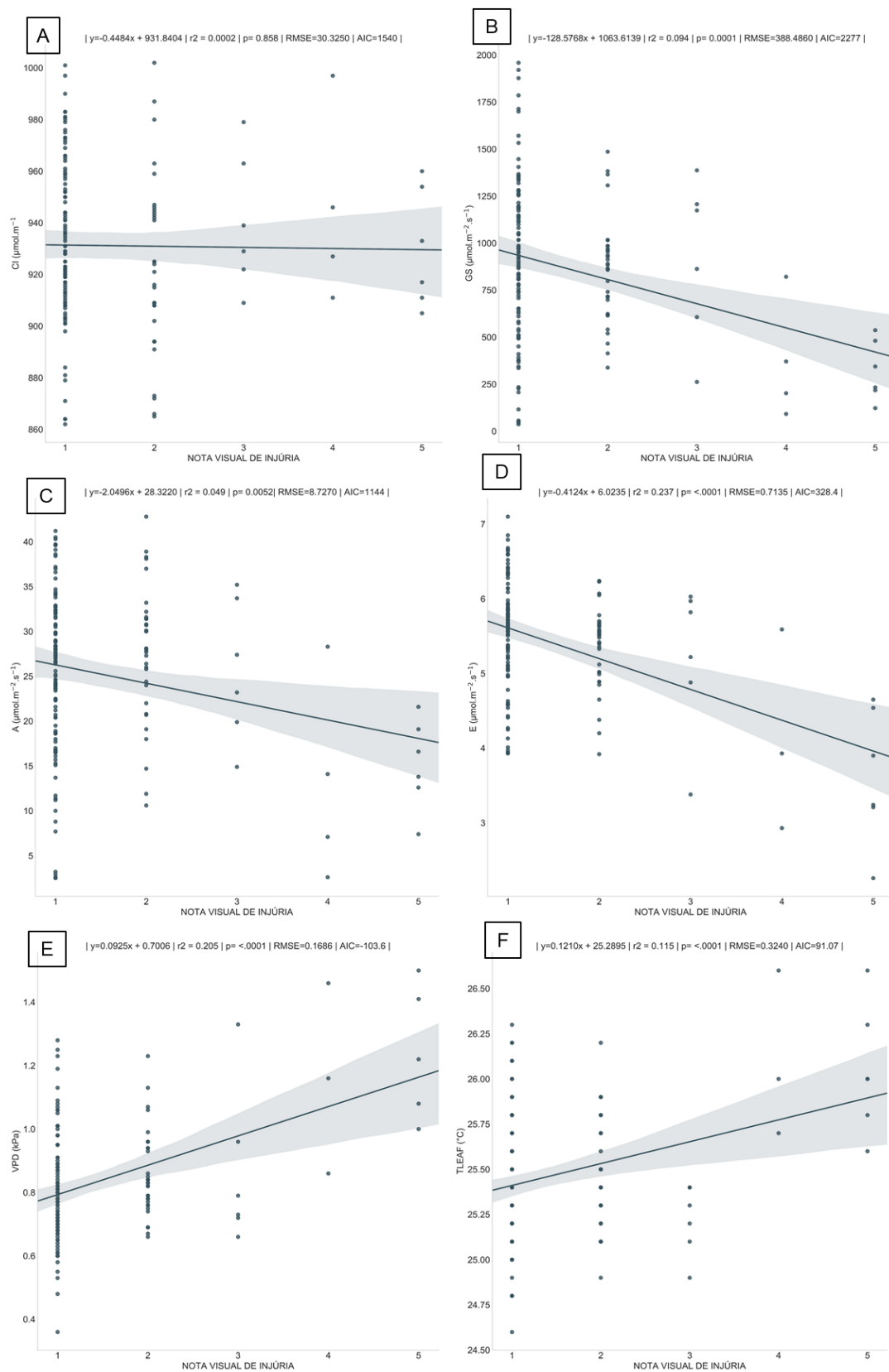
Fatoriais	Tratamentos	Concentração intercelular de CO <sub>2</sub> (Ci)		Condutância estomática (gs)		Taxa de fotossíntese (A)		Taxa de transpiração (E)		Déficit de pressão de vapor (VPD)		Temperatura foliar (Tleaf)	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Nível de Infestação (FA)	Controle	960,30	$\pm 6,14$ A	837,63	$\pm 78,88$ A	22,46	$\pm 1,59$ B	5,55	$\pm 0,15$ A	0,91	$\pm 0,03$ AB	25,44	$\pm 0,05$ A
	3 ninfas	929,22	$\pm 6,01$ B	503,11	$\pm 77,18$ B	22,98	$\pm 1,56$ AB	4,91	$\pm 0,16$ B	1,01	$\pm 0,04$ A	25,53	$\pm 0,06$ A
	6 ninfas	937,15	$\pm 5,97$ B	751,90	$\pm 77,30$ A	27,61	$\pm 1,54$ A	5,49	$\pm 0,15$ A	0,90	$\pm 0,03$ B	25,39	$\pm 0,05$ A
	9 ninfas	935,99	$\pm 5,97$ B	632,98	$\pm 77,01$ AB	25,78	$\pm 1,54$ AB	5,13	$\pm 0,14$ AB	0,99	$\pm 0,03$ A	25,51	$\pm 0,05$ A
Posição dos folíolos (FB)	1	937,86	$\pm 6,01$ A	620,58	$\pm 77,34$ AB	23,82	$\pm 1,55$ AB	5,10	$\pm 0,15$ A	0,98	$\pm 0,03$ A	25,50	$\pm 0,05$ A
	2	933,69	$\pm 5,99$ A	791,72	$\pm 77,31$ A	27,71	$\pm 1,54$ A	5,42	$\pm 0,15$ A	0,93	$\pm 0,03$ A	25,44	$\pm 0,05$ A
	3	942,18	$\pm 5,97$ A	729,98	$\pm 77,52$ AB	25,60	$\pm 1,54$ AB	5,46	$\pm 0,15$ A	0,92	$\pm 0,03$ A	25,47	$\pm 0,05$ A
	4	948,91	$\pm 5,97$ A	583,33	$\pm 76,43$ B	21,71	$\pm 1,54$ B	5,09	$\pm 0,15$ A	0,97	$\pm 0,03$ A	25,45	$\pm 0,06$ A

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 7.** Efeito da nota visual de injúria, nível de infestação e posição dos folíolos sobre as médias dos parâmetros fisiológicos de plantas de amendoim infestadas por *E. enigmaticus*, em condições de casa de vegetação.

Causas de Variação	Concentração intercelular de CO <sub>2</sub> (Ci)		Condutância estomática (gs)		Taxa de fotossíntese (A)		Taxa de transpiração (E)		Déficit de pressão de vapor (VPD)		Temperatura foliar (Tleaf)	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Nota visual de injúria	1,17	0,2803	<b>10,65</b>	<b>0,0014</b>	<b>8,19</b>	<b>0,0049</b>	<b>15,45</b>	<b>0,0001</b>	<b>14,56</b>	<b>0,0002</b>	3,76	0,0547
Nível de infestação (FA)	<b>8,28</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>6,16</b>	<b>0,0006</b>	<b>3,18</b>	<b>0,0259</b>	<b>5,82</b>	<b>0,0009</b>	<b>4,25</b>	<b>0,0067</b>	1,46	0,2291
Posição dos folíolos (FB)	2,09	0,1035	<b>2,93</b>	<b>0,0358</b>	<b>3,56</b>	<b>0,0159</b>	<b>2,78</b>	<b>0,0438</b>	1,07	0,3625	0,24	0,8652
FA*FB	0,27	0,9828	0,44	0,9131	0,26	0,9837	0,25	0,9858	0,83	0,5932	1,11	0,3635

Os valores considerados significativos estão destacados em negrito.



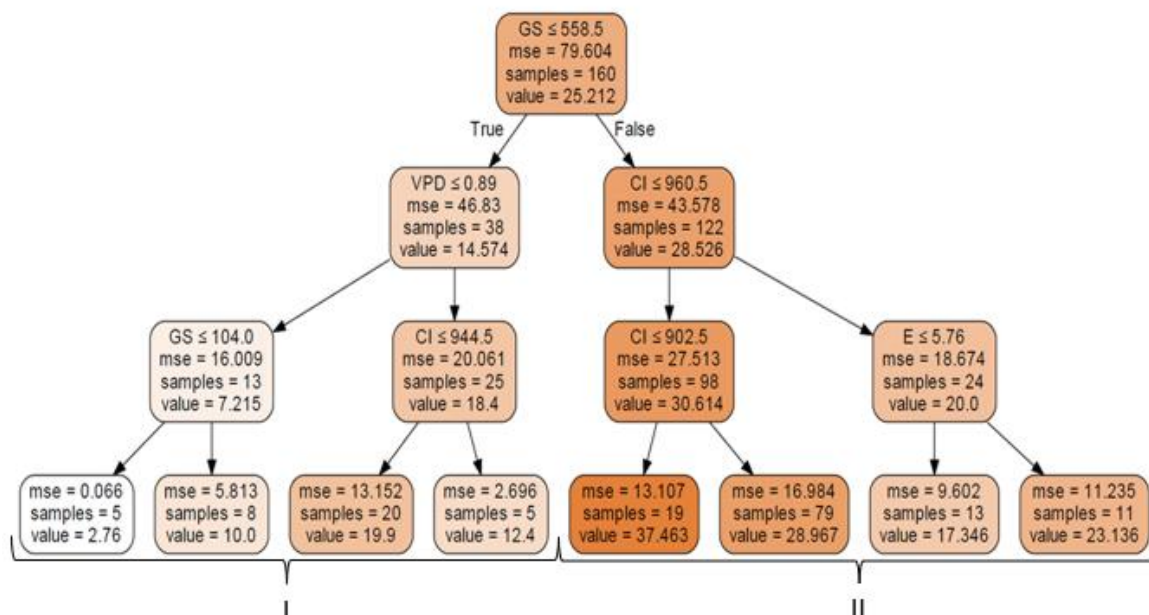
**Figura 7.** Resposta fisiológica de amendoim ao ataque do tripses *E. enigmaticus*. A - Concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ); B - Condutância estomática (gs); C - Taxa de fotossíntese (A); D - Taxa de transpiração (E); E - Déficit de pressão de vapor (VPD); F - Temperatura foliar ( $T_{leaf}$ ).

O modelo de árvore de regressão foi preciso em identificar os padrões das respostas fisiológicas das folhas de amendoim infestadas por *E. enigmaticus* ( $R^2 = 0,82$ ). Assim, o modelo descreveu a condutância estomática (GS) como sendo o parâmetro que melhor explica as variabilidades encontradas para os parâmetros fisiológicos (Figura 8). Dessa forma, foi possível verificar que as menores taxas fotossintéticas (Lado I) observadas nos folíolos com maior nota de injúria, apresentando estrias prateadas generalizadas e até encarquilhamento, estão diretamente relacionadas com as diminuições de condutância estomática (GS). Por outro lado, as maiores taxas de fotossíntese (Lado II), pertencentes aos folíolos sem injúria ou com pontuações prateadas iniciais e até início de enrolamento das bordas, foram relacionadas com aumentos de condutância estomática (GS).

Assim, o resultado obtido possibilita dividir em classes as diferentes notas visuais de injúria atribuídas aos folíolos de amendoim de acordo com a taxa fotossintética observada. Para folíolos com valor  $gs > 558,5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , passa-se a nós com taxa de fotossíntese (variável resposta) variando de 17,346 a 37,463  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Ao calcular a média do parâmetro taxa de fotossíntese para cada nota da escala, percebe-se que folíolos em situação de ausência de injúria de *E. enigmaticus* ou até com evidências de poucas pontuações prateadas e enrolamento inicial das bordas dos folíolos, ou seja, notas 1, 2 e 3, estão associados a classe de taxas intermediárias de fotossíntese, sendo possível casos de taxas altas e muito altas.

Por outro lado, folíolos com valor  $gs \leq 558,5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  implicam valores de taxa de fotossíntese intermediários a muito baixos. Esse caso aplica-

se, em geral, a folíolos com notas 4 e 5, que apresentam pontuações prateadas generalizadas em sua área e com maior evolução do enrolamento das bordas.



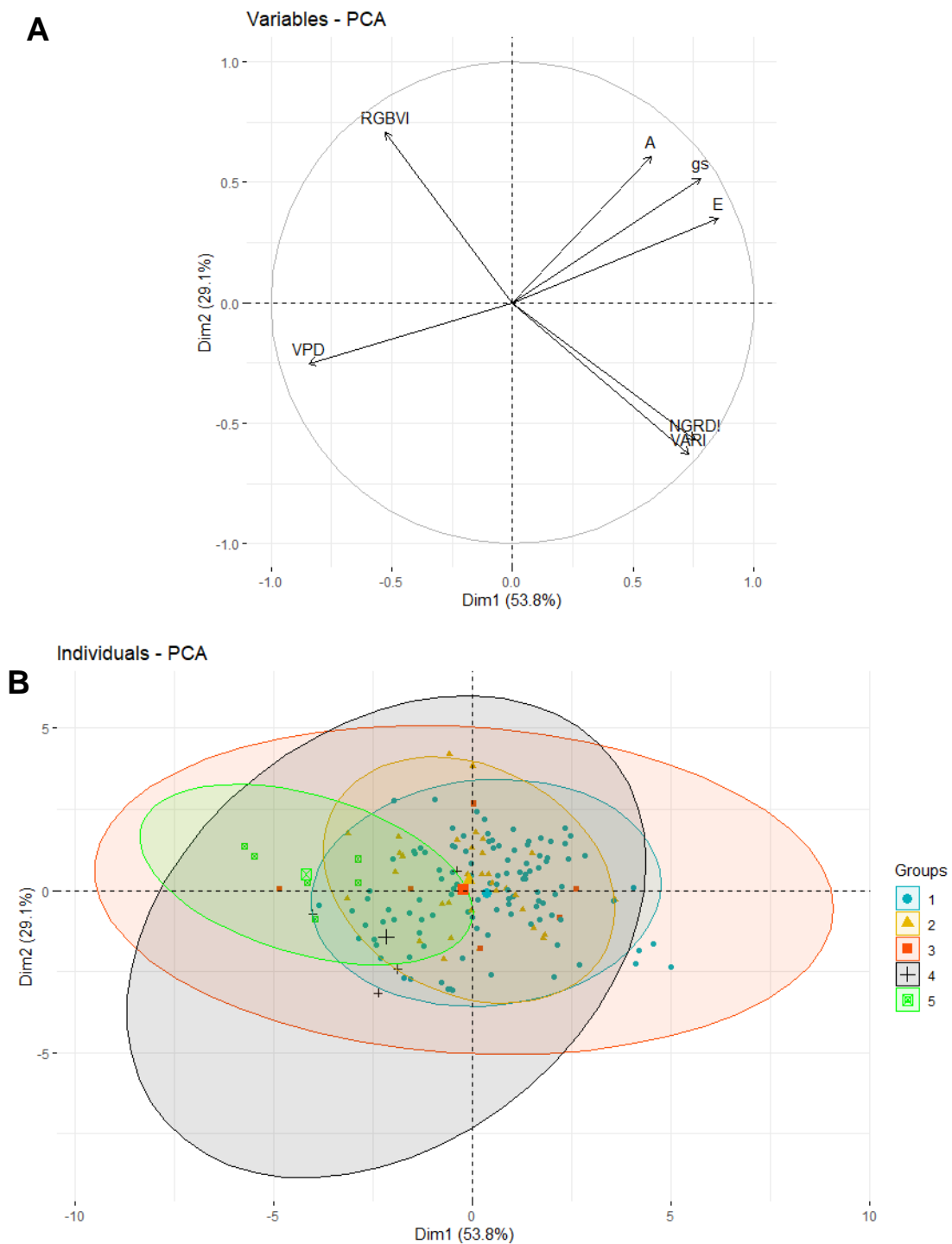
**Figura 8.** Árvore de regressão da resposta fisiológica de folíolos de amendoim injuriados e não injuriados por *E. nigmaticus* em casa de vegetação.

Na ACP (Figura 9), os parâmetros concentração intercelular de  $\text{CO}_2$ , temperatura foliar e Green Leaf Index (GLI) não contribuíram para representação da variabilidade dos dados, e, portanto, esses foram retirados da análise. Sendo assim, há forte correlação entre os parâmetros fisiológicos taxa de fotossíntese ( $r=0,58$ ;  $p<0,0001$ ), condutância estomática ( $r=0,78$ ;  $p<0,0001$ ) e taxa de transpiração ( $r=0,85$ ;  $p<0,0001$ ) (Figura 9A). Dessa forma, esses parâmetros foram agrupados sob o mesmo vetor, apresentando relação inversa com déficit de pressão de vapor ( $r=-0,84$ ;  $p<0,0001$ ).

Ainda, a análise mostrou que Visible Atmosphericly Resistant Index (VARI) ( $r=0,73$ ;  $p<0,0001$ ) e Normalized Green Red Difference Index (NGRDI) ( $r=0,76$ ;  $p<0,0001$ ) também estão correlacionados entre si, apresentando

relação inversa com Red Green Blue Vegetation Index (RGBVI) ( $r=-0,53$ ;  $p<0,0001$ ). Ao cruzar estas observações com as injúrias de *E. enigmaticus*, verifica-se que o agrupamento de folíolos com notas 3 e 4 distinguem-se daqueles sem injúria (nota 1) ou com poucas pontuações prateadas (nota 2) (Figura 9B). Destaca-se que esta ACP realizada foi capaz de explicar 82,9% da variabilidade dos dados.

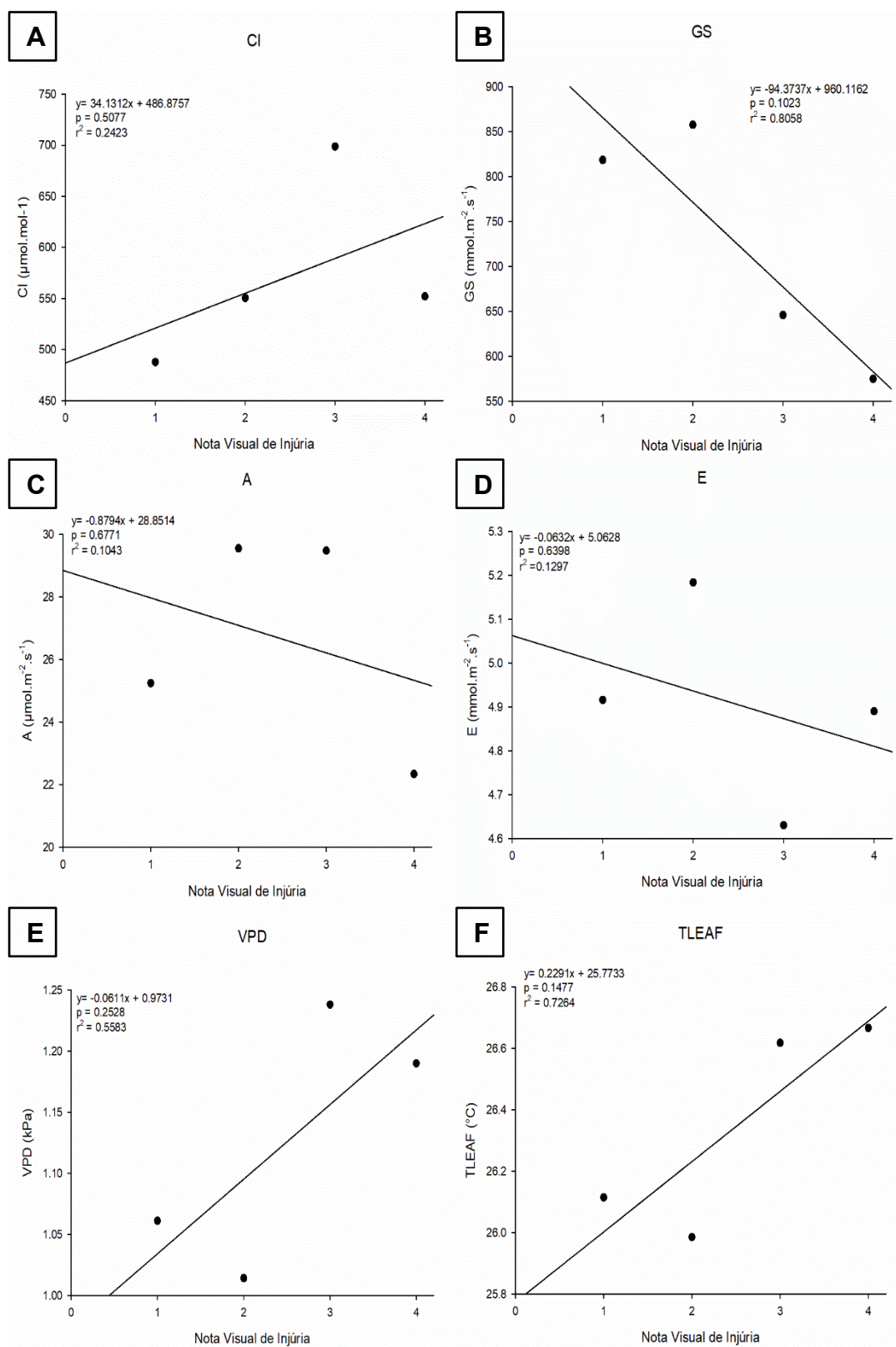




**Figura 9.** Análise de componentes principais (ACP) com índices de vegetação calculados a partir da reflectância da região do visível e parâmetros fisiológicos obtidos de plantas de amendoim infestadas e não infestadas por *E. enigmaticus* em casa de vegetação para diferentes notas visuais de injúria na escala de 1 a 5 (Grupos).

### **6.1.2 Campo experimental**

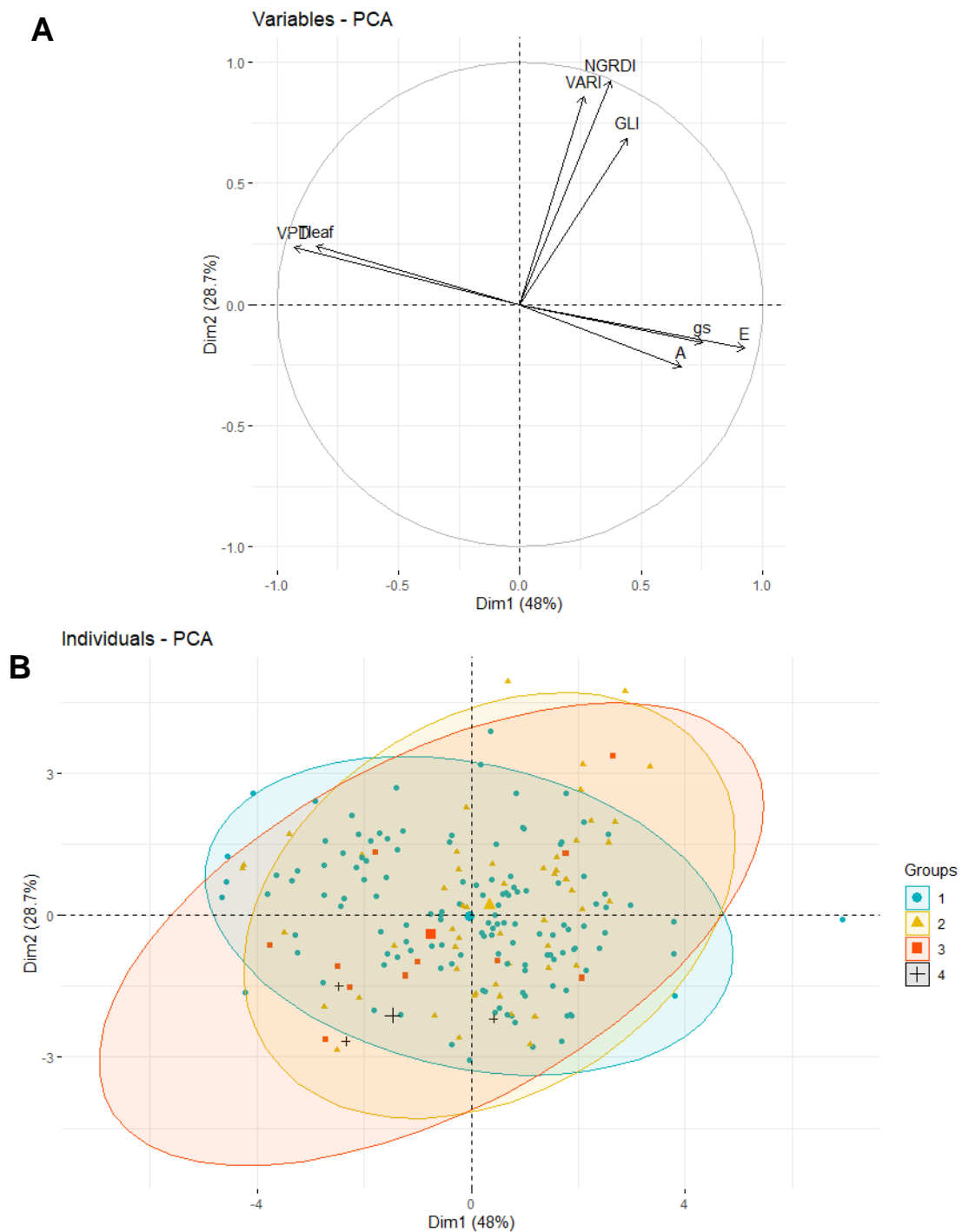
Os fatores concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Figura 10A), déficit de pressão de vapor (Figura 10E) e temperatura foliar (Figura 10F) apresentaram relação positiva com as notas visuais de injúria. Por outro lado, relação negativa foi verificada com condutância estomática (Figura 10B), taxa de fotossíntese (Figura 10C) e taxa de transpiração (Figura 10D).



**Figura 10.** Resposta fisiológica de amendoim ao ataque de *E. enigmaticus*. A - Concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci); B - Condutância estomática (gs); C - Taxa de fotossíntese (A); D - Taxa de transpiração (E); E - Déficit de pressão de vapor (VPD); F - Temperatura foliar (Tleaf).

Na ACP realizada para os dados de campo (Figura 11), da mesma forma que na casa de vegetação, a variável concentração intercelular de CO<sub>2</sub> não contribuiu para explicação do modelo e assim como a variável Red Green Blue Vegetation Index (RGBVI), ambas foram retiradas da análise. Houve correlação entre os parâmetros fisiológicos condutância estomática ( $r=0,75$ ;  $p<0,0001$ ), taxa de fotossíntese ( $r=0,66$ ;  $p<0,0001$ ) e taxa de transpiração ( $r=0,93$ ;  $p<0,0001$ ), os quais contêm relação inversa com déficit de pressão de vapor ( $r= -0,92$ ;  $p<0,0001$ ) e temperatura foliar ( $r=-0,83$ ;  $p<0,0001$ ). Quanto aos índices de vegetação, Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) ( $r=0,86$ ;  $p<0,0001$ ), Normalized Green Red Difference Index (NGRDI) ( $r=0,93$ ;  $p<0,0001$ ) e Green Leaf Index (GLI) ( $r=0,69$ ;  $p<0,0001$ ) possuem forte correlação entre si (Figura 11A) e, portanto, encontram-se agrupados no mesmo vetor. Esta análise de ACP foi capaz de explicar 76,7% da variabilidade dos dados.

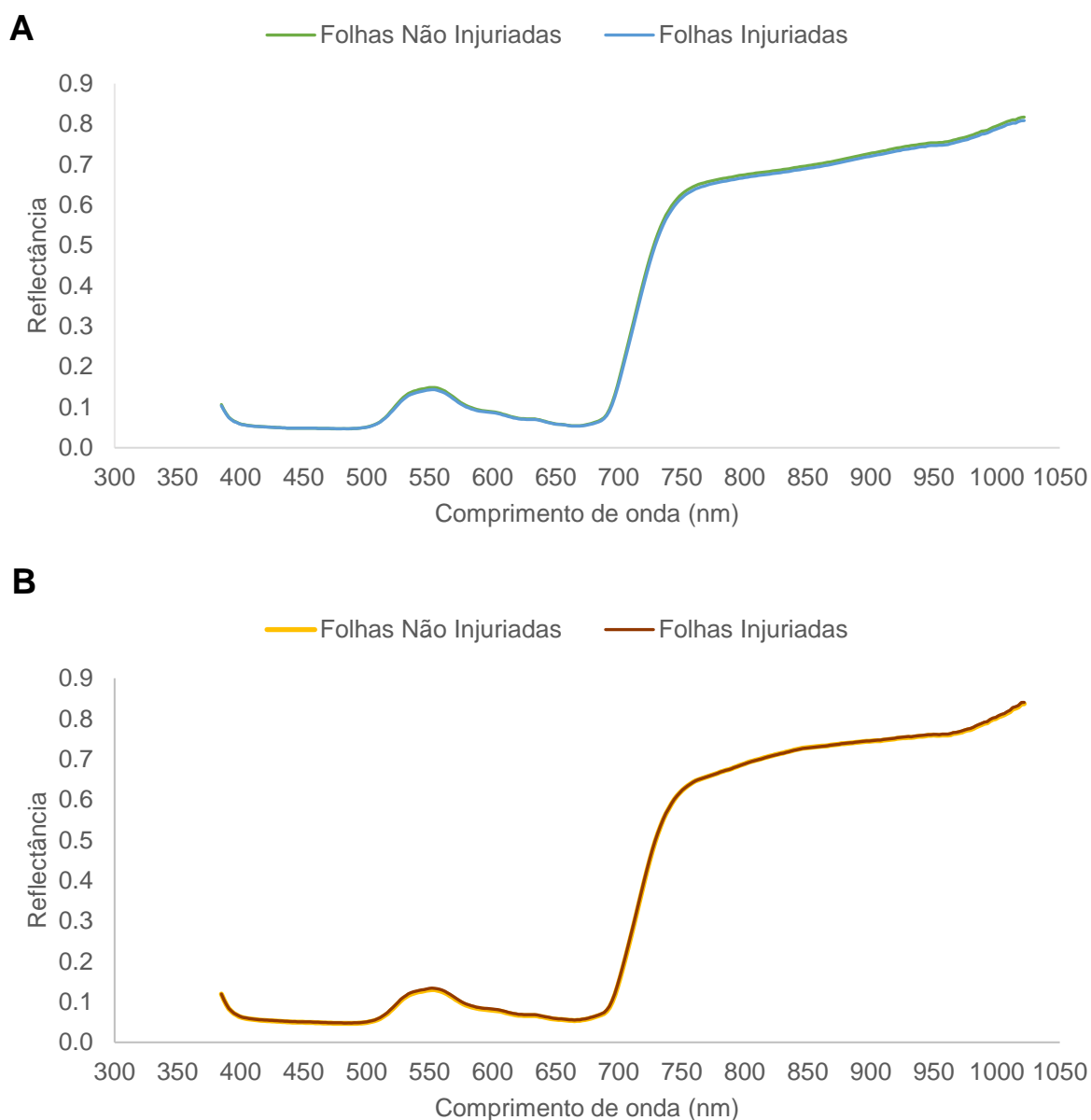
Quando se analisa o agrupamento das notas verifica-se que, pelo apontamento dos vetores, tais índices de vegetação foram importantes para diferenciar notas 2 e 3 de nota 1, enquanto que os parâmetros fisiológicos influenciaram o agrupamento de nota 1 (Figura 11B). Destaca-se que notas 5 não foram observadas em campo, além de raras notas 4.



**Figura 11.** Análise de Componentes Principais com índices de vegetação calculados a partir da reflectância da região do visível e parâmetros fisiológicos obtidos de plantas de amendoim infestadas e não infestadas por *E. enigmaticus* em campo experimental para diferentes notas visuais de injúria na escala de 1 a 4 (Grupos).

## 6.2 Experimento 2 - Safra 2020/2021

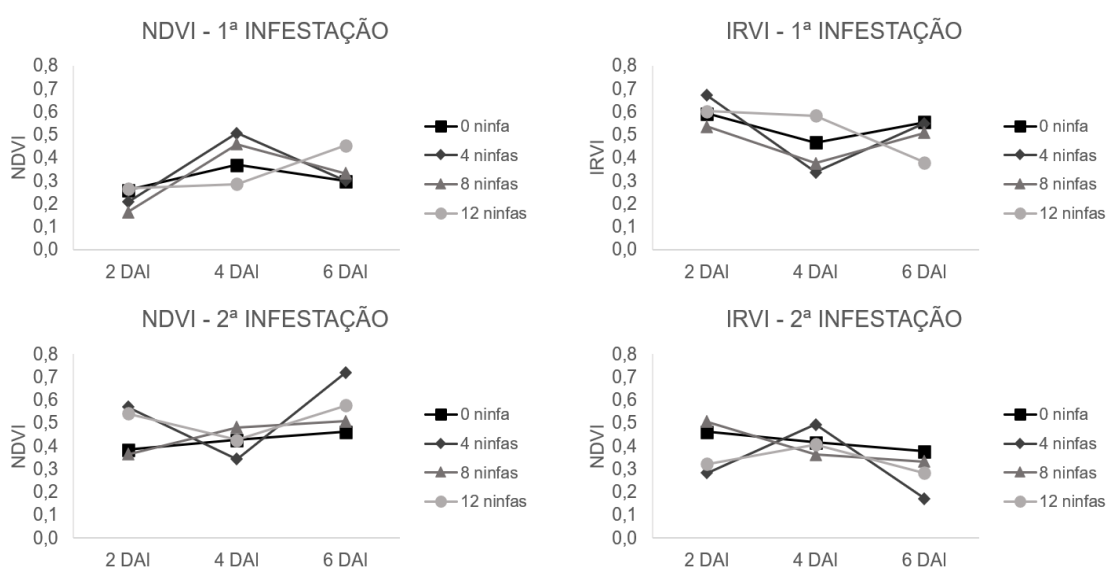
As reflectâncias obtidas pelo sensor hiperespectral foram extraídas da folha de amendoim mais nova da haste principal. Com isto, duas curvas espectrais foram elaboradas para observar o padrão de reflectância, sendo uma com as plantas infestadas aos 21 DAE e avaliadas com 13 DAI, portanto aos 34 DAE (Figura 12A) e outra com as plantas infestadas aos 28 DAE e avaliadas também com 13 DAI, portanto aos 41 DAE (Figura 12B). Assim, foi possível notar que o padrão de reflectância obtido das plantas com 34 DAE, bem como das plantas com 41 DAE, não permitiu distinguir folhas injuriadas por *E. enigmaticus* daquelas não injuriadas. No entanto, ao comparar estas duas épocas, observa-se que, entre 533,20 nm e 564,27 nm, isto é, na porção verde do espectro visível, a reflectância foi maior para as folhas das plantas com 34 DAE. Por outro lado, no intervalo de 785,00 nm a 936,56 nm e a partir de 1008,23 nm, que correspondem às faixas espectrais do NIR e SWIR, respectivamente, a reflectância foi maior para as folhas das plantas com 41 DAE.



**Figura 12.** Padrão de reflectância de folhas de amendoim não injuriadas e injuriadas por *E. enigmaticus* em casa de vegetação, aos 34 (A) e 41 (B) dias após emergência (DAE), com infestações ocorridas, respectivamente, aos 21 e 28 DAE.

Os índices de vegetação NDVI e IRVI coletados aos 2, 4 e 6 DAI de cada época de infestação mostraram-se variáveis ao longo do tempo para os diferentes níveis de infestação (0, 4, 8 e 12 ninfas) (Figura 13). Para as plantas da primeira infestação com 0, 4 e 8 ninfas, observa-se maiores valores de NDVI aos 4 DAI, seguido de redução aos 6 DAI. Comportamento oposto nota-se para

as plantas com 12 ninfas. Já para as plantas da segunda infestação, as plantas com 0 e 8 ninfas demonstram aumento em NDVI, ao passo que as plantas com 4 e 12 ninfas sofrem redução aos 4 DAI e aumento aos 6 DAI, sendo este o período em que todos níveis de infestação apresentaram os maiores valores de NDVI. Ressalta-se que IRVI é inversamente proporcional à NDVI, portanto refletem nos gráficos o resultado oposto.



**Figura 13.** Índices de vegetação NDVI e IRVI obtidos de plantas de amendoim sob diferentes níveis de infestação de *E. enigmaticus*, ao longo do tempo após infestação.

As plantas com baixo nível de injúria apresentaram diferença significativa em relação àquelas sem injúria somente na taxa de transpiração (Tabela 8). Nos demais parâmetros, os dois níveis de injúria analisados não apresentaram diferenças significativas (Tabela 8). Por outro lado, as plantas avaliadas aos 28 DAE apresentaram valores dos parâmetros diferentes em relação às plantas avaliadas aos 21 DAE, exceto para taxa de fotossíntese (Tabela 8).

O tempo de duração da infestação representado pelo número de dias após a infestação (2, 4 e 6 DAI), utilizado como covariável na análise de modelos



lineares mistos, exerceu influência significativa sobre o déficit de pressão de vapor e temperatura foliar (Tabela 9). O fator nível de injúria (FA), por sua vez, afetou apenas a taxa de transpiração, enquanto que o fator época de infestação (FB) afetou os parâmetros concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, condutância estomática, taxa de transpiração, déficit de pressão de vapor e temperatura foliar (Tabela 9). Por fim, não houve efeito significativo sobre nenhum dos parâmetros quanto a interação entre estes dois fatores analisados (Tabela 9).

Na análise de regressão, pode-se verificar que a concentração intercelular de CO<sub>2</sub> não foi afetada pelo aumento na intensidade da injúria provocada por *E. enigmaticus*, representada pela nota visual de injúria (Figura 14A). Por outro lado, a condutância estomática (Figura 14B), a taxa de fotossíntese (Figura 14C) e a taxa de transpiração (Figura 14D) apresentaram relação negativa com este fator, enquanto que o déficit de pressão de vapor (Figura 14E) e a temperatura foliar (Figura 14F) apresentaram relação positiva com o aumento da intensidade de injúria.

**Tabela 8.** Valores médios ( $\pm$ EPM) dos parâmetros fisiológicos observados nos diferentes níveis de injúria (Sem injúria e Baixa injúria) e épocas de infestação (21 DAE e 28 DAE) em plantas de amendoim infestadas por *E. enigmaticus*, em condições de casa de vegetação.

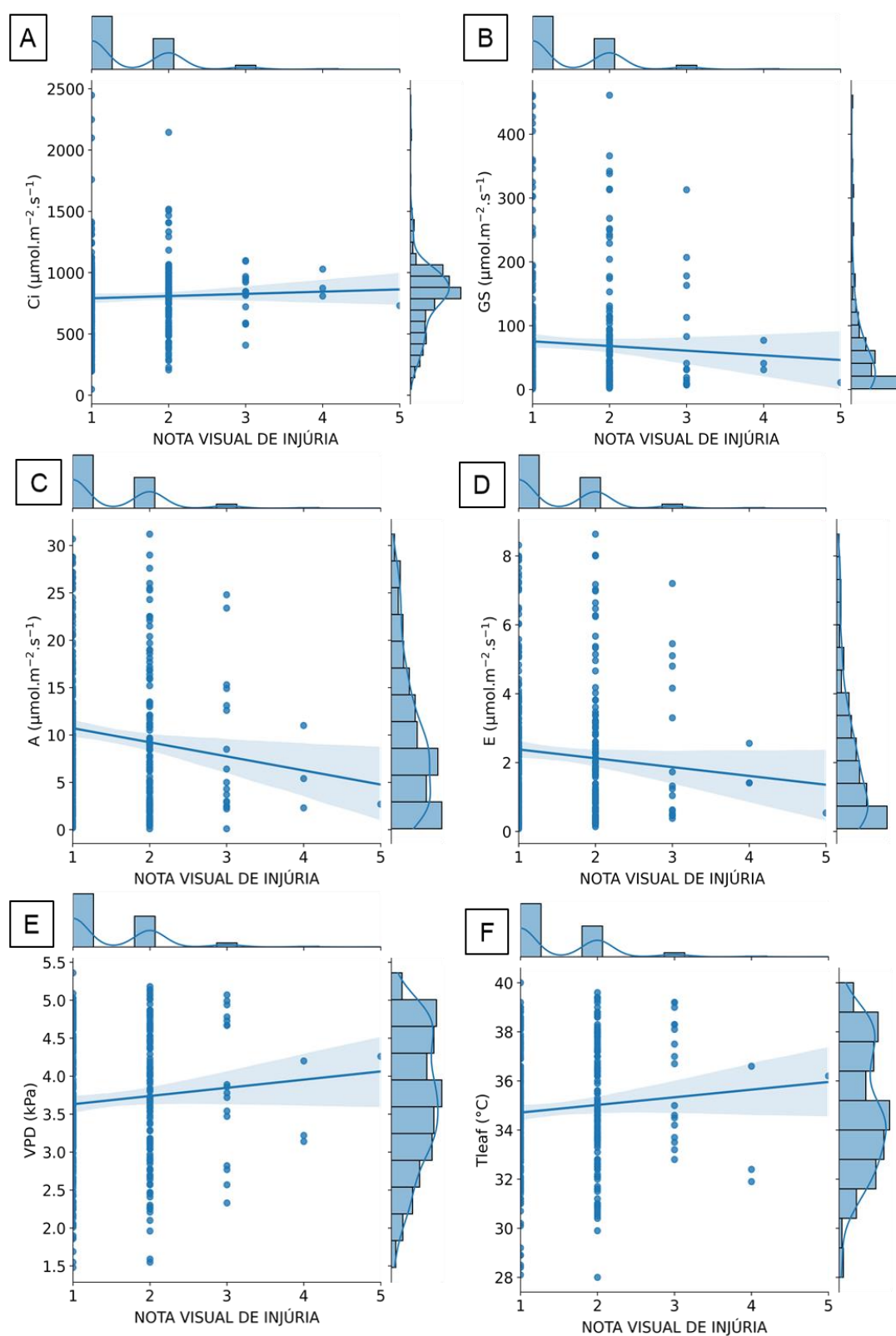
Fatoriais	Tratamentos	Concentração intercelular de CO <sub>2</sub> (Ci)	Condutância estomática (gs)	Taxa de fotossíntese (A)	Taxa de transpiração (E)	Déficit de pressão de vapor (VPD)	Temperatura foliar (Tleaf)
Nível de injúria (FA)	Sem injúria	1052,10 $\pm$ 27,03 A	76,79 $\pm$ 8,13 A	10,72 $\pm$ 0,55 A	2,69 $\pm$ 0,22 A	3,12 $\pm$ 0,09 A	31,99 $\pm$ 0,19 A
	Baixa injúria	1087,16 $\pm$ 27,37 A	68,23 $\pm$ 8,97 A	9,18 $\pm$ 0,68 A	2,23 $\pm$ 0,23 B	3,21 $\pm$ 0,10 A	32,19 $\pm$ 0,20 A
Época de infestação (FB)	21 DAE	1100,70 $\pm$ 25,15 A	86,15 $\pm$ 8,30 A	10,63 $\pm$ 0,62 A	2,74 $\pm$ 0,22 A	2,87 $\pm$ 0,09 A	30,92 $\pm$ 0,18 A
	28 DAE	1038,57 $\pm$ 29,21 B	58,87 $\pm$ 8,80 B	9,27 $\pm$ 0,60 A	2,19 $\pm$ 0,24 B	3,47 $\pm$ 0,10 B	33,26 $\pm$ 0,20 B

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 9.** Efeito do tempo de duração da infestação, nível de injúria e época de infestação sobre as médias dos parâmetros fisiológicos de plantas de amendoim infestadas por *E. enigmaticus*, em condições de casa de vegetação.

Causas de Variação	Concentração intercelular de CO <sub>2</sub> (Ci)		Condutância estomática (gs)		Taxa de fotossíntese (A)		Taxa de transpiração (E)		Déficit de pressão de vapor (VPD)		Temperatura foliar (Tleaf)	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Tempo de duração da infestação	1,97	0,1615	2,44	0,1193	0,37	0,5412	0,80	0,3707	8,13	<b>0,0046</b>	42,36	<b>&lt;0,0001</b>
Nível de injúria (FA)	2,34	0,1269	0,82	0,3671	3,09	0,0797	4,95	<b>0,0267</b>	1,18	0,2775	1,61	0,2056
Época de infestação (FB)	7,17	<b>0,0078</b>	8,34	<b>0,0041</b>	2,50	0,1148	6,78	<b>0,0096</b>	54,96	<b>&lt;0,0001</b>	201,18	<b>&lt;0,0001</b>
FA*FB	2,78	0,0963	2,47	0,1166	0,48	0,4871	1,23	0,2683	0,03	0,8736	0,75	0,3886

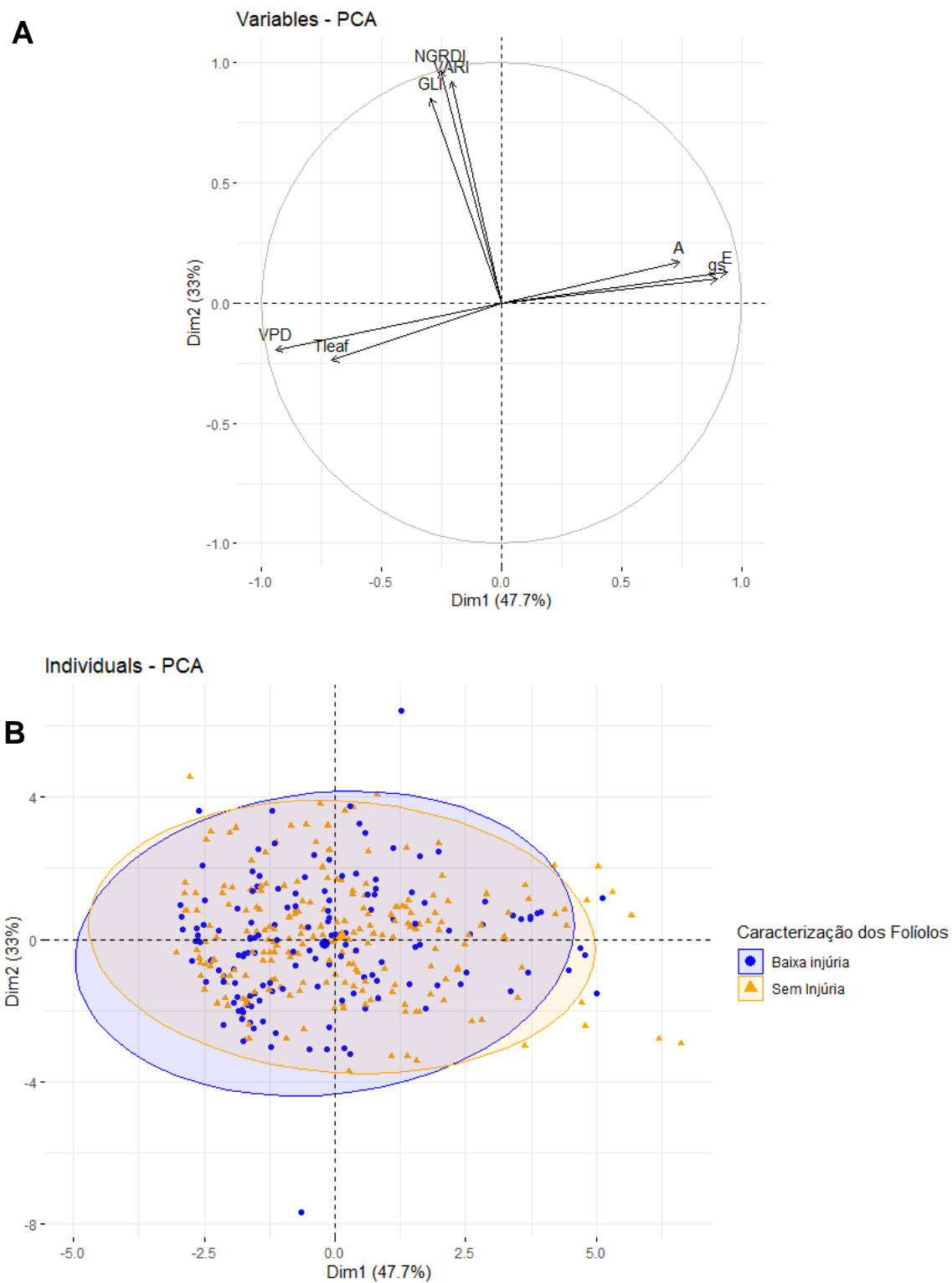
Os valores considerados significativos estão destacados em negrito.



**Figura 14.** Resposta fisiológica de amendoim ao ataque do trips *E. enigmaticus* expresso na forma de injúria causada aos folíolos. A - Concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci); B - Condutância estomática (gs); C - Taxa de fotossíntese (A); D - Taxa de transpiração (E); E - Déficit de pressão de vapor (VPD); F - Temperatura foliar (Tleaf).

Na ACP (Figura 15), o parâmetro concentração intercelular de CO<sub>2</sub> e o índice de vegetação Red Green Blue Vegetation Index (RGBVI) não contribuíram para representação da variabilidade dos dados e, portanto, foram retirados da análise. Observa-se forte correlação entre taxa de fotossíntese ( $r=0,74$ ;  $p<0,0001$ ), condutância estomática ( $r=0,90$ ;  $p<0,0001$ ) e taxa de transpiração ( $r=0,94$ ;  $p<0,0001$ ), visto que seus vetores estão agrupados no mesmo quadrante e, além disso, encontram-se opostos aos vetores dos parâmetros déficit de pressão de vapor ( $r=0,94$ ;  $p<0,0001$ ) e temperatura foliar ( $r=0,71$ ;  $p<0,0001$ ), o que indica relação inversa (Figura 15A). Ainda, a análise mostrou que Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) ( $r=0,21$ ;  $p<0,0001$ ), Normalized Green Red Difference Index (NGRDI) ( $r=0,25$ ;  $p<0,0001$ ) e Green Leaf Index (GLI) ( $r=0,26$ ;  $p<0,0001$ ) também apresentaram correlação entre si (Figura 15A).

Ao relacionar estas observações com os dois níveis de injúria de *E. enigmaticus* analisados, verifica-se sobreposição das nuvens de pontos, o que dificulta uma obtenção nítida da distinção entre ambos os grupos (Figura 15B). Todavia, ressalta-se que esta análise de ACP foi capaz de explicar 80,7% da variabilidade dos dados.



**Figura 15.** Análise de Componentes Principais com índices de vegetação calculados a partir da reflectância da região visível do espectro e parâmetros fisiológicos (A) obtidos de fôliolos de amendoim infestados e não infestados por *E. enigmaticus* em casa de vegetação para diferentes níveis de injúria (B).

## 7 DISCUSSÃO

A proposta principal deste trabalho foi estudar a interação entre a herbivoria de *E. enigmaticus* e plantas de amendoim com foco nas respostas espectral e fisiológica. Dessa forma, pretende-se com esta linha de pesquisa fornecer bases para a incorporação da agricultura digital nos programas de MIP-Amendoim, além de elucidar importantes aspectos relacionados à interação inseto-planta.

O padrão de reflectância obtido nos dois experimentos mostraram-se divergentes quanto à distinção dos folíolos injuriados e não injuriados. No Experimento 1, o aumento da reflectância na região visível do espectro, entre 400 e 700 nm, com maior importância para 607,05 nm, indica que o processo fotossintético das plantas injuriadas foi afetado, pois esta faixa corresponde à radiação fotossinteticamente ativa (PAR, *photosynthetically active radiation*) das plantas, sendo nessa porção do espectro que os pigmentos fotossintéticos realizam a absorção luminosa (QIN et al., 2019). No Experimento 2, entretanto, não se verificou diferença na reflectância das folhas injuriadas e não injuriadas para as duas épocas avaliadas (34 e 41 DAE).

É conhecido que as regiões do espectro onde é mais comum identificar estresses em plantas são as faixas do visível (400 a 700 nm) e do infravermelho, sendo que neste há a subdivisão em infravermelho próximo (NIR: 700 a 1000 nm) e infravermelho curto (SWIR: 1000 a 2500 nm) (SANTOS, 2019). A faixa do visível é associada à concentração dos pigmentos fotossintéticos das plantas; logo a ocorrência de maior reflectância nessa região tem ligação com menor absorção luminosa pelas clorofilas *a* e *b*. Por outro lado, na porção NIR as alterações na reflectância sugerem mudanças na morfologia e estrutura interna da folha (PRABHAKAR; PRASAD; RAO, 2012), enquanto que as reflectâncias obtidas na porção SWIR se relacionam com o conteúdo de água e metabólitos (BEHMAN et al., 2014).

Em estudo realizado com o tripes *Fulmekiola serrata* (Thysanoptera: Thripidae) em cana-de-açúcar, foi verificado que a região da borda do vermelho, em torno de 680 nm, apontou maiores diferenças significativas na reflectância causada pelo inseto, indicando associação com deficiências de clorofila e nitrogênio induzidas pelo tripes (ABDEL-RAHMAN et al., 2010). Fraulo, Cohen e Liburd (2009) obtiveram êxito em discriminar por meio do padrão de reflectância níveis de infestação baixo, moderado e alto de população de *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) em plantas de morango na região NIR, destacando com maior importância para fins de diagnóstico o intervalo entre 800 e 1300 nm, onde mostrou-se possível distinguir o nível baixo de moderado.

Todavia, para Herrmann et al. (2017), diferentes níveis de danos causados por *T. urticae* em folhas de pimentão e feijão apresentaram comportamento distintos tanto na reflectância da porção do NIR, como na porção

visível em ambas as culturas. Ainda, Iost Filho (2019) também encontrou alteração na região do espectro visível para diferentes níveis de infestação de *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) em plantas de soja.

Portanto, a resposta espectral de plantas de amendoim infestadas com *E. enigmaticus* sugere que a alimentação deste inseto pode estar associada a danos que afetem a absorção de radiação pela clorofila, bem como há possibilidade de danos relacionados com a estrutura interna da folha influenciando, ainda, seu teor de água. Por estas razões, ressalta-se a importância desta praga para a cultura, pois sua herbivoria provoca danos à planta ligados aos processos fisiológicos que, conseqüentemente, podem prejudicar a produção de amendoim.

Os resultados referentes aos índices NDVI e IRVI não se mostraram satisfatórios para discernir os diferentes níveis de infestação ao longo do período de avaliação. Tal proposição pode estar associada com o fato de o equipamento utilizado nesta avaliação (GreenSeeker®) ser um sensor de dossel, enquanto que a lesão de *E. enigmaticus* localizava-se pontualmente nos folíolos novos, à exceção de alguns folíolos subjacentes. Assim, os comportamentos de NDVI e de IRVI observados justificam-se pela correlação existente com a biomassa conforme o desenvolvimento das plantas de amendoim (ZERBATO et al., 2016).

Os níveis de infestação estipulados para os dois experimentos (itens 5.1.1.2 e 5.2.2) não corresponderam com os resultados esperados, pois observou-se relação desproporcional entre o número de ninfas infestadas com o surgimento de injúrias. Pretendia-se com o aumento do número de ninfas por folha no Experimento 2 evitar a desproporção dos níveis de injúrias e a baixa



frequência de notas elevadas (4 e 5), entretanto a metodologia de infestação adotada, em que se manteve microtubos com ninfas e folíolos de amendoim ao lado das plantas por um período de 24 h, não se mostrou adequada para garantir a movimentação dos insetos para as plantas. Logo, o aprimoramento dessa metodologia de infestação é recomendado em estudos futuros.

Ainda, é possível que os níveis adotados, em ambos experimentos, sejam suficientemente elevados para causar maior competição intraespecífica, de forma que os insetos se movimentem para outras partes da planta. Além disso, observou-se na condução do experimento que plantas de amendoim em casa de vegetação demonstram ter frequência de emissão de folíolos e biomassa menores do que plantas cultivadas em campo. Isto pode atuar como um fator de atenuação do estímulo de ataque de *E. enigmaticus* em situação de ambiente protegido, uma vez que, segundo Castro et al. (1972), quanto maior a intensidade da emissão de novos folíolos, mais favorecida é a infestação de tripses e, por outro lado, uma baixa emissão de folíolos reduz a infestação, pois haverá menos locais de alimentação e reprodução para o inseto. Apesar disso, ainda assim foi possível obter amostras de folíolos injuriados e, assim, avaliar a relação entre os fatores de resposta fisiológica e notas visuais de injúria. Todavia, para futuros experimentos, aspectos do comportamento de movimentação dos insetos precisam ser considerados para assegurar a obtenção dos níveis de injúria desejados.

A relação entre os parâmetros da resposta fisiológica e as notas visuais de injúria foram semelhantes nos experimentos realizados. A concentração intercelular de CO<sub>2</sub> em casa de vegetação não sofreu influência significativa da

injúria provocada por *E. enigmaticus*, diferentemente da avaliação em campo, onde tal parâmetro apresentou relação positiva com a injúria. Além disso, nota-se que os valores de concentração intercelular de CO<sub>2</sub> das plantas em casa de vegetação são maiores do que aqueles observados em campo.

A baixa frequência de notas elevadas (4 e 5) de injúria para plantas a campo podem ter interferido na análise. Por outro lado, o aumento de concentração intercelular de CO<sub>2</sub> pode estar atrelado à redução na taxa de fotossíntese. Segundo Taiz et al. (2017), aumentos na fotossíntese no mesófilo requerem diminuições em concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, uma vez que para que a fotossíntese seja elevada, é necessária a redução de concentração intercelular de CO<sub>2</sub> para estimular a abertura dos estômatos (maior condutância estomática) e, conseqüentemente, a assimilação de CO<sub>2</sub>. Tal relação foi observada no modelo da árvore de regressão, em que folíolos com ausência ou baixo nível de injúria mostraram diminuição em concentração intercelular de CO<sub>2</sub> e aumento em taxa de fotossíntese, ao passo que o contrário ocorreu em folíolos com nível de injúria maior. Costa et al. (2017), ao avaliarem respostas fisiológicas em plantas de melão danificadas por *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) em casa de vegetação, encontraram elevação nos valores de concentração intercelular de CO<sub>2</sub> quanto maior a infestação da praga.

Quanto às relações dos parâmetros condutância estomática, taxa de fotossíntese e taxa de transpiração com o nível de injúria, observou-se que o comportamento das plantas nos experimentos realizados foi semelhante, apresentando decréscimo nestas variáveis à medida em que o processo de alimentação de *E. enigmaticus* resultava em maiores injúrias. Assim, observa-se

que a lesão causada por *E. enigmaticus* implicou em maior fechamento de estômatos (menor condutância estomática) que, por sua vez, diminuiu a assimilação de CO<sub>2</sub> (menor taxa de fotossíntese) para o processo de fotossíntese e também a perda de água por transpiração (menor taxa de transpiração).

Estes resultados mostram-se coerentes com a importância dos estômatos na regulação das trocas gasosas entre plantas e atmosfera, atuando como via fundamental para ocorrência do processo fotossintético (TAIZ et al., 2017).

Os resultados obtidos corroboram aqueles observados por Haile e Higley (2003) em folhas de soja e Reddall et al. (2004) em plantas de algodão, nos quais constataram reduções significativas em condutância estomática, taxa de fotossíntese e taxa de transpiração e teor de clorofila causadas por *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). Bueno et al. (2009) atestaram que 12 DAI de *T. urticae* em plantas de soja houve redução na capacidade fotossintética das plantas, apontando como principal motivador o fechamento dos estômatos frente à injúria ocasionada. Ainda, Davies et al. (2005) mostraram que folhas jovens e fisiologicamente maduras de crisântemo tiveram condutância estomática afetada por *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) e tal efeito acarretou também em diminuição da taxa de fotossíntese.

Para os parâmetros déficit de pressão de vapor e temperatura foliar, constatou-se relação positiva com o nível de injúria nos experimentos. O parâmetro déficit de pressão de vapor está correlacionado ao controle estomático, dessa maneira quanto maiores os valores, maior a tendência de a planta perder água, o que estimula o fechamento dos estômatos para

manutenção do status hídrico e, por consequência, a assimilação de CO<sub>2</sub> também sofrerá redução em maiores valores de déficit de pressão de vapor (MARRICHI, 2009). Isto pode, por consequência, estimular a planta a elevar o ritmo de aprofundamento e de extração de água pelas raízes (NOGUEIRA et al., 2013). O aumento da temperatura foliar nas plantas de amendoim infestadas por *E. enigmaticus* pode estar associado à condutância estomática que, com o maior fechamento dos estômatos decorrente da injúria, evita a perda de água na transpiração e, conjuntamente, dificulta um resfriamento da planta (SILVA et al., 2015).

Nesse contexto, as respostas obtidas no Experimento 2, no entanto, mostraram-se diferentes do que afirma Taiz et al. (2017), que explica que aumentos na fotossíntese no mesófilo requerem diminuições na concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, visto que para a fotossíntese aumentar, é necessária a redução de concentração intercelular de CO<sub>2</sub> a fim de estimular a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, favorecer a assimilação de CO<sub>2</sub> para o processo fotossintético.

De acordo com Kvien (1995), por possuir metabolismo fotossintético do tipo C<sub>3</sub>, a temperatura ótima para a fotossíntese e produção de matéria seca da planta de amendoim é de aproximadamente 30 °C. Assim, temperaturas mais elevadas são prejudiciais, devido ao favorecimento do processo de fotorrespiração, apresentando risco de impacto negativo na eficiência fotossintética de suas primeiras folhas verdadeiras, comprometendo especialmente as reações nos tilacoides (VIRK; PILON; SNIDER, 2019). Destaca-se que as primeiras folhas verdadeiras são os primeiros tecidos

fotossinteticamente ativos, sendo, portanto, fundamentais para a síntese de fotoassimilados destinados ao crescimento e desenvolvimento de toda a planta (TAIZ et al., 2017). Diante disso, evitar que infestações de *E. enigmaticus* acometam as plantas de amendoim logo em seus estágios iniciais é imprescindível para preservar o potencial produtivo da cultura.

É sabido que plantas de amendoim cultivadas em condições de seca possuem como indicador de referência a condutância estomática, que sofre reduções significativas nesta circunstância, limitando a assimilação de carbono, elevando a temperatura foliar, dentre outras consequências (PILON et al., 2018). Assim, a partir das respostas fisiológicas observadas neste trabalho é possível elaborar um cenário fisiológico comparativo entre a herbivoria provocada por *E. enigmaticus* com situações de estresse hídrico para a cultura do amendoim.

Desse modo, é imprescindível a continuidade de estudos nessa linha, a fim de detalhar os efeitos provocados por estressores bióticos, tal como *E. enigmaticus*, que se alimenta realizando perfuração dos tecidos em desenvolvimento e succionando o líquido extravasante, isto interfere no crescimento celular, implicando mudanças no aspecto foliar, pois as folhas atacadas tornam-se distorcidas após subsequente crescimento das células não afetadas (MORAES, 2005). A alimentação em tecidos não desenvolvidos faz com que as células sejam preenchidas com ar, o que dá uma aparência prateada ao tecido afetado (JAGER; BUTÔT, 1993). Em complemento, desenvolver trabalhos que visam elucidar os efeitos da herbivoria de *E. enigmaticus* associada a fatores abióticos, como situações de estresse hídrico, nas respostas

espectral e fisiológica de plantas de amendoim, configura-se como um próximo desafio nesta linha de pesquisa.

Com a ACP, comprovou-se importantes relações entre os parâmetros fisiológicos, de maneira que se nota forte correlação entre condutância estomática, taxa de fotossíntese e taxa de transpiração que, por sua vez, apresentam relação inversa com déficit de pressão de vapor e temperatura foliar. Isto está coerente com os resultados obtidos nas análises de regressão.

Os índices de vegetação contribuíram para distinguir os níveis de injúria, em especial folíolos apresentando poucas pontuações prateadas, mas com início de enrolamento das bordas (nota 3), no Experimento 1. Todavia, no Experimento 2, a sobreposição da nuvem de pontos dos grupos de folíolos sem injúria e folíolos com baixa injúria demonstra que ainda novos estudos com análises mais detalhistas necessitam ser realizados, a fim de tornar possível a identificação do ataque de *E. enigmaticus* em momentos precoces, isto é, antes da ocorrência de níveis de injúria mais avançados.

Por fim, é importante ressaltar que este trabalho, embora tenha sido desenvolvido em duas safras, se enquadra em uma linha de pesquisa recente, cujos avanços requerem a continuidade das buscas por metodologias mais eficientes e com maior praticidade. Em especial, deve haver aprimoramento das etapas de infestação de *E. enigmaticus* e avaliações das injúrias. Ainda, algumas reflexões e sugestões podem ser elencadas. Dentre elas, aprofundar estudos acerca da dinâmica de movimentação de *E. enigmaticus* nas plantas de amendoim e questionamentos inerentes à competição intraespecífica como fator de regulação da população, a qual interfere na infestação das plantas.

A proposição de novas ferramentas de avaliação, como o uso de sensores termais para detectar alterações provocadas por injúria de *E. enigmaticus*, além de associação com situações de estresse hídrico, poderá contribuir para aprimoramento do atual sistema de monitoramento da praga. Nos aspectos fisiológico, morfológico e agrônômico, é interessante verificar a concentração de clorofila, realizar análise de fluorescência e potencial hídrico, mensurar massa e área foliar, quantificar número de folíolos e brotos, massa e quantidade de grãos e produtividade das plantas de amendoim nos novos estudos. Esses atributos podem sofrer alterações devido aos efeitos da herbivoria de *E. enigmaticus*, tornando-se importantes parâmetros na avaliação da resposta da planta. Dessa forma, espera-se que mais êxitos nesta linha de pesquisa sejam alcançados em prol do desenvolvimento sustentável da cultura do amendoim.

## 8 CONCLUSÕES

Folíolos com injúria de *E. enigmaticus* têm maior reflectância do que folíolos saudáveis na região visível do espectro, com maior destaque para 607,05 nm.

*E. enigmaticus* afeta o processo fotossintético de plantas de amendoim ao provocar fechamento dos estômatos, o que acarreta menor assimilação de CO<sub>2</sub> e menor perda de água via transpiração.



## 9 LITERATURA CITADA

ABDEL-RAHMAN, E. M.; AHMED, F. B., VAN DEN BERG, M.; WAY, M. J. Potential of spectroscopic data sets for sugarcane thrips (*Fulmekiola serrata* Kobus) damage detection. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 15, p. 4199-4216, 2010.

ALMEIDA, R. P. Manejo de insetos-praga da cultura do amendoim. In: DOS SANTOS, R. C., FREIRE, R. M. M., LIMA, L. M. **O agronegócio do amendoim no Brasil**. – editoras técnicas. – 2. ed. rev. e ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2013.

BALOTA, M.; OAKES, J. UAV remote sensing for phenotyping drought tolerance in peanuts. In: **Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping II**. International Society for Optics and Photonics, 2017. p. 102180C.

BARRETO, M. **Manual de identificação e manejo das doenças do amendoim**. Jaboticabal: FUNEP, 2007.

BARROS, P. P. DA S.; ROSALEN, D. L.; IOST FILHO, F. H.; MARTINS, G. D.; DI LEO, N. Monitoramento Fitossanitário Utilizando Sensoriamento Remoto: Avanços e Desafios. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 2, p. 489-515, 6 abr. 2021.

BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y., BERNARDI, A. C. C., VAZ, C. M. P., SPERANZA, E. A., CRUVINEL, P. E. Agricultura de precisão e agricultura digital. In: **TECCGOS - Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, p. 17-36, 2019.

BEHMANN, J.; STEINRÜCKEN, J.; PLÜMER, L. Detection of early plant stress responses in hyperspectral images. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 93, p. 98-111, 2014.

BENDIG, J.; YU, K.; AASEN, H.; BOLTEN, A.; BENNERTZ, S.; BROSCHEIT, J.; GNYP, M. L.; BARETH, G.. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 39, pp. 79-87, 2015.

BUENO, A. D. F.; BUENO, R. C. O. D. F.; NABITY, P. D.; HIGLEY, L. G.; FERNANDES, O. A. Photosynthetic response of soybean to twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) injury. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 4, p. 825-834, 2009.

CALORE, R. A.; BOIÇA JÚNIOR, A. L.; CHAGAS FILHO, N. R.; SOUZA J. R. Determinação do nível de controle econômico de *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: Thripidae) em cultivar de amendoim de porte ereto. **Arquivos do Instituto Biológico**, p. 263–272, 2012.

CAMARGO, F. P. de et al. Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2020/21, Fevereiro de 2021. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 4, abr. 2021, p. 1-11. Disponível em: <<http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14908>>. Acesso em: 22 de setembro de 2021.

CARTER, G. A.; KNAPP, A. K. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. **American Journal of Botany**, v. 88, n. 4, p. 677-684, 2001.

CASTRO, P.R.C.; PITELLI, R.A.; PASSILONGO, R.L. Variações na ocorrência de algumas pragas do amendoimzeiro relacionadas com o desenvolvimento da cultura. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Itabuna, v.1, n.1, p. 5-15, 1972.

COSTA, E. M.; FREITAS, R. M. O.; SILVA, P. A. F.; ARAUJO, E. L. Determination of damaged leaf area and physiological responses of melon plants submitted to different infestation levels of *Liriomyza sativae*. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 571-575, 2017.

CRAFTS-BRANDNER, S. J.; SALVUCCI, M. E. Rubisco activase constrains the photosynthetic potential of leaves at high temperature and CO<sub>2</sub>. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 97, n. 24, p. 13430-13435, 2000.

CREPANI, E. **Princípios básicos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 1993.

DAVIES, F.; CHUANJIU HE, C.; AMANDA CHAU, A.; SPIERS, J.; HEINZ, K. Fertiliser application affects susceptibility of chrysanthemum to western flower thrips—abundance and influence on plant growth, photosynthesis and stomatal

conductance. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 80, n. 4, p. 403-412, 2005.

DELANEY, K. J.; MACEDO, T. B. The Impact of Herbivory on Plants: Yield, Fitness, and Population Dynamics. In: PETERSON, R. K. D., HIGLEY, L. G. **Biotic stress and yield loss**. Boca Raton: CRC Press, p. 142-167, 2000.

FELLER, U.; CRAFTS-BRANDNER, S. J.; SALVUCCI, M. E. Moderately high temperatures inhibit ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) activase-mediated activation of Rubisco. **Plant Physiology**, v. 116, n. 2, p. 539-546, 1998.

FERNANDES, O. A. Manejo integrado de pragas do amendoim. In: DA SILVA, R. P., DOS SANTOS, A. F., CARREGA, W. C. **Avanços na produção de amendoim**. Jaboticabal: Funep, p. 89-98, 2019.

FERNANDES, O. A.; PINTO, J. R. L. Manejo Integrado de Pragas do Amendoim. **Revista Canavieiros**, p. 94–95, set. 2017.

FRAULO, A. B.; COHEN, M.; LIBURD, O. E. Visible/near infrared reflectance (VNIR) spectroscopy for detecting twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) damage in strawberries. **Environmental entomology**, v. 38, n. 1, p. 137-142, 2009.

FUNDERBURG, J. E.; BRANDENBURG, R. L. Management of insects and other arthropods in peanut. **Peanut Health Management**, 1995.

GABRIEL, D. Pragas do amendoim. **Documento Técnico**, v. 26, p. 1–25, 2016.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 76-87, 2002.

GODOY, I. J.; MICHELOTTO, M. D.; BOLONHEZI, D.; DE MORAES, A. R. A.; DOS SANTOS, J. F. Melhoramento genético do amendoim no IAC: resultados recentes e perspectivas. In: DA SILVA, R. P., DOS SANTOS, A. F., CARREGA, W. C. **Avanços na produção de amendoim**. Jaboticabal: Funep, p. 23-38, 2019.

HAILE, F. J. The Influence of Cultivar and Plant Architecture on Yield Loss. In: PETERSON, R. K. D., HIGLEY, L. G. **Biotic stress and yield loss**. Boca Raton: CRC Press, p. 106-123, 2000.

HAILE, F. J.; HIGLEY, L. G. Changes in soybean gas-exchange after moisture stress and spider mite injury. **Environmental Entomology**, v. 32, n. 3, p. 433-440, 2003.

HERRMANN, I.; BERENSTEIN, M.; PAZ-KAGAN, T.; SADE, A.; KARNIELI, A. Spectral assessment of two-spotted spider mite damage levels in the leaves of greenhouse-grown pepper and bean. **Biosystems Engineering**, v. 157, p. 72-85, 2017.

HUSSON, F.; LÊ, S.; PAGÈS, J. Exploratory multivariate analysis by example using R. CRC press., 2017.

IOST FILHO, F. H. **Sensoriamento remoto para monitoramento de mosca branca, *Bemisia tabaci* biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 62p, 2019.

JAGER, C. M.; BUTÔT, R. P. Y. Chrysanthemum resistance to two types of thrips (*Frankliniella occidentalis* Pergande) feeding damage. **Proceedings of Experimental and Applied Entomology**, Netherlands, v. 4, n. 1, p. 27-31, 1993.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ª ed. por (pesquisadores do INPE). In: EPIPHANIO, J. C. N. (coordenador); FORMAGGIO, A. R.; SANTOS, A. R.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C. M.; GALVÃO, L. S. São José dos Campos: Parêntese. 672 p, 2009.

KVIEN, C. Physiological and environmental disorders of peanuts. In: MELOUK, H. A.; SHOKES, F. M. (Ed.). **Peanut health management**. Minnessota: The American Phytopathological Society, 1995. p.33-42.

LILLESAND, T.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J.. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, 2015.

LIMA, E.F.B.; ALENCAR, Á.R.S.D.; NANINI, F.; MICHELOTTO, M.D.; CORRÊA, A.S. "Unmasking the Villain": Integrative Taxonomy Reveals the Real Identity of the Key Pest (Thysanoptera: Thripidae) of Peanuts (*Arachis hypogaea* L.) in South America. **Insects** 2022, 13, 120.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65-70, 2001.

MARRICHI, A. H.C.. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em sete clones comerciais de *Eucalyptus* e seus padrões de resposta ao déficit de pressão de vapor**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 104p.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. Sensoriamento e sensores. **Agricultura de precisão**, p. 119-153, 2015.

MONTEIRO, R. C.; MOUND, L. A. Thysanoptera. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B.; CASARAI, S. A.; CONSTANTINO, R. eds. **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, pp. 407-422. 2012.

MORAES, A. R. A. **Efeito da infestação de *Enneothrips flavens* Moulton sobre o desenvolvimento de cultivares de amendoim**. 2005. Dissertação de mestrado - Instituto Agronômico, Campinas, 118p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Editora UFV. 4aed. Atual e ampl. Viçosa/MG: Ed. UFV, 2011.

MORLIN, F. C. **Sensores de dossel no monitoramento da variabilidade temporal das culturas da soja e do amendoim**. 2018. 122 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2018.

MOUND, L. A.; TEULON, D. A.J. Thysanoptera as phytophagous opportunists. In: **Thrips biology and management**. Springer, Boston, MA, 1995. p. 3-19.

NANSEN, C.; ELLIOTT, N. Remote sensing and reflectance profiling in entomology. **Annual Review of Entomology**, v. 61, n. 1, p. 139–158, 2016.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; TÁVORA, F. J. A. F.; DE ALBUQUERQUE, M. B.; DO NASCIMENTO, H. H. C.; DOS SANTOS, R. C. Ecofisiologia do Amendoim (*Arachis hypogaea* L.). In: DOS SANTOS, R. C., FREIRE, R. M. M., DE LIMA, L. M. **O agronegócio do amendoim no Brasil**. – editoras técnicas. – 2. ed. rev. e ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2013.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PEDREGOSA, F. G.; VAROQUAUX, A.; GRAMFORT, V.; MICHEL, B.; THIRION, O.; GRISEL, M.; BLONDEL, P.; PRETTENHOFER, R.; WEISS, V.; DUBOURG, J.; VANDERPLAS, A.; PASSOS, D.; COURNAPEAU, M.; BRUCHER, M.; PERROT, E.; DUCHESNAY. Scikit-learn: Machine learning in Python. J. Mach. Learn. Res. **Journal of Machine Learning Research**, v. 12, p. 2825-2830, 2011.

PETERSON, R. K. D. Photosynthesis, yield loss, and injury guilds. In: PETERSON, R. K. D., HIGLEY, L. G. **Biotic stress and yield loss**. Boca Raton: CRC Press, p. 99-106, 2000.

PILON, C.; SNIDER, J. L.; SOBOLEV, V.; CHASTAIN, D. R.; SORENSEN, R. B.; MEEKS, C. D.; MASSA, A. N.; WALK, T.; SINGH, B.; EARL, H. J. Assessing stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation under progressive drought in peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of plant physiology**, v. 231, p. 124-134, 2018.

PIVOTO, D.; WAQUIL, P. D.; TALAMINI, E.; FINOCCHIO, C. P. S.; DALLA CORTE, V. F.; MORES, G. V. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. **Information Processing in Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 21–32, 2018.

PRABHAKAR, M.; PRASAD, Y. G.; RAO, M. N. Remote sensing of biotic stress in crop plants and its applications for pest management. In: **Crop stress and its management: Perspectives and strategies**. Springer, Dordrecht, p. 517-545, 2012.

QIN, W.; WANG, L.; ZHANG, M.; NIU, Z.; LUO, M.; LIN, A. HU, B. First effort at constructing a high-density photosynthetically active radiation dataset during 1961–2014 in China. **Journal of Climate**, v. 32, n. 10, p. 2761-2780, 2019.

REDDALL, A.; SADRAS, V. O.; WILSON, L. J. Physiological responses of cotton to two-spotted spider mite damage. **Crop Science**, v. 44, n. 3, p. 835-846, 2004.

RESONON. **SpectrononPro Manual 5.4**. 2019. Disponível em:<[http://docs.resonon.com/spectronon/pika\\_manual/html/IntroToHyperspectral\\_include.html](http://docs.resonon.com/spectronon/pika_manual/html/IntroToHyperspectral_include.html)>. Acesso em: 18 de julho de 2020.

RESONON. **Resonon Pika L**. 2020. Disponível em:<<https://resonon.com/Pika-L>>. Acesso em: 18 de julho de 2020.

RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 43, n. 12, p. 1541-1552, 1977.

ROUSE J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. **NASA/GSFC Type III Final Report. Greenbelt, Md**, pp 371, 1974.

SANTOS, A. F. **Método não destrutivo para predição da maturação de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) utilizando sensoriamento remoto**. 2019. Dissertação de Doutorado - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 107p.

SAS Institute. 2015. SAS/IML® user's guide. **SAS Institute Inc.**, Cary, NC.

SCHRADER, S. M.; WISE, R. R.; WACHOLTZ, W. F.; ORT, D. R.; SHARKEY, T. D. Thylakoid membrane responses to moderately high leaf temperature in *Pima* cotton. **Plant, Cell & Environment**, v. 27, n. 6, p. 725-735, 2004.

SILVA, F. G. da, DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M. D.; FIGUEIRAS, L.; MELO, A. S. D. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de

berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 946-952, 2015.

SLATON, M.R.; HUNT, E.R.; SMITH, W.K. Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics. **Am. J. Bot.** 2001, 88, 278–284.

STERN, V. M. R. F. et al. The integration of Chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: the integrated control concept. **Hilgardia**, Oakland, v. 29, p. 81-101, 1959.

SUASSUNA, T. et al. Produção Integrada de Amendoim nos Estados de São Paulo, Ceará e Paraíba. **Embrapa Algodão-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TRIMBLE. **GreenSeeker® 505 Handheld Sensor**. 2010. Disponível em: <[http://avidorhightech.com/wpcontent/files/Manuel\\_Utilisateur\\_GreenSeeker\\_HandHeld.pdf](http://avidorhightech.com/wpcontent/files/Manuel_Utilisateur_GreenSeeker_HandHeld.pdf)>. Acesso em: 18 de julho de 2020.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 8(2), 127-150, 1979.

VIRK, G.; PILON, C.; SNIDER, J. L. Impact of first true leaf photosynthetic efficiency on peanut plant growth under different early-season temperature conditions. **Peanut Science**, v. 46, n. 2, p. 162-173, 2019.

WILLERS, J. L., DEFAUN, S. L., ENGLISH, P. J., JENKINS, J. N. Application of remote sensing in integrated pest management. In: **Integrated Pest Management**. Academic Press, 2014. p. 37-58.

WISE, R. R.; OLSON, A. J.; SCHRADER, S. M.; SHARKEY, T. D. Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown Pima cotton plants at high temperature. **Plant, Cell & Environment**, v. 27, n. 6, p. 717-724, 2004.

ZERBATO, C.; ROSALEN, D. L.; FURLANI, C. E. A.; DEGHAID, J.; VOLTARELLI, M. A. Agronomic characteristics associated with the normalized difference vegetation index (NDVI) in the peanut crop. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 5, p. 758, 2016.