

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

Douglas Carmo de Avila

**CONTROLE QUÍMICO DA LAGARTA FALSA-MEDIDEIRA,
Chrysodeixis (= Pseudoplusia) includens (Walker, [1858]), NA
CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA CONDIÇÃO
METEOROLÓGICA**

Santa Maria, RS, Brasil

2020

Douglas Carmo de Avila

CONTROLE QUÍMICO DA LAGARTA FALSA-MEDIDEIRA, *Chrysodeixis (= Pseudoplusia) includens* (Walker, [1858]), NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA CONDIÇÃO METEOROLÓGICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Meteorologia**.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Angelica Durigon

Santa Maria, RS

2020

Avila, Douglas Carmo de
CONTROLE QUÍMICO DA LAGARTA FALSA-MEDIDEIRA,
Chrysodeixis (= Pseudoplusia) includens (Walker,
[1858]), NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA CONDIÇÃO
METEOROLÓGICA / Douglas Carmo de Avila.- 2020.
84 p.; 30 cm

Orientadora: Angelica Durigon
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Meteorologia, RS, 2020

1. Inseticida 2. Horário de Aplicação 3. Eficácia 4.
Volume de calda I. Durigon, Angelica II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

©2020

Todos os direitos autorais reservados a Douglas Carmo de Avila. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

End. Eletr.: douglascavila@gmail.com

Douglas Carmo de Avila

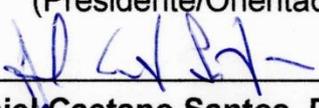
CONTROLE QUÍMICO DA LAGARTA FALSA-MEDIDEIRA, *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *includens* (Walker, 1858), NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA CONDIÇÃO METEOROLÓGICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Meteorologia**.

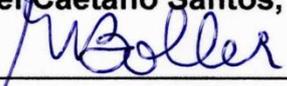
Aprovado em 17 de fevereiro de 2020:



Angelica Durigon, Profa. Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)



Daniel Caetano Santos, Dr. (UFSM)



Walter Boller, Prof. Dr. (UPF)

Santa Maria, RS

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação profissional e a concretização deste estudo, e de uma maneira especial, agradeço:

Aos meus pais, Jardel Avila e Sandra Leite, por toda a base de educação que me ofereceram. Dizer mil vezes 'obrigado' não seria suficiente pelo o que fizeram (e fazem) por mim. Sem vocês nada seria possível.

Ao meu irmão, Nicolas Avila, por todo o incentivo e apoio.

A minha mestra, Angelica Durigon, por todo o apoio, incentivo e paciência durante esse período de dois anos. Você foi essencial para esses dois anos serem ímpares para minha formação profissional. Gratidão por ter conhecido você no meu caminho.

Ao Laboratório de Agrometeorologia – AgroLab, por toda ajuda em laboratório e trabalho de campo.

Ao colega de pós-graduação, Diego Portalanza, por todo o auxílio no software R.

Ao professor Dr. Oderlei Bernardi, por disponibilizar o inseto objeto de pesquisa deste estudo.

Ao meteorologista Dr. Daniel Caetano Santos, pelas simulações numéricas realizadas com o modelo WRF, o que possibilitou a inclusão de mais variáveis meteorológicas explicativas no processo de aplicação de inseticida em soja.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - FAPERGS pela bolsa concedida.

RESUMO

CONTROLE QUÍMICO DA LAGARTA FALSA-MEDIDEIRA, *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *includens* (Walker, [1858]), NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA CONDIÇÃO METEOROLÓGICA

AUTOR: Douglas Carmo de Avila
ORIENTADORA: Angelica Durigon

As plantas respondem diretamente às condições meteorológicas, logo a ação dos inseticidas poderá estar sujeita a estas condições. Este estudo teve como objetivo determinar quais são as condições meteorológicas locais mais favoráveis à obtenção de máxima eficácia em aplicações de inseticida na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) para controle da lagarta falsa-medideira, *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *includens* (Walker, 1858). Os tratamentos foram aplicados no ano agrícola 2018/2019, e consistiram de quatro horários de aplicação (8, 14, 18 e 22 h), e três volumes de calda (75, 150 e 225 L ha⁻¹), além de uma testemunha sem aplicação do inseticida Methoxyfenozida na dose de 72 g i. a. ha⁻¹. Os tratamentos foram aplicados em soja com 50 DAE em 19/01/2019, e em soja com 85 DAE em 21/02/2019. Três cartões de papel hidrossensível foram instalados sobre o dossel no centro de cada parcela nos terços superiores das plantas para a coleta das gotas no momento das aplicações. A ponta de pulverização utilizada foi do tipo leque com gotas que variaram de médias a extremamente grossas. As variáveis medidas para a caracterização da condição meteorológica no momento das aplicações foram a temperatura e a umidade relativa do ar, a temperatura do ponto de orvalho, a intensidade e direção do vento, e a estabilidade atmosférica. Cem folíolos centrais de folhas de plantas de cada tratamento foram coletados dois dias após a primeira aplicação e cinco dias após a segunda aplicação. Em laboratório, os folíolos foram servidos as lagartas e a mortalidade dos insetos foi avaliada sete dias após a infestação e a eficácia de controle foi calculada. A condição de temperatura e umidade relativa do ar, assim como a estabilidade atmosférica se mostraram determinantes no controle efetivo da lagarta falsa-medideira em ambas aplicações dos tratamentos.

Palavras-chave: Inseticida. Horário de Aplicação. Eficácia. Volume de Calda.

ABSTRACT

CHEMICAL CONTROL OF SOYBEAN LOOPER, *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *inclusens* (Walker, [1858]), ON SOYBEAN AS A FUNCTION OF THE METEOROLOGICAL CONDITION

AUTHOR: Douglas Carmo de Avila
ADVISOR: Angelica Durigon

Plants respond directly to weather conditions, so the action of insecticides may be subject to these conditions. The objective of this study was to determine the most favorable local meteorological conditions to obtain maximum efficacy of insecticide sprayings in the soybean crop for control of the false-moth caterpillar, *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *inclusens* (Walker, 1858). The treatments were applied in the agricultural year 2018/2019, and consisted of four spraying times (8, 14, 18 and 22 h), and three spray volumes (75, 150 and 225 L ha⁻¹), in addition to an untreated control with the insecticide Methoxyfenozida in the dose of 72 g i. ha⁻¹. The treatments were applied in soybean with 50 DAE and 39 DAE on 19/01/2019, and with soybean on 21/02/2019 in 85 DAE. Three hydrosensible paper cards were installed on the canopy in the center of each plot in the upper thirds of the plants to collect the drops at the time of application. The spray tip used was of the fan type with drops that varied from medium to extremely thick. The measured variables for the characterization of the meteorological condition at the moment of the applications were the temperature and the relative humidity of the air, the dew point temperature, the intensity and direction of the wind, and the atmospheric stability. One hundred leaves of plants from each treatment were collected 2 days after the first application and 5 days after the second application. In the laboratory, leaves were fed to caterpillars and insect mortality was evaluated 7 days after infestation. The condition of temperature and relative humidity of the air, as well as the atmospheric stability, proved to be determinants in the effective control of the false-moth caterpillar in both treatments' applications.

Keywords: Insecticide. Spraying Time. Efficiency. Spray Volumes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1 - Estádio de desenvolvimento da cultura da soja no momento das duas aplicações dos tratamentos. A) Estádio R1 na aplicação realizada em 19/01/2019, e B) Estádio R5 na aplicação realizada em 21/02/2019.</i>	25
<i>Figura 2 - Cobertura espacial das integrações numéricas realizadas pelo modelo WRF para os dias de aplicação dos tratamentos com resolução de 12 (grade externa) e 3 km (grade interna).</i>	28
<i>Figura 3 - Bioensaios para determinação da eficácia de controle de falsa-medideira (<i>Chrysodeixis includens</i>) em laboratório. A) Pote plástico com ágar e papel filtro; B) Um folíolo de soja e uma lagarta falsa-medideira de primeiro ínstar acondicionadas em um pote plástico e; C) Infestação de falsa-medideira por um período de sete dias.</i>	32
<i>Figura 4 - Cartões hidrosensíveis após a aplicação 1 em 19/01/2019 às 14 h com volume de calda de A) 75 L ha⁻¹; B) 150 L ha⁻¹ e; C) 225 L ha⁻¹.</i>	34
<i>Figura 5 - Mapas de anomalia de temperatura média do ar (T, °C) para o período dos experimentos. A) Novembro de 2018; B) dezembro de 2018; C) janeiro de 2019; D) fevereiro de 2019 e; E) março de 2019.</i>	36
<i>Figura 6 - Mapas de anomalia de chuva (mm) mensal para o período dos experimentos. A) Novembro de 2018; B) dezembro de 2018; C) janeiro de 2019; D) fevereiro de 2019 e; E) março de 2019.</i>	37
<i>Figura 7 - A) Condição média diária de temperatura do ar (T, °C), temperatura do ponto de orvalho (Td, °C) e umidade relativa do ar (UR, %); e B) Chuva acumulada diária observada ao longo do ciclo da cultura da soja (23/11/2018 – 10/04/2019).</i>	40
<i>Figura 8 - Condição média diária de velocidade (V, m s⁻¹) e direção do vento (DirV, °) predominantes ao longo do ciclo da cultura da soja (23/11/2018 – 10/04/2019).</i>	41
<i>Figura 9 - Condição de temperatura do ar (T, °C), temperatura do ponto de orvalho (Td, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) observada ao longo do dia da aplicação 1 dos tratamentos (19/01/2019). Os horários de aplicação dos tratamentos (8, 14, 18 e 22 h) estão representados pelas linhas tracejadas.</i>	42
<i>Figura 10 - Condição de temperatura do ar (T, °C), temperatura do ponto de orvalho (Td, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) observada ao longo do dia da aplicação 2</i>	

dos tratamentos (21/02/2019). Os horários de aplicação dos tratamentos (8, 14, 18 e 22 h) estão representados pelas linhas tracejadas.	43
Figura 11 - Velocidade (V , $m s^{-1}$) e direção do vento ($DirV$, $^{\circ}$) predominantes ao longo do dia da aplicação 1 dos tratamentos (19/01/2019).....	44
Figura 12 - Velocidade (V , $m s^{-1}$) e direção do vento ($DirV$, $^{\circ}$) predominantes ao longo do dia da aplicação 2 dos tratamentos (21/02/2019).....	45
Figura 13 - Análise de componentes principais dos dados meteorológicos para a aplicação 1 (19/01/2019). A) CPs significativos: CP1-CP2; B) Divisão dos dados meteorológicos por turno, onde: Manhã (6 às 10 h, representado pelos pontos 1 a 5), início da tarde (12 às 16 h, representado pelos pontos 6 a 10), fim da tarde (16 às 20 h, representado pelos pontos 11 a 15) e noite (20 às 00 h, representado pelos pontos 16 a 20).	47
Figura 14 - Análise de componentes principais dos dados meteorológicos para a aplicação 2 (21/02/2019). A) CPs significativos: CP1-CP2; B) Divisão dos dados meteorológicos por turno, onde: Manhã (6 às 10 h, representado pelos pontos 1 a 5), início da tarde (12 às 16 h, representado pelos pontos 6 a 10), fim da tarde (16 às 20 h, representado pelos pontos 11 a 15) e noite (20 às 00 h, representado pelos pontos 16 a 20).	50
Figura 15 - Perfis verticais de temperatura potencial (θ , K) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 1 (19/01/2019). Linhas na cor preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22 h, respectivamente.	52
Figura 16 - Perfis verticais de umidade específica (q , $g kg^{-1}$) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 1 (19/01/2019). Linhas na cor preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22 h, respectivamente.	53
Figura 17 - Perfis verticais de velocidade do vento médio (V_h , $m s^{-1}$) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 1 (19/01/2019). Linhas na cor preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22, respectivamente.	53
Figura 18 - Perfis verticais de temperatura potencial (θ , K) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 2 (21/02/2019). Linhas na cor	

<i>preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22 h, respectivamente.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 19 - Perfis verticais de umidade específica (q, $g\ kg^{-1}$) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 2 (21/02/2019). Linhas na cor preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22 h, respectivamente.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 20 - Perfis verticais de velocidade do vento médio (V_h, $m\ s^{-1}$) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 2 (21/02/2019). Linhas na cor preta, vermelha, ver e azul correspondem ao horário das 8, 14,18 e 22 h, respectivamente.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 21 - Índice de Área Foliar (IAF, $m^2\ m^{-2}$) e estatura (m), representadas pelas linhas preta e vermelha, respectivamente e fenologia* da cultivar de soja NS6209RR avaliadas ao longo do ciclo** da cultura***</i>	<i>58</i>
<i>Figura 22 - Mortalidade de lagartas falsa-medideira (<i>Chrysodeixis includens</i>) na aplicação 1 (A) realizada no dia 19/01/2019 (50DAE), e na aplicação 2 (B) realizada no dia 21/02/2019 (83DAE) em todos os tratamentos*.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 23 - Eficácia de controle* (EC, %) em função da condição meteorológica** de lagartas falsa-medideira (<i>Chrysodeixis includens</i>) calculada pela Equação de Abbott para as aplicações 1 (19/01/2019) e 2 (21/02/2019) em todos os tratamentos***.</i>	<i>64</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Tratamentos utilizados definidos por quatro horários de aplicação e três volumes de calda, e um tratamento testemunha sem aplicação.</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 2 - Análise individual das cargas da matriz de correlação** dos cinco componentes principais (CPs) gerados para os dados da aplicação 1 (19/01/2019).</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 3 - Análise individual das cargas da matriz de correlação** dos cinco componentes principais (CPs) gerados para os dados da aplicação 2 (21/02/2019).</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 4 - Valores médios de produtividade (sacas ha⁻¹) e peso de mil grãos (g) da cultura da soja por tratamento*.</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 5 - Características das gotas de pulverização para a aplicação 1 (19/01/2019) e para a aplicação 2 (21/02/2019) estimadas pela análise de cartões hidrosensíveis: diâmetro da mediana volumétrica (DMV, µm), porcentagem de cobertura (%), densidade de gotas (gotas cm⁻²) e amplitude relativa (AR).....</i>	<i>67</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 INSETOS-PRAGA NA CULTURA DA SOJA	11
2.2 CONTROLE DE INSETOS-PRAGA COM INSETICIDAS	12
2.3 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO	13
2.4 CONDICIONANTES METEOROLÓGICOS QUE AFETAM A EFICÁCIA DE INSETICIDAS	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 EXPERIMENTO DE CAMPO PARA COLETA DE DADOS	23
3.2 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	26
3.3 AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS APLICAÇÕES DE INSETICIDA	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 CONDIÇÃO METEOROLÓGICA OBSERVADA DURANTE O EXPERIMENTO DE CAMPO E DURANTE AS APLICAÇÕES DOS TRATAMENTOS	35
4.1.1 CONDIÇÃO METEOROLÓGICA OBSERVADA DURANTE OS HORÁRIOS DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS	43
4.1.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	45
4.1.3 ESTIMATIVA DA ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA NOS HORÁRIOS DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS	51
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DAS PLANTAS	57
4.3 EFICÁCIA DE CONTROLE EM BIOENSAIOS EM LABORATÓRIO	59
4.4 CARACTERÍSTICAS DAS GOTAS DE PULVERIZAÇÃO	65
5 CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS	71

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal cultura do agronegócio brasileiro, e cerca de 117 milhões de toneladas do grão estão sendo produzidas no Brasil nos últimos anos (EMBRAPA, 2018). O Brasil é o segundo maior produtor mundial e, em relação aos outros grandes produtores (Argentina e Estados Unidos da América), é o que dispõe do maior potencial de expansão em área cultivada (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014). A soja, além de ser um dos grãos mais cultivados no mundo, é também um dos mais consumidos, seja em função de seu potencial produtivo, valor nutritivo e composição química, ou pelas inúmeras aplicações que se estendem desde seu uso como alimento humano e animal até o seu uso industrial.

As plantas de soja estão submetidas durante todo o seu ciclo ao ataque de diferentes espécies de insetos-praga (DAN et al., 2010). Segundo Baudet e Peske (2007), desde a implantação da cultura, a ação de pragas de solo pode provocar falhas no estande de plantas, pelas mesmas se alimentarem das sementes após a semeadura, raízes após a germinação e parte aérea das plântulas após a emergência. Na fase vegetativa pode ocorrer a perda da área foliar das plantas, o que ocasiona redução no rendimento de grãos. Por outro lado, na fase reprodutiva, os danos podem ser significativos tanto na área foliar como em legumes e grãos, o que também pode provocar danos irreversíveis no rendimento de grãos (FEHR; CAVINESS, 1977; RITCHIE et al., 1977). Dentre os insetos-praga que causam prejuízos à cultura da soja, destacam-se a lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatilis*), os percevejos pragas dentre eles, o *Euschistus heros*, e a lagarta falsa-medideira, *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *includens*. A lagarta falsa-medideira causa danos constantes à cultura por atacar as folhas, raspando-as enquanto pequenas e provocando pequenas manchas claras, e à medida que crescem causam a destruição completa das folhas, podendo também danificar as hastes mais finas. É caracterizada por ocorrer de forma regular e apresenta ampla distribuição geográfica (DI OLIVEIRA et al., 2010).

O uso de defensivos agrícolas é comum em sistemas de produção agrícola intensivos, porém, tratam-se de substâncias que geram altos riscos de contaminação tanto aos seres humanos como ao meio ambiente e à atmosfera (GONÇALVES, 1999). A aplicação de defensivos agrícolas em soja para o controle de insetos-praga, com o uso de inseticidas, estabiliza a produtividade da cultura (ARRUÉ et al., 2014).

Desta forma, a melhoria das técnicas de aplicação de defensivos agrícolas tende a aumentar a eficácia das aplicações, resultando em maior controle de insetos-praga, redução de danos ambientais, e aumento da produção agrícola.

A aplicação de inseticida inicia pela diluição de um produto fitossanitário em água, que forma a calda, e pela sua distribuição sobre os alvos através da pulverização. A pulverização é um processo físico-mecânico de transformação de uma substância líquida (calda) em partículas ou gotas mais uniformes e homogêneas possíveis (RAMOS; PIO, 2003; SANTOS, 2002). A tecnologia de aplicação, por sua vez, é diretamente responsável pela correta colocação dos produtos fitossanitários no alvo, em quantidade adequada, com mínimo de contaminação ambiental, o que propõe o conhecimento biológico da praga. A eficácia da aplicação de um produto fitossanitário é influenciada por inúmeros fatores. Dentre os principais fatores que devem ser levados em consideração no momento da aplicação, destacam-se a condição meteorológica antes, no momento e após a aplicação, o inseticida utilizado, as particularidades dos equipamentos de pulverização e a arquitetura da parte aérea da planta (THEISEN; RUEDELL, 2004).

As gotas de pulverização, após serem formadas pelas pontas de pulverização em queda até o alvo biológico a ser atingido, são influenciadas por diversas variáveis meteorológicas como: a radiação solar, a temperatura e umidade do ar, a intensidade e direção do vento e a estabilidade atmosférica.

A radiação solar é uma das componentes mais importantes para os processos fisiológicos da soja, pois a mesma fornece energia luminosa para a fotossíntese (MONTEIRO, 2009). Porém, a elevada incidência de radiação solar associada a alta temperatura e baixa umidade do ar provocam a evaporação das gotas pulverizadas. Portanto, a taxa de evaporação de uma gota líquida pode ser maior ou menor em virtude da combinação das condições dessas variáveis (MATUO, 1990).

A deriva causada pelo vento é um dos problemas mais frequentes relacionados à aplicação de produtos fitossanitários (CHRISTOFOLETTI, 1999; MATUO, 1990). Porém, a ausência de vento ou ventos muito fracos pode também ser desfavorável, pois gotas muito finas podem ficar suspensas no ar devido à estabilidade atmosférica, dispersando-se até vários quilômetros do local de aplicação, sendo removidas da atmosfera somente com a ocorrência de chuva. Além disso, o solo aquecido durante o dia aumenta a temperatura do ar próximo à superfície, proporcionando um

movimento ascendente da massa de ar, podendo ocasionar deriva de gotas muito finas por instabilidade (SPADOTTO, 2006). Ventos intensos também interferem nas aplicações, pois provocam o deslocamento horizontal das gotas de todos os tamanhos para fora da direção do alvo por deriva.

1.1.OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo foi determinar quais são as condições meteorológicas locais mais favoráveis à obtenção de máxima eficácia em aplicações de inseticida com diferentes volumes de calda para controle da lagarta falsa-medideira, *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *inclusens* (Walker, 1858) na cultura da soja.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) caracterizar a condição meteorológica durante as aplicações de inseticida e durante o ciclo da cultura da soja utilizada nos experimentos.
- b) determinar qual é a eficácia das aplicações de inseticida para o controle da lagarta falsa-medideira na cultura da soja pela mortalidade de lagartas em bioensaios em laboratório e pela análise das características das gotas de pulverização.
- c) verificar se existem diferenças na eficácia de controle da lagarta falsa-medideira em função de aplicações de inseticida com diferentes volumes de calda, características das gotas de pulverização e condições meteorológicas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INSETOS-PRAGA NA CULTURA DA SOJA

A cultura da soja está sujeita ao ataque de insetos-praga desde a germinação à colheita. Logo após a germinação, a partir do início do estágio vegetativo, insetos como o bicudo-da-soja (*Sternechus subsignatus*), a lagarta elasmó (*Elasmopalpus lignosellus*) e os percevejos-castanhos-da-raiz (*Scaptocoris castanea* e *Atarsocoris brachiariae*) prejudicam a cultura. Com o avanço da fase vegetativa, a lagarta-da-soja, *Anticarsia gemmatilis*, a lagarta falsa-medideira, *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *includens*, e os percevejos sugadores de vagens e sementes (*Nezara viridula*, *Piezodorus guildinii* e *Euschistus heros*) podem atacar as plantas, ocorrendo em maior número a partir do início da fase reprodutiva, causando danos desde a formação das vagens até o final do enchimento dos grãos, o que provoca danos na produtividade (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000; MOREIRA; ARAGÃO, 2009).

De maneira geral, a espécie de lagarta desfolhadora mais importante na cultura da soja ainda é a *Anticarsia gemmatilis* (ALMEIDA et al., 2010; FORMENTINI et al., 2015; GUEDES et al., 2012). Todavia, dentre as pragas secundárias, a lagarta falsa-medideira, *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *includens*, tem ganhado significativa importância na cultura, por causar danos constantes, ocorrer de forma regular e apresentar ampla distribuição geográfica, justificando o aumento de pesquisas científicas para o seu controle efetivo (BERNARDI et al., 2012; BOTELHO et al., 2019; DI OLIVEIRA et al., 2010; OWEN et al., 2013).

A lagarta falsa-medideira, *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *includens*, identificada e nomeada por Walker em 1858, tornou-se uma das espécies que mais causa danos a cultura da soja. Os ovos destas lagartas a partir do início de seu desenvolvimento são globulares, medindo cerca de 0,5 mm de diâmetro e apresentam coloração verde-clara logo após a oviposição e marrom-clara próximo à eclosão. O desenvolvimento embrionário se completa em torno de três dias. Após à eclosão, as lagartas são de coloração verde-clara, com listras longitudinais brancas e pontuações pretas, atingindo de 40 a 45 mm de comprimento em seu último estágio larval. Dentro de cada ínstar, a lagarta sofre uma perceptível mudança na coloração, de verde amarronzada clara enquanto se alimenta, para verde-limão translúcida. Logo após o último ínstar

larval, esta lagarta se transforma em pupa, que ocorre sob uma teia, em geral na face inferior das folhas. A coloração da pupa é de amarelo para verde-clara no início do desenvolvimento, com pigmentação dorsal irregular até dois dias antes da emergência. O período pupal dura de sete a nove dias até a emergência dos adultos. Com o passar dos dias, as pupas tornam-se mais escuras (BENASSI et al., 2012). Porém, o padrão de coloração é influenciado pelo tipo da dieta em que a lagarta se desenvolve. O ciclo de vida da falsa-medideira pode durar cerca de quinze dias e, durante esse período, pode consumir até 200 cm² de área foliar da soja. Como essa lagarta não consome as nervuras da folha, o desfolhamento apresenta um aspecto rendilhado (AGRO BAYER, 2018).

2.2. CONTROLE DE INSETOS-PRAGA COM INSETICIDAS

O controle de insetos-praga na agricultura não necessariamente deve ser realizado com um produto químico (BARBOSA et al., 2006). Entretanto, o uso de inseticidas ainda é a forma de controle mais utilizada em diversas culturas, como é o caso da soja. Estima-se que aproximadamente 26% dos gastos no Brasil em defensivos agrícolas são com inseticidas (BRUNA, 2018). Por definição, inseticidas são compostos químicos que aplicados direta ou indiretamente sobre insetos, em concentrações apropriadas, promovem sua morte (SILVA, 2015). De acordo com o Manejo Integrado de Pragas - Soja (MIP-Soja), o controle de insetos, via inseticidas, deve ser compreendido como uma última alternativa a ser adotada por um agricultor. Inseticidas químicos devem ser utilizados para regular populações das pragas da soja apenas quando elas alcançarem os níveis de controle, ou seja, quando oferecerem risco de danos econômicos na produção. O produtor deve dar preferência para os inseticidas recomendados pelos órgãos oficiais de pesquisa e utilizar, preferencialmente, inseticidas seletivos, isto é, que não afetam ou que afetam muito pouco a população de inimigos naturais das pragas (EMBRAPA, 2006).

Recomenda-se ainda não repetir o mesmo inseticida várias vezes na mesma área, de modo a não favorecer o surgimento de resistência de uma dada praga ao inseticida aplicado (EMBRAPA, 2006). O uso inadequado e abusivo de inseticidas ao longo dos últimos anos teve como resultado o desenvolvimento de resistência em mais de 500 espécies de insetos-praga registradas até o ano de 2000 (MICHIGAN

STATE UNIVERSITY, 2002). Dentre as consequências da evolução da resistência, estão a aplicação mais frequente e o aumento na dose dos produtos (GEORGHIOU, 1990), muitas vezes deixando o agricultor com poucas alternativas para o controle efetivo de determinadas pragas.

Uma das táticas mais importantes de manejo de resistência de pragas a inseticidas é a rotação por modo de ação (OMOTO, 2000, 2002). Modo de ação refere-se ao processo bioquímico pelo qual uma molécula inseticida interage com o seu alvo biológico, causando alterações em processos fisiológicos normais da praga alvo que se expressam na forma de toxicidade e inabilidade de sobrevivência.

Os produtos podem se comportar na planta de forma residual ou sistêmica. Em relação ao efeito residual, quando o ingrediente ativo é aplicado em um determinado local da planta, o mesmo permanece em dosagens letais para um organismo alvo por um período prolongado (YAMAMOTO, 2018). Produtos sistêmicos são aqueles que se movimentam pela planta de modo a atingirem partes não pulverizadas, analogamente, é aquele inseticida que, aplicado sobre folhas, raízes, ramos e sementes é capaz de ser absorvido e circular com a seiva para todas as partes da planta (HUTH et al., 2012). Um inseticida penetra no inseto sob quatro diferentes formas, sendo eles: por contato, ingestão, fumigação e repelente. O primeiro é resultante da absorção pelo tegumento do organismo do inseto-praga em borrifações residuais ou espaciais. No segundo, o inseticida age e penetra no organismo do inseto via oral. O terceiro atinge o organismo do alvo na forma de vapor, por meio das vias respiratórias. No último, o inseticida age de forma que o inseto-praga em contato com as plantas se afaste (YAMAMOTO, 2018).

2.3. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

A tecnologia de aplicação constitui-se da aplicação de um produto químico por um equipamento apropriado, de forma que o controle do alvo biológico (planta daninha, insetos-praga ou fitopatógenos), seja executado com eficácia, economia e segurança (SANTOS, 2002). Dessa forma, o sucesso no controle de plantas daninhas, insetos-praga, fitopatógenos e outros agentes prejudiciais à agricultura apresenta forte dependência da qualidade da aplicação do produto fitossanitário (CONCEIÇÃO; SANTIAGO, 2003).

As inúmeras perdas que ocorrem durante a aplicação de defensivos agrícolas são decorrentes de um conjunto de fatores. O tamanho das gotas produzidas pelas pontas de pulverização determina a distribuição do produto fitossanitário no alvo desejado, influenciando na qualidade e na segurança da aplicação (CHAIM, 2004; MATUO, 1990). Grande parte dos bicos gera um espectro de gotas heterogêneo (de tamanhos distintos) e, geralmente, gotas maiores se colidem contra as folhas mais externas das plantas, não conseguindo penetrar para se depositar no interior do dossel de culturas desenvolvidas, como a soja. Essa deposição externa pode se dar em tal intensidade que acaba escorrendo para o solo, provocando um fenômeno conhecido como endoderiva. No entanto, as gotas pequenas, que são mais adequadas para penetração entre as folhas da planta, podem ser evaporadas e/ou levadas pelo vento para fora da área do alvo, produzindo a chamada exoderiva. O tamanho de gota ideal é aquele que promove o máximo de deposição do defensivo no alvo com menor desperdício de água e danos ao ambiente (CHAIM, 2004; HIMEL, 1969; HIMEL; MOORE, 1969).

O espectro de gotas é produzido pela pressão de trabalho que atua nas pontas ou bicos de pulverização (SCUDELER et al., 2004). Pontas de pulverização são aparatos acoplados na saída dos pulverizadores para transformar a calda de pulverização em pequenas gotas e distribuí-las uniformemente na área pretendida (COTRISOJA, 2017). As pontas se dividem em pontas de jato cônico e de jato plano de impacto (MATUO et al., 2005). Nas pontas de pulverização que operam com pressão hidráulica, a formação de gotas, em geral, é desuniforme (CUNHA et al., 2007). As pontas de jato cônico foram muito utilizadas devido a formação de gotas menores com maior potencial de penetração no interior do dossel de culturas desenvolvidas ou com elevado Índice de Área Foliar - IAF. Nas pontas de jato plano de impacto, o jato líquido bate em um plano inclinado e abre-se em forma de leque, caracterizado por apresentar ampla uniformidade de distribuição e cobertura dos estratos da planta (CHRISTOFOLETTI, 1992; EMBRAPA, 2006).

Dentre as principais técnicas de aplicação de defensivos utilizadas, destacam-se as barras assistidas de ar, pulverizações tratorizadas, costais e as costais pressurizadas à CO₂ (EMBRAPA, 2006). A aplicação de defensivos com o uso da assistência de ar nos pulverizadores ainda é pouco utilizada em culturas anuais, segundo Furness (1991) e Matthews (2000). Em contrapartida, Cooke et al. (1990)

comparando um pulverizador convencional com um equipamento provido de assistência de ar junto a barra de pulverização mostraram que o equipamento com assistência de ar pode reduzir ou aumentar a deriva, quando comparado ao equipamento convencional, de acordo com o tipo de cultura alvo, da configuração operacional e do tipo de ponta utilizada. Para culturas anuais, as barras acopladas a um trator são mais recomendadas. Desta forma, torna-se possível cobrir grandes áreas em um pequeno intervalo de tempo. O movimento do ar causado pela velocidade de deslocamento em pulverizações tratorizadas pode influenciar, de maneira substancial, a dispersão da pulverização ocasionada por bicos hidráulicos (MATTHEWS, 2000). Pulverizadores hidráulicos, do tipo costal, são muito utilizados em áreas de pequena extensão (CUNHA et al., 2003). Em geral, este é composto de um reservatório com alças, que pode ser carregado nas costas, podendo ter acionamento manual, elétrico ou a combustível. Pulverizadores do tipo costal pressurizado com CO₂, são muito utilizados para determinar a eficiência e dosagens de produtos fitossanitários, pois permite a aplicação de pequenos volumes de calda na quantidade necessária para a aplicação em parcelas experimentais com pequenas áreas (GABRIEL; BAIO, 2013).

Outro parâmetro importante em tecnologia de aplicação é o volume de calda (ANTUNIASSI, 2005). No Brasil, o volume de calda médio utilizado em aplicações terrestres varia de 50 a 200 L ha⁻¹ (LÍGIA, 2018). Para inseticidas, em lavouras com baixo IAF, recomenda-se volumes de calda entre 80 e 100 L ha⁻¹, e para lavouras com IAF acima de 3, recomenda-se volumes entre 100 e 200 L ha⁻¹. Em campo, geralmente a dose de defensivos utilizada é superior à recomendada (FERNANDES, 1997). À vista disso, há uma tendência de se limitar o volume de calda aplicado e, por essa razão, surge a necessidade de um espectro de gotas com um tamanho adequado e uniforme (CHAIM, 2004). Assim, surgiu a necessidade de conhecer qual é a combinação mais apropriada de densidade e diâmetro de gotas, volume e concentração de ingrediente ativo na calda, para as principais pragas cujo controle é efetuado via pulverização (FERREIRA, 2003). Para se conhecer as características médias das gotas, são utilizados os seguintes parâmetros estatísticos: diâmetro de 10% do volume acumulado ($DV_{0,1}$, μm), que representa o diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor; diâmetro de 50% do volume acumulado ($DV_{0,5}$, μm), também conhecido como

diâmetro mediano volumétrico (DMV, μm); diâmetro de 90% do volume acumulado ($DV_{0,9}$, μm), que representa o diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor; diâmetro mediano numérico (DMN, μm), que em conjunto com o DMV permitem expressar numericamente o tamanho e a uniformidade de deposição das gotas; densidade de gotas (gotas cm^{-2}), que fornece informações de quantas gotas atingiram uma área equivalente a um centímetro quadrado; amplitude relativa (AR), que fornece uma medida de quão diferentes são as dimensões de gotículas de uma determinada pulverização; e porcentagem de cobertura (%), que expressa a porcentagem de área coberta pela mancha das gotas em relação a área total de uma amostra. Para inseticidas são indicadas gotas finas e médias com DMV entre 101-200 e 201-400 μm (OZEKI; KUNZ, 1998). A uniformidade na distribuição da calda aplicada é oferecida pelas condições de montagem e pela operação dos equipamentos de pulverização, como altura da barra, ângulo de abertura dos jatos e pressão de trabalho, assim como o espaçamento entre os bicos de pulverização (PERECIN et al., 1994). O bico dos pulverizadores é que determina a vazão e a uniformidade de distribuição da calda em direção ao alvo biológico, os quais necessitam apresentar a menor variação possível ao longo da barra (BAUER; RAETANO, 2004).

2.4. CONDICIONANTES METEOROLÓGICOS QUE AFETAM A EFICÁCIA DE INSETICIDAS

O estado do Rio Grande do Sul é influenciado por sistemas atmosféricos de escala sinótica e mesoescala, com influência de fatores associados à circulação de grande escala e também à circulação local, tanto de origem tropical como extratropical (BRITTO et al., 2008). O clima desta região apresenta significativos contrastes nos regimes de temperatura e precipitação, o que se deve, em parte, ao fato do estado estar localizado na transição entre os trópicos e as latitudes médias. Reboita et al. (2010) e outros estudos (KOUSKI, 1979; ANDRADE, 2007) citam alguns fatores que podem estar associados à precipitação nesta região: sistemas frontais que se deslocam do Pacífico, passam pela Argentina e seguem para o Nordeste do Brasil; condições frontogenéticas e/ou ciclogénéticas que se originam na própria região; ciclones e frentes frias que se formam devido à presença de vórtices ciclônicos ou

cavados em altos níveis sobre a costa oeste da América do Sul vindos do Pacífico; sistemas convectivos de mesoescala; bloqueios atmosféricos; entre outros sistemas.

O Rio Grande do Sul está situado entre duas regiões ciclogênicas, sendo a primeira a da costa do Uruguai e do extremo sul do Brasil e, a segunda, a da costa sul/sudeste do Brasil. Sendo assim, é comum nesta região a precipitação ser modulada por sistemas ciclônicos em superfície. Segundo Reboita (2008), as ciclogêneses nas duas regiões estão relacionadas tanto com a divergência a leste dos cavados transientes em níveis médios, como com a instabilidade frontal em superfície. Contudo, o transporte de umidade da região tropical para tais áreas através da atuação de Jato de Baixos Níveis (JBN) também é crucial para esses sistemas (BERRI; INZUNZA, 1993; STENSRUD, 1996). Além disso, os ciclones em superfície podem estar associados a presença de vórtices ciclônicos de altos níveis (VCANs) (FERREIRA et al., 2009).

Há também atuação de sistemas de circulação locais, que influenciam no regime de precipitação do Sul do Brasil, como por exemplo, a influência indireta da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS é uma característica de extrema importância da circulação atmosférica na América do Sul durante o verão austral. A ZCAS consiste em uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, que se estende desde o sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central (CARVALHO et al., 2002; CARVALHO et al., 2004). Essa característica climatológica está associada a um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera, sendo o fenômeno mais importante na escala intrasazonal que ocorre durante o verão do Hemisfério Sul (GRIMM, 2011). O Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) apresenta significativa importância no transporte de umidade para a região central da América do Sul e a configuração da ZCAS (GRIMM, 2011). Sendo assim, o SMAS tem relação direta com a ZCAS, modulando o ciclo sazonal da precipitação sobre a América do Sul tropical. Gandu e Silva Dias (1998) mostraram que a assimetria deste sistema é de fundamental importância para o ramo de subsidência observado sobre o Sul do Brasil e Argentina quando essa zona de convergência está ativa.

Além das variabilidades espacial e sazonal do clima no Rio Grande do Sul, há também nessa região a influência da variabilidade interanual da precipitação e temperatura do ar (GRIMM, 2009). A variabilidade interanual, assim como a sinótica e a intrasazonal, exerce um significativo impacto sobre a precipitação (GRIMM, 2009).

O fenômeno conhecido como El Niño Oscilação-Sul (ENOS), é a principal fonte de variabilidade climática interanual global (GRIMM, 2009). O fenômeno corresponde a um padrão climático recorrente que produz alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), na pressão, no vento e na convecção tropical, principalmente sobre o Oceano Pacífico, onde essa oscilação acoplada do oceano-atmosfera causa reflexos ao redor do globo, incluindo o Brasil (GRIMM, 2009). As fases extremas do ciclo ENOS são conhecidas como El Niño (EN) e La Niña (LN); os anos que não se enquadram nas fases extremas são chamados de neutros (GRIMM, 2009).

A caracterização do ENOS é realizada através do cálculo de índices, como o Índice de Oscilação Sul (IOS) e os índices nomeados Niño (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4). O primeiro é um fenômeno de grande escala determinado pela diferença de pressão padronizada em Darwin (Austrália) e Taiti (Polinésia Francesa) e está associado ao enfraquecimento/intensificação dos ventos alísios sobre o pacífico equatorial. O IOS é considerado positivo quando a pressão está maior no Taiti e negativo quando a pressão está maior em Darwin (MÉLICE; SERVAIN, 2003). O segundo representa as anomalias de TSM médias em diferentes regiões do pacífico equatorial (TRENBERTH; STEPANIAK, 2001).

Fenômenos como EN e LN alteram significativamente a distribuição das chuvas no Rio Grande do Sul, onde na maioria dos casos favorece a ocorrência de eventos extremos, como seca e elevados índices pluviométricos (BRITTO et al., 2008). Porém, têm-se observado que mesmo em períodos de ausência de EN e LN, ou seja, em anos neutros, há variabilidades que provocam eventos extremos importantes no estado. Talvez esses eventos não sejam da magnitude do EN e LN, mas geram importantes impactos econômicos, principalmente na agricultura, pois o Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores agrícolas do Brasil.

As variáveis meteorológicas condicionantes que interferem diretamente na eficácia da aplicação de inseticidas são a radiação solar, a temperatura e a umidade do ar, a intensidade e direção do vento, a formação de orvalho, a ocorrência de chuva, e a estabilidade atmosférica (PENCKOWSKI et al., 2003).

A combinação de alta incidência de radiação solar, associada a alta temperatura e baixo conteúdo de vapor d'água presente no ar provocam a evaporação das gotas de pulverização (MACIEL et al., 2017). Quanto menor o diâmetro das gotas, maior é o risco de sua evaporação antes do contato com o alvo biológico. A umidade

do ar, além de interferir na evaporação das gotas, age na absorção dos defensivos agrícolas pelas plantas. Com baixa umidade do ar, as plantas acionam mecanismos de defesa contra a perda de água, como o fechamento estomático, dificultando a entrada de produtos aplicados por via líquida (RAMSEY et al., 2006; VILELA, 2012).

O vento interfere na movimentação das gotas e na sua deposição sobre o alvo biológico, sendo um dos componentes mais determinantes para a ocorrência de deriva. A deriva é um dos principais fatores responsáveis pela perda de agrotóxicos e decorrente contaminação ambiental, assim como do aplicador e culturas próximas a área aplicada (RAMOS, 2001). A deriva ocorre quando há um deslocamento de gotas para fora da área desejada, que pode ser provocado tanto pela ação de ventos intensos, quanto pela evaporação da água utilizada na preparação da calda, sobretudo sobre as gotas de tamanhos menores (MILLER, 1993; OZKAN, 2001). Em contrapartida, a ausência de vento ou ventos muito fracos pode estar relacionada com a ocorrência de estabilidade atmosférica, com o desvio das gotas de pequeno diâmetro a grandes distâncias da área de aplicação.

A estabilidade atmosférica está relacionada à formação de uma camada de inversão térmica do ar próximo à superfície. A inversão térmica representa o aumento da temperatura do ar com a altura nos primeiros 60-80 m da atmosfera no período noturno e início de manhãs com céu claro e sem vento (FRITZ et al., 2008), padrão oposto ao normalmente observado. Durante inversões térmicas, a densidade do ar diminui continuamente com a altura, o que causa a estratificação do ar, com ar mais frio e denso próximo à superfície. Como resultado, o ar se move horizontalmente dentro da camada de inversão, e não há movimento vertical. Nessa condição, o ar na baixa atmosfera é classificado como muito estável porque não ocorre mistura vertical (OKE, 1987). Como a temperatura do ar aumenta com a altura na camada de inversão, o topo da inversão é a altura na qual a temperatura do ar para de aumentar. Acima dessa camada, a temperatura começa a diminuir com a altura. Quando se pulveriza numa camada de inversão térmica, a evaporação das gotas é lenta ou não há evaporação, sendo que as gotas ficam confinadas nessa camada. A taxa de evaporação das gotas menores determinará por qual distância as mesmas irão se deslocar. O ar frio próximo à superfície é úmido, e as gotas menores evaporam lentamente (ENZ et al., 2014).

A cobertura do solo é um fator determinante à formação de inversão térmica. Como pouca energia é armazenada durante o dia em áreas com cobertura morta ou vegetação densa, o ar sobre a superfície se resfriará mais rapidamente e mais intensamente do que sobre áreas sem cobertura (MONTEITH, 1975). Com o início da incidência de radiação solar, a superfície do solo se aquece, aquecendo o ar que está acima. O ar aquecido se expande, ficando menos denso que o ar de camadas superiores, e começa a subir, enquanto que o ar mais frio desce. Quando o ar mais frio atinge a superfície, se aquece pelo contato com a superfície e sobe, simultaneamente permitindo que o ar mais frio desça. Esse movimento forma células de circulação vertical e horizontal que lentamente vão aquecendo o ar próximo a superfície num movimento na forma de turbilhões, desfazendo a camada de inversão térmica e tornando o ar instável termicamente (OKE, 1987; PEREIRA, 2002). A instabilidade térmica, quando intensa, também carrega as gotas verticalmente na atmosfera. Sendo assim, uma atmosfera neutra é mais adequada para pulverização, pois as gotas pulverizadas caem apenas sob efeito da força gravitacional, em vez de serem arrastadas pelas correntes de ar em condições instáveis ou estáveis (SANTOS, 2003).

A estabilidade atmosférica é determinada pelo método da parcela comparando-se a variação de temperatura de uma parcela de ar ascendente ou descendente com o perfil de temperatura do ar ambiente (ROGERS; YAU, 1996; SANTOS et al., 2013). A taxa de decréscimo da temperatura com a altitude é denominada *lapse rate* do ambiente (Γ , °C). Parcela de ar refere-se a um pequeno volume de ar.

Considerando uma atmosfera em equilíbrio hidrostático com um certo Γ , no caso de uma parcela de ar presente nessa atmosfera, que inicialmente tem a mesma temperatura, pressão e densidade que o meio ambiente, não haverá força resultante atuando sobre a parcela e ela estará flutuando no ar. Supondo que essa parcela seja deslocada por um agente externo, se a mesma se mantém insaturada, ou seja, se não há calor latente de condensação sendo liberado, ela se expande e se resfria de acordo com a taxa de variação da temperatura na vertical (TVVT) da adiabática seca (Γ_d). Se a TVVT do ambiente for menor que a TVVT da adiabática seca ($\Gamma_d > \Gamma$) a parcela terá uma temperatura virtual menor do que a do ambiente na sua posição. Como a pressão da parcela ajusta-se à pressão do ambiente, sua densidade será maior do que as do ambiente ao seu redor, pois está mais fria. A força gravitacional

excede a força de empuxo e a parcela desce novamente. Quando no movimento descendente ela ultrapassa sua posição inicial, ela começa a diminuir sua temperatura adiabaticamente a uma razão menor do que a do meio ($\Gamma_d < \Gamma$), tornando-se menos fria, menos densa e a força de empuxo volta a exceder a força gravitacional. Desta forma, a parcela oscila em torno de sua posição original até que a viscosidade a reprima totalmente. No equilíbrio final, a parcela ocupará a mesma posição inicial com mesma temperatura, pressão e densidade. À vista disso, a parcela de ar é considerada estável porque ela resiste ao movimento de ascensão. No caso em que $\Gamma_d < \Gamma$, quando a parcela for deslocada para cima ela, embora esfriando-se adiabaticamente, adquire uma temperatura que ainda é maior que a do ambiente. Como resultado, estará menos densa, e a força de empuxo continuará sendo maior do que a da gravidade, acelerando a parcela para cima e para uma longa distância de sua posição original. Assim, tem-se um ar considerado instável na atmosfera. Por fim, quando $\Gamma_d = \Gamma$, se a parcela for deslocada para cima ou para baixo sempre terá a mesma temperatura e densidade do ambiente ao seu redor, logo não estará sujeita à força resultante, permanecendo estática em sua posição, caracterizando uma atmosfera neutra (DINIZ, 2006).

A aplicação noturna é uma alternativa para se evitar temperaturas elevadas e baixa umidade do ar, ventos intensos e instabilidade térmica que ocorrem durante o período diurno (ANTUNIASSI et al., 2017). Nesses casos, recomenda-se a utilização de baixos e ultrabaixos volumes de calda. Entretanto, à noite e nas primeiras horas da manhã é frequente a formação de orvalho sobre a parte aérea das plantas. Além disso, a estabilidade atmosférica pela inversão térmica noturna também reduz a eficácia da aplicação. Na presença de orvalho, pode ocorrer nas folhas a diluição ou escorrimento da calda pulverizada (BOLLER et al., 2010; SPADOTTO, 2006).

A ocorrência de chuva é também um fator que deve ser observado antes de se iniciar ou para interromper uma pulverização, pois pode remover mecanicamente os produtos da superfície das plantas, ou diluí-los. O intervalo de tempo entre a aplicação e a ocorrência de chuva deve ser respeitada e depende das características do inseticida utilizado (SPADOTTO, 2006).

Segundo Antuniassi e Baio (2004), de maneira geral, temperatura do ar ambiente inferior a 10°C e superior a 30°C, umidade relativa do ar inferior a 50%, e velocidade do vento abaixo de 3,2 km h⁻¹ e acima de 6,5 km h⁻¹, podem comprometer

a eficácia de uma aplicação. Contudo, esses limiares ainda são objeto de pesquisa pela comunidade científica, pois podem variar de acordo com a região de aplicação. Desta forma, um fator primordial para a eficácia da aplicação de defensivos agrícolas e, conseqüentemente, para a segurança do ambiente, é a adequação da tecnologia de aplicação às condições meteorológicas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. EXPERIMENTO DE CAMPO PARA COLETA DE DADOS

Os experimentos de campo para coleta de dados foram realizados na área experimental do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no ano agrícola de 2018/2019. Santa Maria localiza-se na região fisiográfica da Depressão Central, próxima à zona denominada de rebordo do Planalto, a 29° 43' de latitude Sul e 53° 49' de longitude Oeste e altitude média de 115 metros acima do nível do mar. De acordo com a classificação climática de Köppen e Geiger (PEEL, 2007), Santa Maria está localizada na região subtropical úmida (Cfa).

Os experimentos foram realizados com a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivar NS6209RR, que apresenta hábito de crescimento indeterminado, a qual foi semeada em 23/11/2018. Anterior a implantação da cultura, foi realizado na área experimental o controle manual de buva (*Conyza bonariensis*) por arranque. No período pré-plantio, foi realizado o manejo para dessecação de buva com o uso de Saflufenacil na dose de 60,0 g ha⁻¹ (Heat® da Basf) associado ao herbicida a base de glifosato (Glifosato Nortox na dose de 3,0 L ha⁻¹). A emergência das plântulas ocorreu em 30/11/2018. A estatura média das plantas foi de 0,57 m. A duração média do ciclo foi de 130 dias. O espaçamento entre linhas foi de 0,5 m, com 12 plantas m⁻¹. A população de plantas foi de 240 mil ha⁻¹.

Os fatores avaliados foram: (1) condição meteorológica representada por quatro horários de aplicação dos tratamentos; e (2) três volumes de calda em L ha⁻¹. A descrição dos tratamentos encontra-se na Tabela 1. Cada tratamento ocupou uma área de 72 m² (6,0 m de largura x 12,0 m de comprimento). Além dos 12 tratamentos com a combinação de horário de aplicação e volume de calda, um tratamento testemunha foi avaliado.

Tabela 1 - Tratamentos utilizados definidos por quatro horários de aplicação e três volumes de calda, e um tratamento testemunha sem aplicação.

Tratamento	Horário de aplicação (h)	Volume de calda (L ha ⁻¹)
1 (Testemunha)	-	-
2	8	75
3	8	150
4	8	225
5	14	75
6	14	150
7	14	225
8	18	75
9	18	150
10	18	225
11	22	75
12	22	150
13	22	225

Fonte: O Autor.

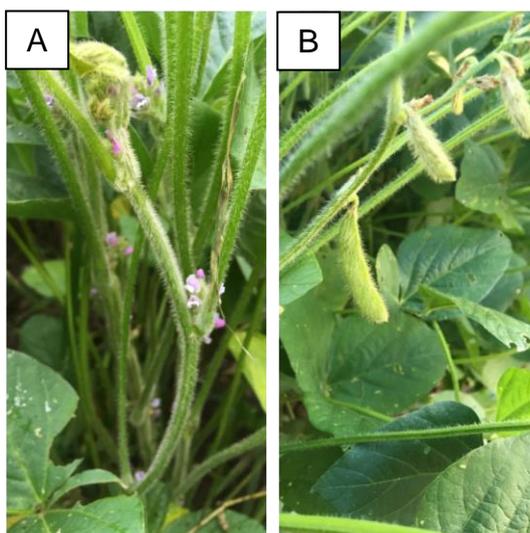
O inseticida utilizado foi o Methoxyfenozida (Intrepid® 240 SC da Corteva) na dose de 72 g i. a. ha⁻¹. Os diferentes volumes de calda aplicados foram definidos por três diferentes velocidades de caminhamento (6, 12 e 18 segundos). Ressalta-se que não foi modificada nenhuma das características físicas do equipamento de pulverização, apenas foi alterado o volume de calda. As aplicações foram feitas com um pulverizador costal pressurizado à CO₂ montado manualmente pelo grupo de pesquisa. O modelo de ponta utilizado foi o TT11002 da marca TEEJET, tipo leque. O comprimento da barra de pulverização era de 3,0 m, e o espaçamento entre as pontas foi de 0,5 m. A pressão de trabalho utilizada na pulverização foi de 206,8 kPa.

A fenologia das plantas foi determinada semanalmente em 40 plantas de cada tratamento seguindo a escala de Fehr e Caviness (1977). O crescimento das plantas foi caracterizado semanalmente pela estatura (m) das mesmas 40 plantas utilizadas para a determinação da fenologia e pelo Índice de Área Foliar (IAF, m² m⁻²). O Índice de Área Foliar (IAF) foi medido com um ceptômetro modelo LAI-2000® da marca Li-Cor Biosciences.

Os tratamentos foram aplicados em dois estádios fenológicos. A aplicação 1 ocorreu quando as plantas atingiram os estádios R1 (50 dias após a emergência - DAE), que representa o início do florescimento (Figura 1A), e a aplicação 2 foi realizada em R5 (83DAE), que caracteriza o estádio de início de desenvolvimento de

grãos dentro da vagem plenamente desenvolvida pela planta (Figura 1B). As datas das aplicações foram, respectivamente, 19 de janeiro e 21 de fevereiro de 2019.

Figura 1 - Estádio de desenvolvimento da cultura da soja no momento das duas aplicações dos tratamentos. A) Estádio R1 na aplicação realizada em 19/01/2019, e B) Estádio R5 na aplicação realizada em 21/02/2019.



Fonte: O Autor.

No momento em que a cultura atingiu a maturação, em 10 de abril de 2019 (131DAE), realizou-se a colheita manual para a determinação da produtividade. Cada tratamento foi dividido em quatro repetições, onde foram colhidas 15 plantas por repetição, totalizando 60 plantas por tratamento. As plantas foram cortadas manualmente, trilhadas em batedor estacionário, e em seguida as amostras foram pesadas em uma balança de precisão. Posterior à pesagem, as amostras foram submetidas à secagem em estufa por um período de 48 horas. Após a secagem dos grãos, foi determinado o peso de mil grãos e a produtividade expressa em sacas ha^{-1} depois da correção do teor de umidade dos grãos para 13%.

Os dados de estatura, do peso de mil grãos e produtividade foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do software SASM-Agri (CANTERI et al., 2001).

3.2. VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

As variáveis medidas para a caracterização da condição meteorológica durante o ciclo da cultura e as aplicações dos tratamentos foram a temperatura (T , °C) e a umidade relativa do ar (UR , %), e a temperatura do ponto de orvalho (T_d , °C) à 1,5 m, e a velocidade (V , $m\ s^{-1}$) e direção do vento ($DirV$, °) à 10 m de altura. Os dados dessas variáveis foram medidos na Estação Meteorológica Automática de Santa Maria do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que se localiza a aproximadamente 1540 m da área do experimento. Os dados são disponibilizados a cada uma hora, totalizando 24 observações ao dia.

A velocidade do vento (V , $m\ s^{-1}$) é característica da altura em que a medição foi realizada. É medida a 10 m de altura (para fins meteorológicos) ou 2 m (para fins agrometeorológicos). Considerando que a velocidade do vento aumenta exponencialmente com a altura devido principalmente a redução do atrito conforme o fluxo de ar se distânciada da superfície, a velocidade do vento medida a 10 m de altura será maior do que aquela medida a 2 m. Sendo assim, foi realizada a conversão dos dados de velocidade do vento da Estação Meteorológica Automática do INMET de 10 m de altura para 2 m, calculada pela Equação 1.

$$U_2 = U_z * \frac{4,87}{\ln(67,8 * z - 5,42)} \quad (1)$$

onde:

U_2 : Velocidade do vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$).

U_z : Velocidade do vento a z metros acima da superfície.

z: Altura de medição da velocidade do vento acima da superfície (m).

Os dados da condição meteorológica de temperatura e umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho e componentes do vento no momento das aplicações de inseticida foram analisados através de uma técnica estatística multivariada, denominada análise de componentes principais (ACP). Este método é empregado em muitos estudos científicos porque permite a análise de diversas variáveis em conjunto, definindo padrões. Tem por finalidade a redução de dados menos significativos para um determinado processo, eliminação de sobreposições e a escolha de formas mais representativas a partir de combinações lineares das variáveis originais. A ACP fornece um número reduzido de variáveis em um grande conjunto de dados e define

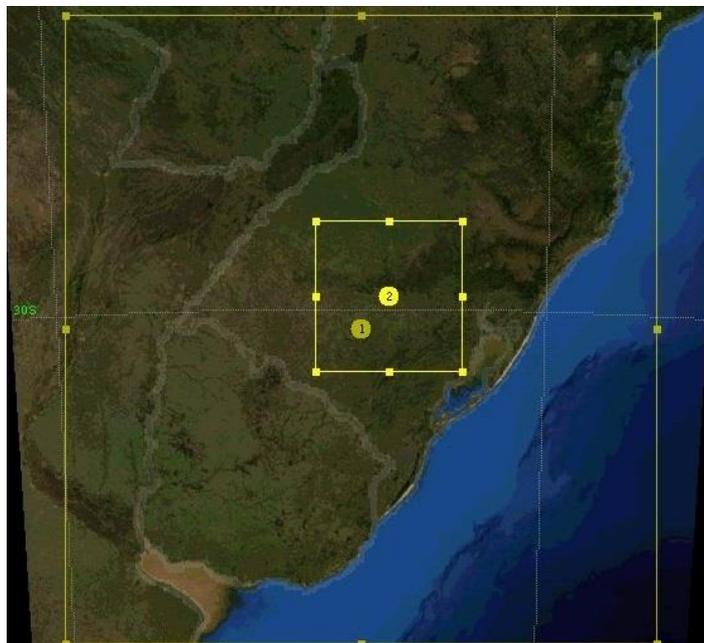
um número limitado de componentes principais que descrevem estruturas de variação independentes nos dados (PEARSON, 1901; HONGYU et al., 2015).

Um banco de dados foi montado relacionando a eficácia de controle atingida nas aplicações com cada volume de calda com as condições de temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, umidade relativa do ar e, componentes do vento. O conjunto de variáveis meteorológicas ao longo dos dias de aplicação dos tratamentos foi dividido por turno, sendo eles: manhã, início da tarde, fim da tarde e noite. Sendo que o critério utilizado para a determinação dos respectivos turnos foi extrair duas horas anteriores e posteriores a cada horário de aplicação dos tratamentos (8, 14, 18 e 22 h). A ACP foi efetuada pela função PCAshtiny do pacote Factoshiny (HUSSON et al., 2018) no software R 4.0.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

Além das variáveis mencionadas, a estabilidade atmosférica foi determinada por simulações numéricas feitas com o modelo meteorológico ***Weather Research and Forecasting (WRF)***. O sistema de modelagem numérica WRF foi desenvolvido por alguns centros de pesquisa, dentre eles, o National Center for Atmospheric Research (NCAR) e o National Centers for Environmental Prediction (NCEP), no intuito de auxiliar na qualidade da meteorologia operacional, que concentra a previsão do tempo, assim como, contribuir em pesquisas relacionadas a atmosfera terrestre (UCAR, 2019). O modelo atende a uma ampla gama de aplicações meteorológicas em escalas de dezenas de metros a milhares de quilômetros.

As integrações numéricas durante a simulação foram realizadas para os dias das aplicações dos tratamentos, respectivamente 19/01/2019 e 21/02/2019. A simulação foi realizada utilizando-se a coordenada vertical sigma (σ). A coordenada σ segue a topografia com um valor constante $\sigma = 1$ na superfície e $\sigma = 0$ no topo da atmosfera onde a pressão atmosférica é igual a zero, logo $0 \leq \sigma \leq 1$. A simulação apresenta uma cobertura espacial horizontal com resolução de 12 e 3 km (Figura 2). Porém, a grade utilizada para estimativa da estabilidade atmosférica nos horários de aplicação dos tratamentos foi a de 3 km, devido maior proximidade da área experimental.

Figura 2 - Cobertura espacial das integrações numéricas realizadas pelo modelo WRF para os dias de aplicação dos tratamentos com resolução de 12 (grade externa) e 3 km (grade interna).



Fonte: O Autor.

Uma das maneiras de se determinar o grau de estabilidade atmosférica é através da análise do perfil de temperatura potencial na vertical. Com isso, foram utilizadas as seguintes variáveis simuladas: perturbação de geopotencial ($m^2 s^{-2}$), estado básico de geopotencial ($m^2 s^{-2}$) e, temperatura potencial (θ , K).

A perturbação de geopotencial ($m^2 s^{-2}$) somada ao estado básico de geopotencial ($m^2 s^{-2}$), resultam na variável geopotencial ($m^2 s^{-2}$). Geopotencial, em qualquer ponto da atmosfera, é o trabalho realizado para elevar uma massa de ar de 1 kg do nível médio do mar até aquele ponto (WALLACE; HOBBS, 2006). A partir desta grandeza, derivou-se a altura geopotencial, que é medida em metro geopotencial (m_{gp}), onde dividiu-se o geopotencial pelo valor médio da aceleração da gravidade no nível médio do mar ($9,80665 m s^{-2}$). Desta forma, pode-se determinar a altura dos níveis de pressão atmosférica do local dos experimentos, tendo como referência o nível médio do mar e não a elevação do local.

A temperatura potencial de uma parcela de ar é definida como a temperatura que a parcela teria se fosse expandida ou comprimida adiabaticamente de seu estado real de pressão e temperatura para uma pressão de referência (em geral, 1000 hPa). Se uma parcela de ar é submetida apenas a transformações adiabáticas, sua

temperatura potencial permanece constante. Desta forma, a temperatura potencial é uma quantidade conservativa para transformações adiabáticas, e calculada pela equação de Poisson (Equação 3).

$$\theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{R_d}{C_p}} \quad (3)$$

onde:

θ : Temperatura potencial (K).

p_0 : Pressão de referência (1000 hPa).

p : Pressão atmosférica (hPa).

T : Temperatura do ar (K).

R_d : Constante do gás para o ar seco (287 J K⁻¹ kg⁻¹).

C_p : Calor específico à pressão constante (1004 K⁻¹ kg⁻¹).

A atmosfera pode ser considerada neutra, instável ou estável de acordo com a variação da temperatura potencial com a altura. Condições neutras são caracterizadas pela ocorrência de um perfil vertical de temperatura potencial aproximadamente constante com a altura ($\partial\theta/\partial z \approx 0$). Estas condições ocorrem, de maneira geral, durante as transições do período diurno para o noturno e vice-versa, e em dias nublados caracterizados por intensa magnitude da velocidade do vento médio. Nesses casos, a turbulência pode ser considerada aproximadamente homogênea, com turbilhões de mesmo tamanho atuando em todas as direções. Condições instáveis são caracterizadas por um perfil onde a temperatura potencial decresce com a altura ($\partial\theta/\partial z < 0$) e apresentam grandes turbilhões com escalas espaciais da ordem da altura da Camada Limite Planetária (CLP). Condições estáveis são caracterizadas por um perfil de aumento da temperatura potencial com a altura ($\partial\theta/\partial z > 0$). Neste caso, a parcela de ar quando se eleva na atmosfera, encontra um ambiente ao seu redor apresentando uma temperatura mais elevada (ar menos denso) e, como consequência, a parcela tende a retornar ao seu nível original. Sob estas condições, com ventos fracos, as gotas de pulverização podem percorrer grandes distâncias da área de aplicação (ENZ et al., 2014; ROGERS; YAU, 1996; STULL, 1988).

Além dos perfis de temperatura potencial para estimar a estabilidade atmosférica nos horários de aplicação dos tratamentos, foram calculadas as seguintes variáveis meteorológicas: umidade específica (q , g kg⁻¹) e velocidade do vento médio

(V_h , $m s^{-1}$). A primeira é definida como a massa do vapor numa dada região em relação à massa total de ar daquela região e demonstra a quantidade absoluta de água presente no ar. Esta foi utilizada para expressar a umidade da atmosfera no momento das aplicações dos tratamentos e calculada pela Equação 4. A segunda foi utilizada para visualização da mistura turbulenta na CLP e calculada através do vento zonal (u , $m s^{-1}$) e meridional (v , $m s^{-1}$) (Equação 5).

$$q = \frac{w}{1 + w} \quad (4)$$

onde:

q : Umidade específica ($g kg^{-1}$).

w : Razão de mistura ($g kg^{-1}$).

$$V_h = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (5)$$

onde:

V_h : Velocidade do vento médio (V_h , $m s^{-1}$).

u : Vento zonal (u , $m s^{-1}$).

v : Vento meridional (v , $m s^{-1}$).

A altura da CLP é variável de acordo com as características da superfície, como rugosidade e atrito. As variações de altura na CLP vão de centenas de metros a alguns quilômetros, dependendo também da influência das forçantes térmica e dinâmica, as quais ocorrem através dos mecanismos de transferência turbulenta. Após o nascer do Sol, com o início da incidência da radiação solar, a superfície começa a se aquecer e o calor é transferido para o ar que está próximo à superfície e assim começa a mistura turbulenta causada pelos efeitos termodinâmicos. Esse transporte turbulento depende da diferença entre a densidade das parcelas de ar presentes na região naquele dado instante, resultando em movimentos convectivos. Ao longo do dia, a tendência é que essas estruturas convectivas se intensifiquem provocando o crescimento da CLP. Como existe essa intensa mistura, a CLP também é conhecida como Camada de Mistura durante o ciclo diurno. Essa variação diurna é uma das características principais da camada limite sobre a superfície. Essa camada apresenta perfis verticais aproximadamente constantes de algumas variáveis, como temperatura potencial e umidade específica, por conta da turbulência, sendo também classificada como estável, neutra ou instável de acordo com a taxa dessas variações com a altura. À noite, a CLP tende a ser mais estratificada quando comparada ao período diurno devido ao resfriamento da superfície (STULL, 1988).

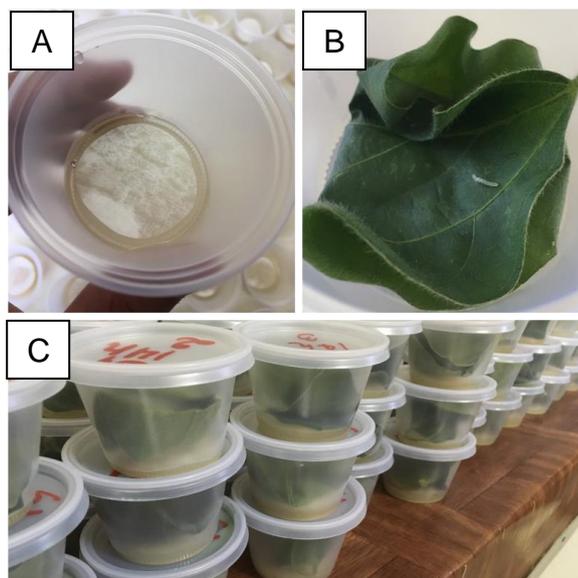
Utilizando o software Grid Analysis and Display System – GrADS (GEORGE MASON UNIVERSITY, 1988), foram extraídos para um arquivo de texto os dados de altura geopotencial (m_{gp}), temperatura potencial (θ , K), umidade específica (q , g kg⁻¹) e velocidade do vento médio (V_h , m s⁻¹) até o nível de 700 hPa (aproximadamente 3,0 km de altura) nos horários de aplicação dos tratamentos (8, 14, 18 e 22 h). Os perfis verticais dessas variáveis em função da altura foram gerados através do software R 4.0.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

3.3. AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS APLICAÇÕES DE INSETICIDA

A eficácia das aplicações de inseticida foi avaliada pelo controle de lagartas falsa-medideira em bioensaios em laboratório e pelas características das gotas de pulverização observadas em cartões hidrossensíveis em cada condição estudada.

A eficácia de controle dos tratamentos foi testada em bioensaios em laboratório. Para a infestação, cem folíolos centrais de trifólios das plantas de cada tratamento foram coletados 48 h (dois dias) após o primeiro horário da aplicação realizada em 19/01/2019. Na segunda aplicação, realizada em 21/02/2019, também foram coletados cem folíolos de plantas de cada tratamento 120 h (cinco dias) após o primeiro horário de aplicação. As folhas foram coletadas aleatoriamente nos terços médios das plantas no centro de cada parcela. Em laboratório, foram preparados cem potes plásticos para cada tratamento no dia anterior a infestação de cada uma das aplicações. Em cada pote plástico foi adicionado ágar diluído e um papel filtro (Figura 3A). Para a preparação do ágar, a cada um litro de água, 25 g do produto foram adicionados. Após a homogeneização do produto, o mesmo foi aquecido em micro-ondas até se fundir completamente. No dia da infestação foi adicionada a cada pote plástico uma folha recém coletada e uma lagarta falsa-medideira de primeiro ínstar (Figura 3B). As lagartas foram criadas em laboratório pelo Grupo de Pesquisa em Resistência de Insetos (G-PRI) do Departamento de Defesa Fitossanitária da UFSM. A mortalidade dos insetos foi analisada sete dias após a infestação (Figura 3C). A lagarta foi considerada morta quando a mesma não apresentou movimento após ser tocada com um pincel ou se não ocorria consumo foliar.

Figura 3 - Bioensaios para determinação da eficácia de controle de falsa-medideira (*Chrysodeixis includens*) em laboratório. A) Pote plástico com ágar e papel filtro; B) Um folíolo de soja e uma lagarta falsa-medideira de primeiro instar acondicionadas em um pote plástico e; C) Infestação de falsa-medideira por um período de sete dias.



Fonte: O Autor.

Os dados de mortalidade foram avaliados estimando-se o intervalo de confiança de 95% com a probabilidade de suscetibilidade da lagarta morrer acompanhando uma distribuição binomial com parametrização de probit. Estes dados foram analisados através da sobreposição dos intervalos de confiança, sendo considerados significativamente diferentes quando os intervalos de confiança de 95% não se sobrepuseram os tratamentos. As análises foram efetuadas pela função binom. probit do pacote binom (DORAI-RAJ, 2009) no software R 4.0.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

As porcentagens de eficácia de controle (EC, %) foram calculadas adotando-se a Equação de Abbott (1925), representada pela Equação 6:

$$EC (\%) = \left(1 - \frac{\text{Sobrevivência do tratamento}}{\text{Sobrevivência da testemunha}} \right) \times 100 \quad (6)$$

em que sobrevivência se refere ao número de lagartas vivas em relação ao total de 100.

Cartões de papel hidrosenssível foram instalados sobre o dossel para a coleta das gotas no momento das aplicações (Figura 4). Em cada aplicação, foram instalados

três cartões no centro de cada parcela nos terços superiores das plantas. As características das gotas foram determinadas pela digitalização dos cartões realizada com scanner utilizando resolução de varredura de 1200dpi e pela análise com software Gota® da Embrapa (2000). A densidade de gotas (gotas cm⁻²), o diâmetro da mediana volumétrica (DMV, µm), a porcentagem de cobertura (%) e a amplitude relativa (AR) foram determinadas. Os valores de AR foram calculados através da Equação 7:

$$\text{Amplitude Relativa (AR)} = \frac{(DV_{0,9} - DV_{0,1})}{DV_{0,5}} \quad (7)$$

onde:

DV_{0,1}: Diâmetro de 10% do volume acumulado.

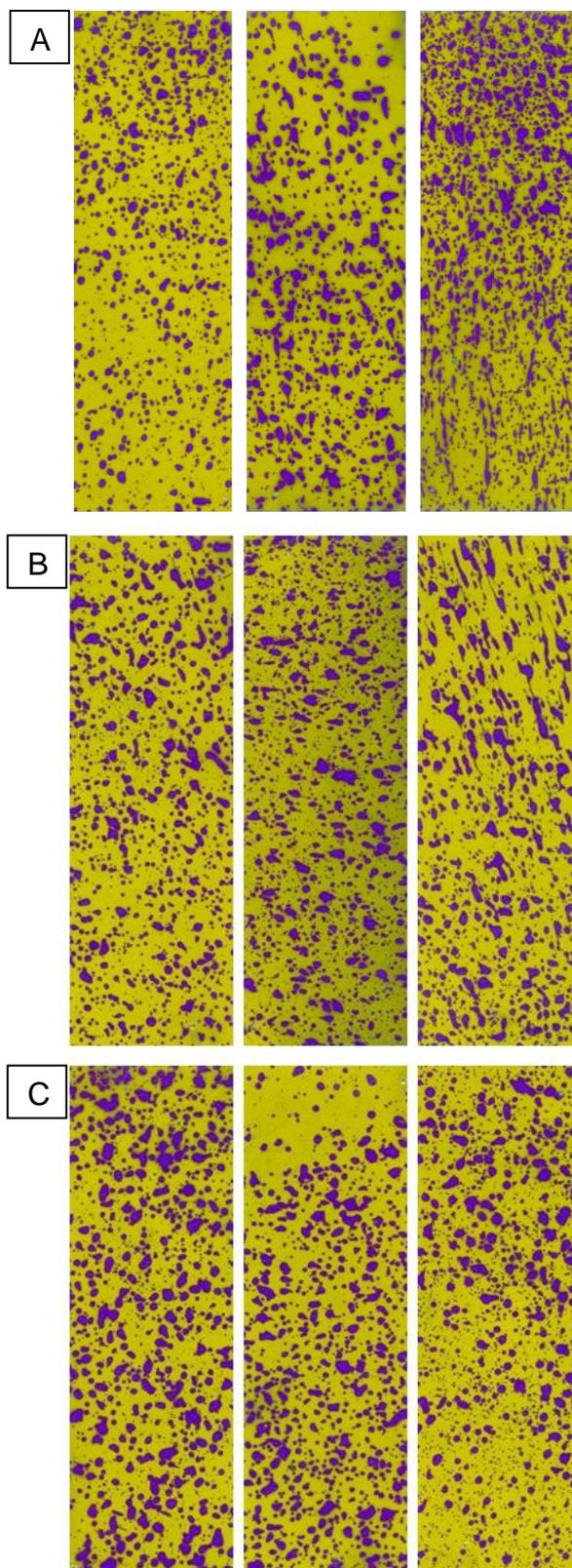
DV_{0,5}: Diâmetro de 50% do volume acumulado (ou DMV).

DV_{0,9}: Diâmetro de 90% do volume acumulado.

Em campo, as plantas respondem diretamente às condições atmosféricas, sendo assim, é difícil obter uma amostra onde gotas não fiquem sobrepostas. Essas gotas sobrepostas, durante uma análise, aparecem como uma mancha extensa que o programa Gota® avalia como uma única gota. Assim, uma única gota grande pode alterar o valor de DMV. Em alguns casos, também houve a presença de gotas em forma de manchas alongadas, que podem ser decorrentes da ação do vento ou de outros fatores, o que pode comprometer o resultado de uma amostra. Desta maneira, optou-se por eliminar gotas sobrepostas e alongadas durante as análises, bem como aquelas que ficaram parcialmente expostas nas bordas dos cartões, pois não são adequadas para um padrão analítico (Figura 4).

Os dados das características das gotas foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram efetuadas com o pacote agricolae (MENDIBURU, 2019) no software R 4.0.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

Figura 4 - Cartões hidrosensíveis após a aplicação 1 em 19/01/2019 às 14 h com volume de calda de A) 75 L ha⁻¹; B) 150 L ha⁻¹ e; C) 225 L ha⁻¹.



Fonte: O Autor.

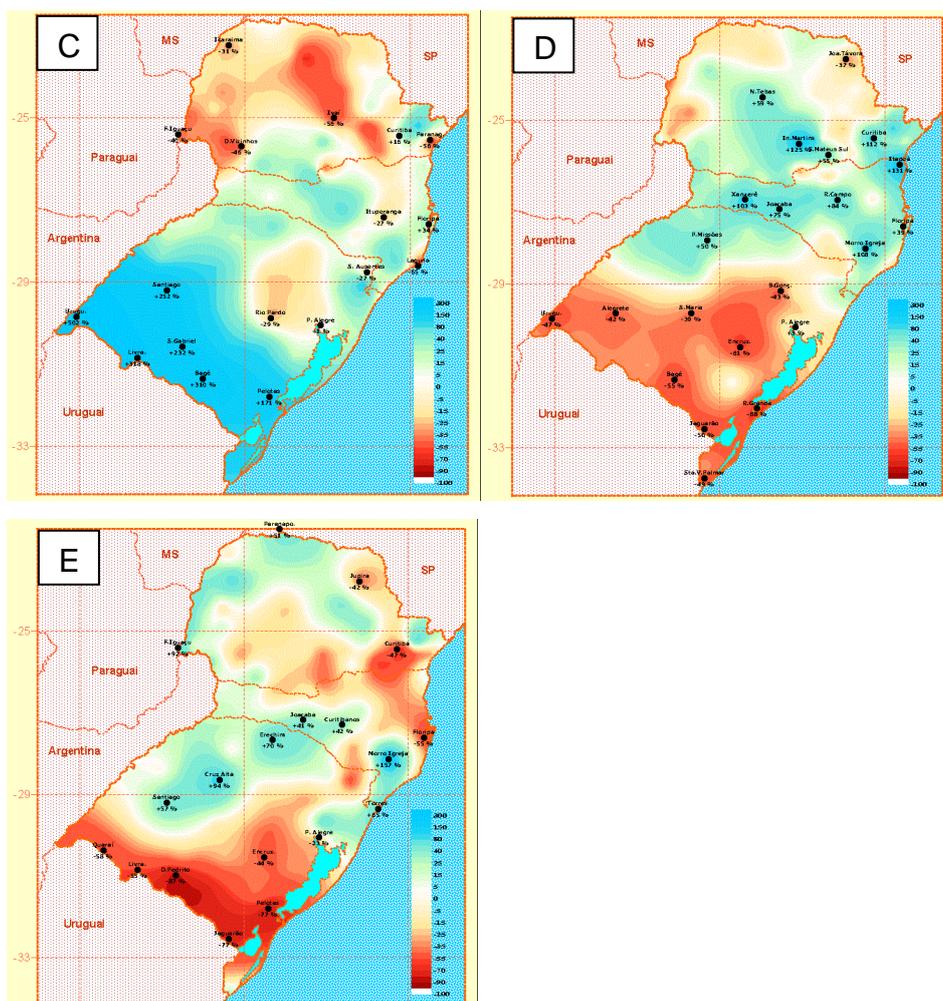
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CONDIÇÃO METEOROLÓGICA OBSERVADA DURANTE O EXPERIMENTO DE CAMPO E DURANTE AS APLICAÇÕES DOS TRATAMENTOS

Para o período dos experimentos, durante as primeiras semanas do mês de novembro de 2018 as condições oceânicas ao longo de toda a faixa equatorial do Pacífico apresentaram-se com águas mais quentes e ventos alísios mais fracos, indicando o estabelecimento do fenômeno EN. Este mês foi marcado por anomalias positivas de temperatura média do ar em todo o estado do Rio Grande do Sul, exceto no extremo Norte, onde a temperatura ficou dentro da normal climatológica (Figura 5A). Ainda, no mês corrente, observou-se um grande acumulado de chuva sobre o estado gaúcho, onde apenas no Sul e no extremo Noroeste do estado a chuva ficou abaixo da normal climatológica (Figura 6A). Em dezembro, durante as primeiras semanas, as condições oceânicas ao longo de toda a faixa equatorial do Pacífico apresentaram-se com águas mais quentes, ou seja, com anomalias positivas de TSM. Entretanto, não houve um acoplamento oceano-atmosfera nessa região associado a esse aquecimento, pois os ventos alísios e os ventos em altos níveis da atmosfera permaneceram em torno da média climatológica nessa região, assim como a convecção, o que indica situação de neutralidade. Em contrapartida com o mês anterior, em dezembro as temperaturas permaneceram dentro do padrão climatológico em praticamente todo o estado, exceto no Leste, onde observaram-se anomalias positivas de temperatura média do ar (Figura 5B). As precipitações ficaram abaixo do padrão climatológico no extremo noroeste, leste da depressão central, norte da encosta do sudeste e litoral centro/norte, ficando acima do padrão nas demais regiões (Figura 6B) (BOLETIM TÉCNICO CPTEC/INPE, 2018).

Ao longo do mês de janeiro de 2019 persistiu a condição de neutralidade climática. As temperaturas ficaram acima da normal climatológica em todo o estado, com exceção do extremo Oeste, onde as temperaturas permaneceram dentro do esperado para o mês de janeiro (Figura 5C). As chuvas no Rio Grande do Sul ficaram dentro do padrão climatológico no planalto médio, serra do nordeste e leste da depressão central, ficando acima do padrão nas demais regiões (Figura 6C). Em fevereiro, as condições oceânicas no Pacífico Equatorial apresentaram-se com águas

(conclusão)



Fonte: 8º DISME/INMET.

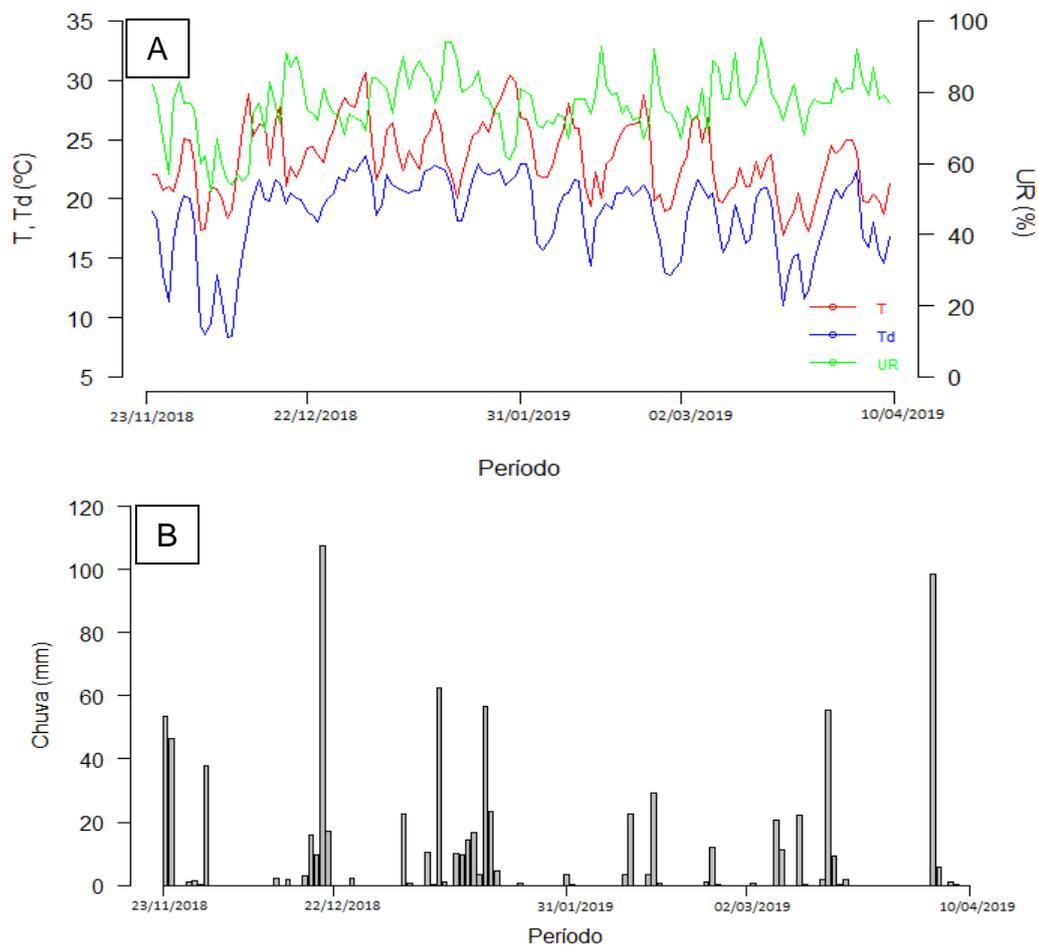
As temperaturas do ar apresentaram um comportamento anômalo positivo apenas no mês de novembro (Figura 5A) e janeiro (Figura 5C). Para o mês de dezembro (Figura 5B) e fevereiro (Figura 5D) as temperaturas permaneceram dentro da normal climatológica, enquanto no mês de março (Figura 5E) esta quantidade apresentou anomalias negativas em Santa Maria – RS. Observa-se que a condição média diária de T ao longo do ciclo da soja (Figura 7A) diminui com a ocorrência de chuva (Figura 7B) e, como consequência, UR aumentou e Td atingiu valores próximos ou iguais a T, o que indica uma atmosfera mais saturada. Essas menores temperaturas podem estar associadas a maior nebulosidade presente em dias de chuva. Ainda, as maiores temperaturas ficaram concentradas nos meses de verão (Figura 7A). Na última semana do mês de novembro e a partir do início de março observou-se um decréscimo das temperaturas, assim como aumento da umidade presente no ar (Figura 7A). As variáveis UR e Td são dois indicadores amplamente

utilizados para medida da quantidade de vapor d'água presente no ar. Enquanto UR indica o quão próximo o ar está da saturação ($UR = 100\%$), T_d representa o quanto uma parcela de ar precisa ser resfriada, mantendo a pressão e o conteúdo de vapor d'água constantes, para que haja saturação. Quanto maior a T , maior será a quantidade de vapor d'água necessária para saturar o ar (WALLACE; HOBBS, 2006).

Os maiores acumulados de chuva durante o período dos experimentos (Figura 7B) foram registrados nos seguintes dias: 23/11/2018, 24/11/2018, 30/11/2018, 20/12/2018, 09/01/2019, 17/01/2019, 17/03/2019 e 04/04/2019. A chuva acumulada registrada nesses dias foi de respectivamente 53,6, 46,6, 38,0, 107,6, 62,4, 56,8, 55,6 e 98,4 mm. Essas instabilidades que provocaram acumulados expressivos em Santa Maria – RS, foram associadas a presença de sistemas frontais no estado (BOLETIM TÉCNICO CPTEC/INPE, 2018, 2019). Esses sistemas são típicos de latitudes médias e atuantes durante todo o ano na região Sul (REBOITA et al., 2012). O total de chuva acumulada ao longo do ciclo da cultura da soja (23/11/2018 – 10/04/2019) foi de 841,0 mm (Figura 7B).

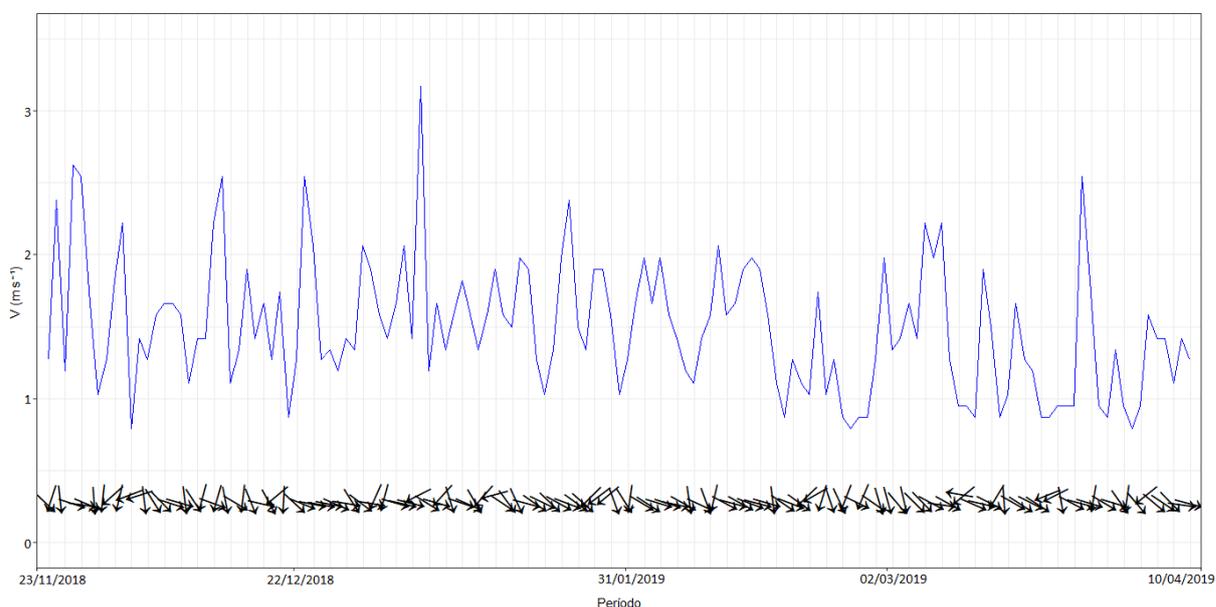
A velocidade mínima do vento ao longo do ciclo da cultura foi registrada nos meses de dezembro, fevereiro e abril, com valor de $0,79 \text{ m s}^{-1}$, e a velocidade máxima ocorreu no mês de janeiro, com $3,71 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 8). Este pico de velocidade máxima que ocorreu no dia 07 de janeiro de 2019 foi decorrente de instabilidades que se concentraram em grande parte do Rio Grande do Sul, devido a atuação de um cavado em níveis médios e altos da atmosfera, além do escoamento próximo a superfície do Jato de Baixos Níveis (JBN), que advectou calor e umidade para o estado. Ainda, a combinação desses fatores aliados a formação de uma frente fria, entre o Uruguai e o estado gaúcho, alinhou as áreas de instabilidade sobre parte da região Sul do Brasil. A atuação destes sistemas provocou chuvas expressivas em Santa Maria – RS do dia 07 a 19 de janeiro com acumulados que ultrapassaram 200,0 mm. De maneira geral, observa-se que a direção predominante do vento ao longo do ciclo da cultura foi de Oeste/Noroeste (Figura 8). Nota-se também a predominância de ventos no quadrante Norte/Noroeste, o que possivelmente contribuiu para o transporte de calor e umidade para a região.

Figura 7 - A) Condição média diária de temperatura do ar (T , °C), temperatura do ponto de orvalho (T_d , °C) e umidade relativa do ar (UR, %); e B) Chuva acumulada diária observada ao longo do ciclo da cultura da soja (23/11/2018 – 10/04/2019).



Fonte: O Autor.

Figura 8 - Condição média diária de velocidade (V , m s^{-1}) e direção do vento (DirV, $^\circ$) predominantes ao longo do ciclo da cultura da soja (23/11/2018 – 10/04/2019).



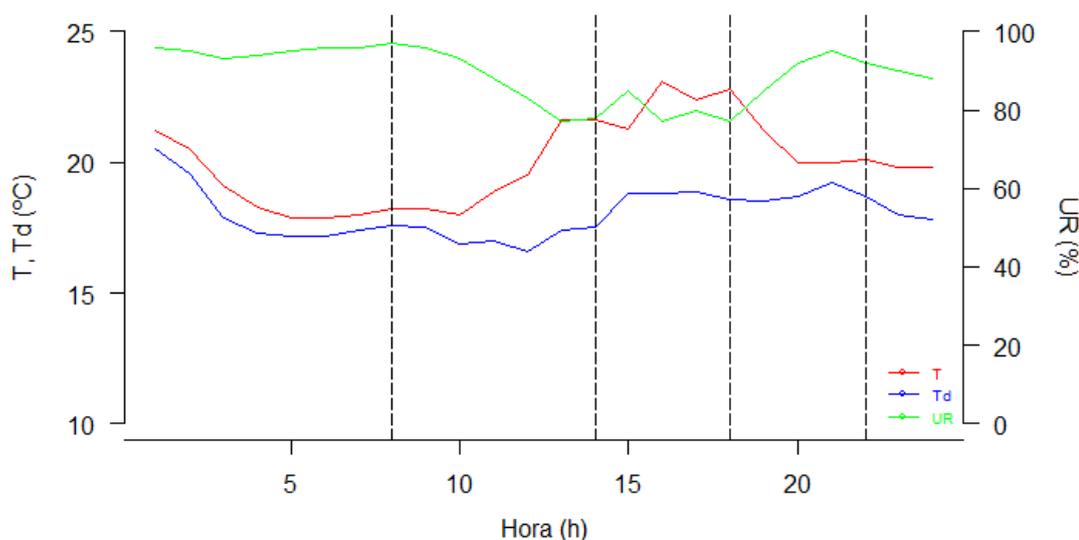
Fonte: O Autor.

As variáveis condicionantes T , T_d e UR apresentaram pouca variabilidade ao longo do dia da aplicação 1 dos tratamentos (Figura 9), enquanto a condição dessas variáveis ao longo do dia da aplicação 2 foi bem distinta (Figura 10). No decorrer da madrugada do dia 19 de janeiro de 2019 observa-se que T e T_d permanecem com valores próximos, resultando em valores de UR próximo a saturação. No dia 19 de janeiro a menor temperatura foi observada às 5 h da manhã, com valor de $17,9\text{ }^\circ\text{C}$. Enquanto no dia 21 de fevereiro a menor temperatura foi registrada às 7 h da manhã, com valor de $19,5\text{ }^\circ\text{C}$, resultado do resfriamento radiativo da superfície da Terra que ocorreu durante a noite.

Após o nascer do Sol, com o início da incidência da radiação solar, a T começou a aumentar e, conseqüentemente, T_d e UR começaram a diminuir, esse comportamento foi observado para ambos dias de aplicação dos tratamentos (Figuras 9 e 10). Os maiores valores de T ao longo dos dois dias foram observados entre as 12 e 15 h, enquanto que o máximo de radiação ocorreu ao meio dia. No dia 19 de janeiro a T máxima foi de $23,1\text{ }^\circ\text{C}$ e, no dia 21 de fevereiro a T máxima foi de $33,6\text{ }^\circ\text{C}$, ambas registradas às 15 h. A amplitude térmica do dia da aplicação 1 foi de $5,7\text{ }^\circ\text{C}$, enquanto no dia da aplicação 2 foi de $14,8\text{ }^\circ\text{C}$. A UR ao longo do dia da aplicação 1 variou entre 77 e 97%, em contrapartida na aplicação 2 esta quantidade atingiu valores

inferiores a 50% entre as 14 e 16 h, o que caracteriza uma condição não ideal para pulverizações (ANTUNIASSI et al., 2017).

Figura 9 - Condição de temperatura do ar (T, °C), temperatura do ponto de orvalho (Td, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) observada ao longo do dia da aplicação 1 dos tratamentos (19/01/2019). Os horários de aplicação dos tratamentos (8, 14, 18 e 22 h) estão representados pelas linhas tracejadas.



Fonte: O Autor.

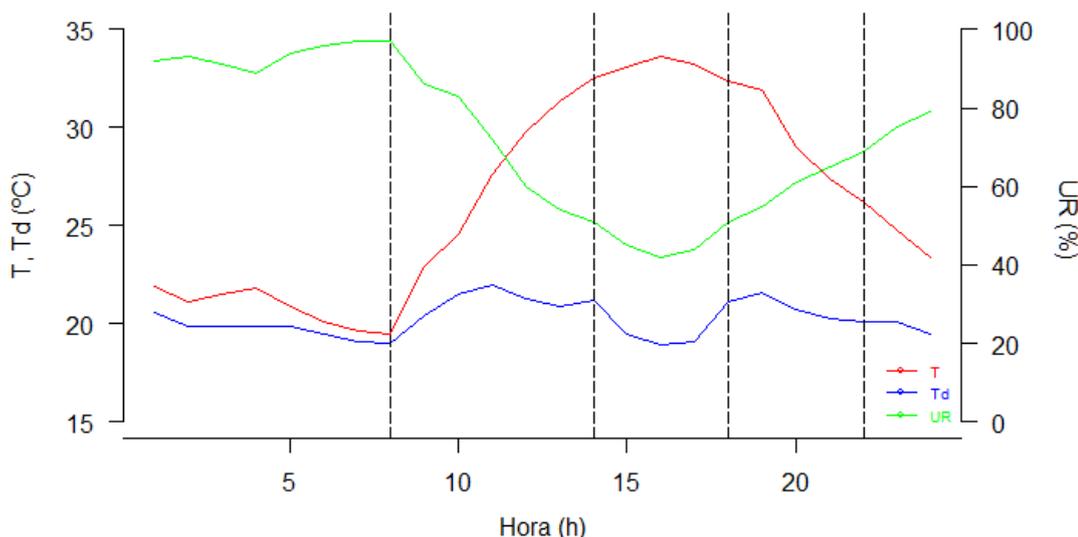
A partir do início da noite, T começou a diminuir e, como consequência, UR começou a aumentar, tornando o ar mais próximo da saturação quando comparado ao período diurno. No dia 19 de janeiro as temperaturas no período noturno variaram entre 19,8 e 21,2 °C (Figura 9). No dia 21 de fevereiro, no mesmo período, as temperaturas oscilaram entre 23,4 e 31,9 °C (Figura 10).

O comportamento da velocidade do vento no decorrer das aplicações 1 e 2 também foi distinta. A V mínima observada ao longo do dia da aplicação 1 foi de 0,6 m s⁻¹ às 4 h da manhã, enquanto a V máxima foi de 4,4 m s⁻¹ às 2 h (Figura 11). A V mínima registrada no decorrer do dia 21 de fevereiro foi de 0,6 m s⁻¹ às 2 e 21 h e, a V máxima foi de 2,2 m s⁻¹ às 11 h (Figura 12). V ao longo do dia da aplicação 1 foi de 2,0 m s⁻¹ e, para a aplicação 2 foi de 1,3 m s⁻¹.

O vento no interior da camada limite superficial apresenta intensa variação vertical até aproximadamente 100 m de altura. Em condições de homogeneidade da superfície, a maior (menor) intensidade do vento ocorre no período diurno (noturno)

devido ao aquecimento (resfriamento) superficial (OKE, 1988). Na média, os ventos diurnos foram maiores que os noturnos em ambos os dias de aplicação dos tratamentos. Devido ao aquecimento do solo durante o dia, o qual também vai aquecendo o ar, sendo ocupado por um ar mais frio, originando um gradiente térmico que, por sua vez, origina um gradiente horizontal de pressão. À noite, como esse gradiente térmico é menor, a velocidade do vento também é menor.

Figura 10 - Condição de temperatura do ar (T, °C), temperatura do ponto de orvalho (Td, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) observada ao longo do dia da aplicação 2 dos tratamentos (21/02/2019). Os horários de aplicação dos tratamentos (8, 14, 18 e 22 h) estão representados pelas linhas tracejadas.



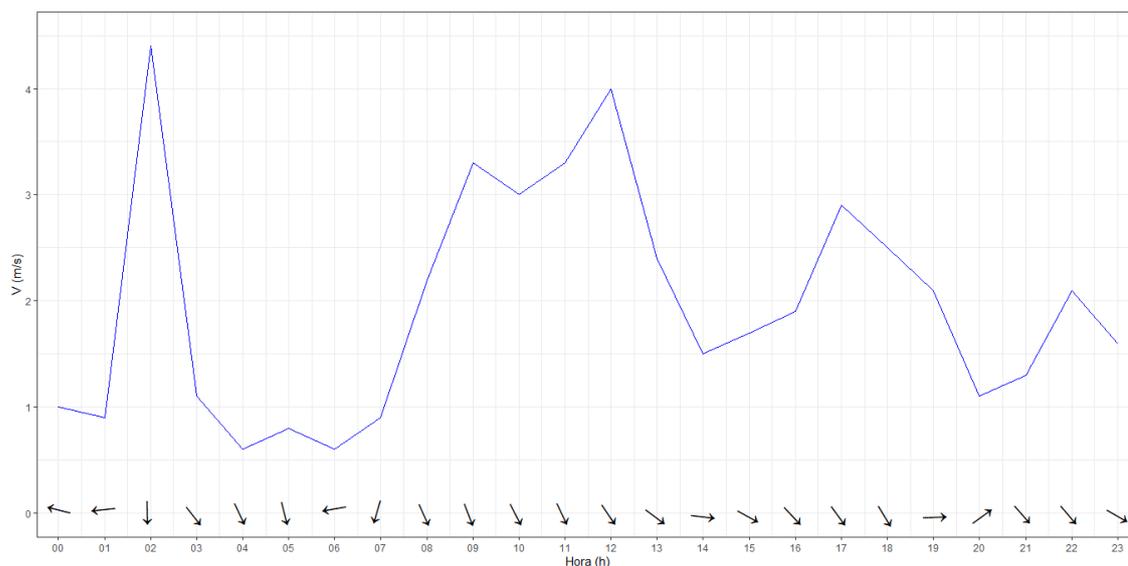
Fonte: O Autor.

4.1.1 CONDIÇÃO METEOROLÓGICA OBSERVADA DURANTE OS HORÁRIOS DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Para o primeiro horário de aplicação dos tratamentos (8 h) na aplicação 1 (19/01/2019), a condição de T e Td foi de respectivamente 18,2 e 17,5 °C (Figura 9). Enquanto na aplicação 2 (21/02/2019), no mesmo horário, a condição dessas variáveis foi de 22,9 e 20,4 °C (Figura 10). Na aplicação 1 o ar estava próximo da saturação, com UR de 96% (Figura 9). Em contrapartida, na aplicação 2 UR atingiu 86% às 8 h (Figura 10). Para a aplicação 1, a V foi de 2,2 m s⁻¹ com DirV predominante

de Noroeste (NO) (Figura 11). Por outro lado, na aplicação 2, V foi de 1,1 m s⁻¹ com DirV predominante de Oeste-Noroeste (ONO) (Figura 12).

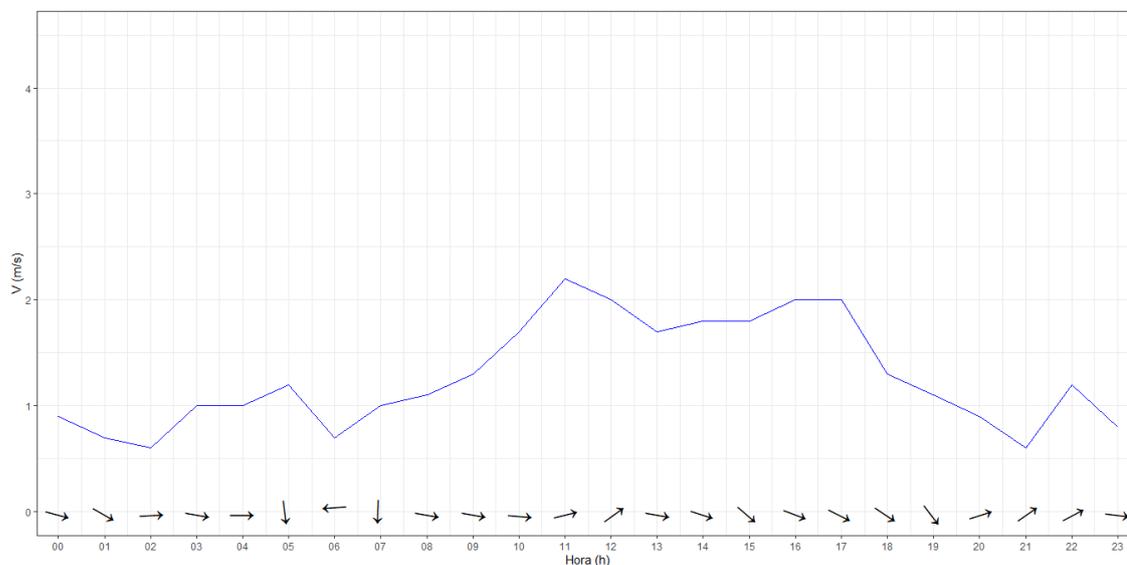
Figura 11 - Velocidade (V, m s⁻¹) e direção do vento (DirV, °) predominantes ao longo do dia da aplicação 1 dos tratamentos (19/01/2019).



Fonte: O Autor.

Durante o segundo horário de aplicação dos tratamentos (14 h) em 19/01/2019 (aplicação 1), a condição de T e Td foi de respectivamente 21,3 e 18,8 °C (Figura 9), enquanto em 21/02/2019 (aplicação 2) essas quantidades atingiram 33,1 e 19,5 °C (Figura 10). Para a aplicação 1 a UR registrada às 14 h foi de 85% (Figura 9), enquanto na aplicação 2 o ar se encontrava menos saturado devido à alta temperatura do ar, com UR atingindo 45% (Figura 10). A intensidade do vento estava equivalente em ambas aplicações, com V de 1,5 e 1,8 m s⁻¹ durante a aplicação 1 e 2, respectivamente (Figuras 11 e 12). A direção predominante do vento às 14 h para a primeira aplicação foi de Oeste (O) (Figura 11) e, para a segunda aplicação foi de Oeste-Noroeste (ONO) (Figura 12).

Figura 12 - Velocidade (V , m s^{-1}) e direção do vento (DirV, $^{\circ}$) predominantes ao longo do dia da aplicação 2 dos tratamentos (21/02/2019).



Fonte: O Autor.

No decorrer do terceiro horário de aplicação (18 h) no dia 19 de janeiro, a condição de T e Td foi de respectivamente 21,2 e 18,5 $^{\circ}\text{C}$ (Figura 9), enquanto no dia 21 de fevereiro a condição dessas variáveis foi de 31,9 e 21,6 $^{\circ}\text{C}$ (Figura 10). Na aplicação 1 a UR foi de 85% (Figura 9) e na aplicação 2 UR atingiu 55% (Figura 10). Para a aplicação 1, a V foi de 2,5 m s^{-1} com DirV predominante de Norte-Noroeste (NNO) (Figura 11). Por outro lado, na aplicação 2, V foi de 1,3 m s^{-1} com DirV predominante de Noroeste (NO) (Figura 12).

Por fim, no quarto horário de aplicação (22 h) no dia 19/01/2019, T e Td alcançaram 19,8 e 18,0 $^{\circ}\text{C}$ (Figura 9) e, no dia 21/02/2019, a condição dessas variáveis foi de 24,8 e 20,1 $^{\circ}\text{C}$ (Figura 10). Na aplicação 1 UR foi de 90% (Figura 9) e, na aplicação 2 UR atingiu 75% (Figura 10). Para a aplicação 1, a V foi de 2,1 m s^{-1} com DirV predominante de Noroeste (NO) (Figura 11), e na aplicação 2, V foi de 1,1 m s^{-1} com DirV predominante de Sudoeste (SO) (Figura 12).

4.1.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A análise de componentes principais (ACP) baseia-se em produzir uma transformação linear nos dados originais de modo que os dados resultantes desta transformação tenham suas componentes mais relevantes nas primeiras dimensões, em eixos denominados componentes principais (CPs). Os dados das variáveis

meteorológicas temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, umidade relativa do ar e, velocidade e direção do vento foram submetidas à ACP.

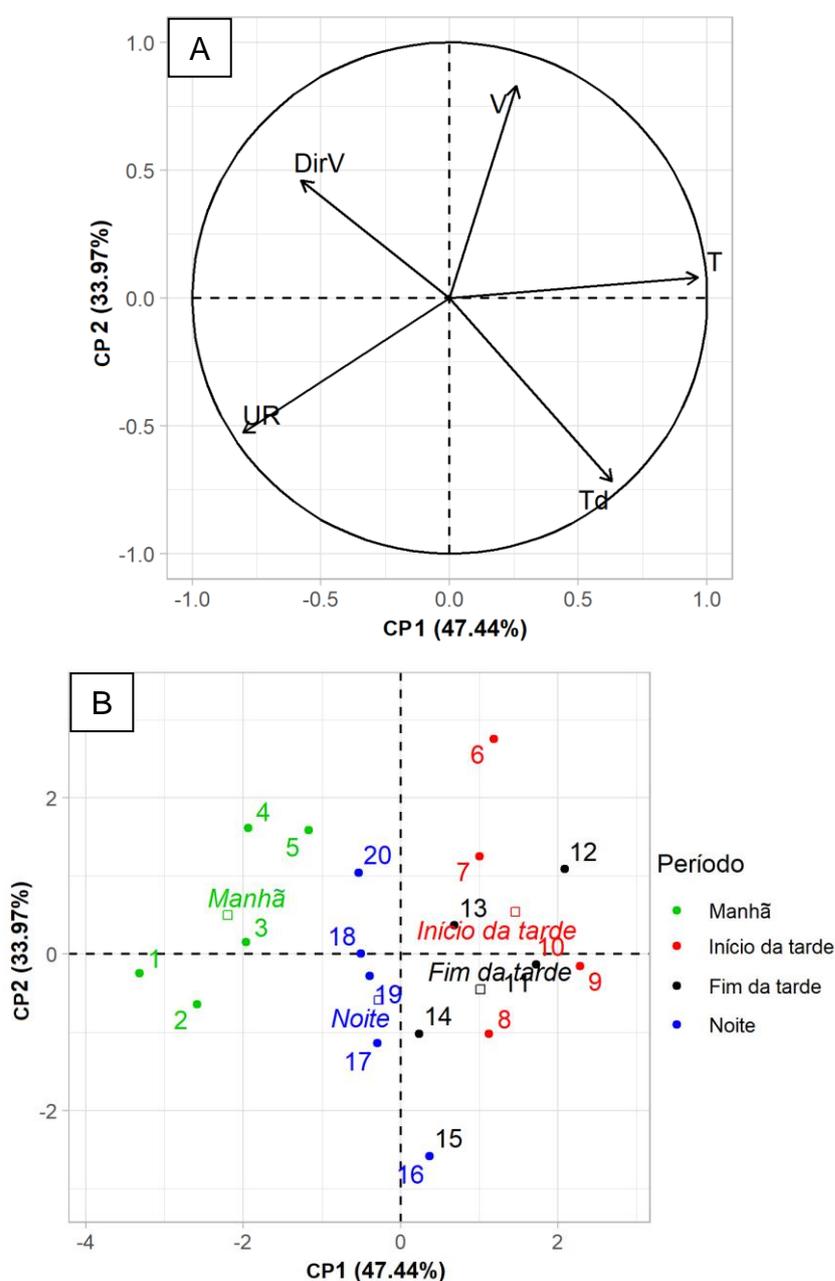
O conjunto de dados meteorológicos ao longo do dia da aplicação 1 (19/01/2019) foi submetido à ACP (Figura 13). Após a submissão do conjunto de dados à ACP, um novo conjunto de cinco variáveis ortogonais (CPs) foi gerado pela análise. As variáveis mais próximas umas das outras e distantes da origem dos eixos dos gráficos são correlacionadas positivamente, enquanto as variáveis opostas uma à outra são correlacionadas negativamente. Ainda, a quantidade máxima de variação no conjunto de dados e sua direção são frequentemente explicadas pelo primeiro CP (ou seja, CP1). Cada CP é definido por um vetor próprio da matriz de variância-covariância. Ressalta-se que o objetivo de uma projeção das cargas da matriz (Figuras 13 e 14), é visualizar a posição das variáveis meteorológicas uma em relação à outra no espaço bidimensional e suas correlações correspondentes.

Foram consideradas como relevantes as cargas que apresentaram valor absoluto superior a 0,5 (Tabelas 2 e 3). Uma correlação positiva indica que as duas variáveis se movem juntas, e a relação é forte quanto mais a correlação se aproxima de um e uma correlação negativa indica que as duas variáveis se movem em direções opostas, e que a relação também fica mais forte quando mais próxima de menos um a correlação ficar.

A ACP dos dados meteorológicos para a aplicação 1 dos tratamentos produziu dois CPs significativos (isto é, autovalores maiores que 1), que juntos representam 81,41% da variação total no conjunto de dados, com CP1 contribuindo com 47,44% do total (Tabela 2). A análise individual das cargas da matriz de correlação dos dois CPs significativos mostrou que a CP1 possui elevada contribuição das variáveis como T (0,96), UR (-0,80) e DirV (-0,58), e a CP2 apresentou carga positiva significativa para V (0,83) e, carga negativa para Td (-0,72). Os componentes CP1-CP2 com base na composição dos dados meteorológicos estão representados na Figura 13. Os três CPs restantes (CP3 à CP5) produziram autovalores progressivamente menores e não apresentaram variabilidade significativa no conjunto de dados. Portanto, de acordo com a regra de Kaiser (1960), apenas os dois primeiros CPs representaram contribuições significativas das variáveis meteorológicas para a variabilidade total explicada pelos CPs gerados. Além disso, o p-valor do teste de Pearson realizado foi igual a zero, o que sugere a rejeição da hipótese de que o coeficiente de correlação

seja igual a zero, indicando que existe uma correlação significativa entre as variáveis testadas.

Figura 13 - Análise de componentes principais dos dados meteorológicos para a aplicação 1 (19/01/2019). A) CPs significativos: CP1-CP2; B) Divisão dos dados meteorológicos por turno, onde: Manhã (6 às 10 h, representado pelos pontos 1 a 5), início da tarde (12 às 16 h, representado pelos pontos 6 a 10), fim da tarde (16 às 20 h, representado pelos pontos 11 a 15) e noite (20 às 00 h, representado pelos pontos 16 a 20).



Fonte: O Autor.

Tabela 2 - Análise individual das cargas da matriz de correlação** dos cinco componentes principais (CPs) gerados para os dados da aplicação 1 (19/01/2019).

Variáveis meteorológicas*	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T (°C)	0,96	0,08	0,25	0,00	0,03
Td (°C)	0,63	-0,72	0,11	0,27	-0,02
UR (%)	-0,80	-0,53	-0,22	0,17	0,03
V (m s ⁻¹)	0,26	0,83	-0,43	0,25	-0,00
DirV (°)	-0,58	0,46	0,65	0,17	-0,00
Autovalores	2,37	1,70	0,73	0,20	0,00
Variância (%)	47,44	33,97	14,58	3,96	0,04
Cumulativo (%)	47,44	81,41	96,00	99,96	100,00

*T: Temperatura do ar; Td: Temperatura do ponto de orvalho; UR: Umidade relativa; V: Velocidade do vento; DirV: Direção do vento.

**+: correlação positiva; -: correlação negativa.

Fonte: O Autor.

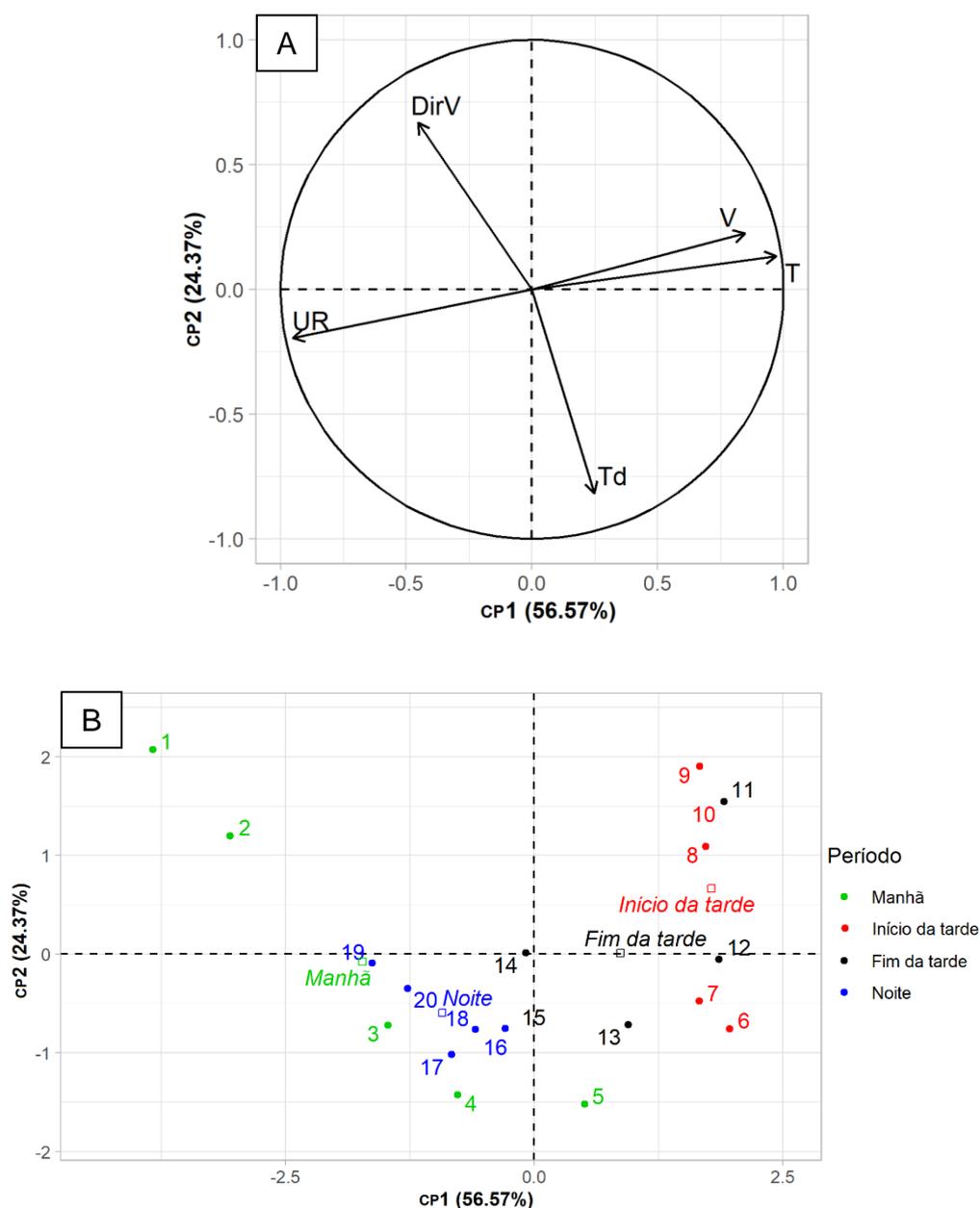
A ACP dos dados meteorológicos para a aplicação 2 dos tratamentos, também produziu dois CPs significativos (isto é, autovalores maiores que 1), que juntos representam 80,94% da variação total no conjunto de dados, com CP1 contribuindo com 56,57% do total (Figura 14 e Tabela 3). A análise individual das cargas da matriz de correlação dos dois CPs significativos mostrou que o CP1 possui elevada contribuição das variáveis T (0,97), UR (-0,95) e V (0,85), e a CP2 apresentou carga negativa significativa para Td (-0,82) e positiva para DirV (0,67). Os componentes CP1-CP2 com base na composição dos dados meteorológicos estão representados na Figura 14. Os três CPs restantes (CP3 à CP5) não foram considerados significativos no conjunto de dados, devido a produção de autovalores menores que 1. Logo, apenas CP1 e CP2 são relevantes para representar a contribuição das variáveis meteorológicas durante a aplicação 2. Assim como a aplicação 1, a aplicação 2 também reproduziu o p-valor do teste de Pearson igual a 0,00, sugerindo que existe uma correlação significativa entre as variáveis analisadas. Logo, essas variáveis meteorológicas em destaque nos dois primeiros componentes principais, CP1 (temperatura do ar) e CP2 (direção do vento), representaram contribuições significativas das variáveis meteorológicas para a variabilidade total explicada pelos CPs gerados.

Observa-se que o período da manhã e noite (situados no lado esquerdo do gráfico) e, o período do início e fim da tarde (situados ao lado direito do gráfico)

apresentam pontos mais próximos do eixo (Figura 13B), indicando que a variabilidade das variáveis meteorológicas analisadas entre esses períodos apresentaram aproximadamente o mesmo comportamento ao longo do dia 19 de janeiro. Em contrapartida, no dia 21 de fevereiro percebe-se que os pontos estão mais afastados do eixo (Figura 14B), sugerindo que a variabilidade dos dados ao longo deste dia foi maior quando comparada a aplicação 1 dos tratamentos.

Fica evidente na análise das cargas da matriz de correlação que, a temperatura e a umidade relativa do ar foram fatores determinantes no momento das duas aplicações dos tratamentos (Tabelas 2 e 3). Enquanto na aplicação 1 a correlação entre T e UR foi de respectivamente 0,96 e -0,80, durante a aplicação 2 a correlação entre essas variáveis foi mais expressiva ainda, com valores próximos a mais um e menos um (0,97 para T e, -0,95 para UR). Esses resultados sugerem que ambas as variáveis apresentam aproximadamente o mesmo comportamento, porém em sentidos opostos. Além dessas variáveis, para a aplicação 1 dos tratamentos, a direção do vento se mostrou significativa na variabilidade dos dados (-0,58) (Figura 13 e Tabela 2), enquanto na aplicação 2 a velocidade do vento se mostrou mais significativa (0,85) (Figura 14 e Tabela 3). A direção do vento é tão importante quanto à velocidade na redução do dano causado pela deriva. Ainda, essas variáveis estão presentes na CP1, que representa a quantidade máxima de variação no conjunto de dados.

Figura 14 - Análise de componentes principais dos dados meteorológicos para a aplicação 2 (21/02/2019). A) CPs significativos: CP1-CP2; B) Divisão dos dados meteorológicos por turno, onde: Manhã (6 às 10 h, representado pelos pontos 1 a 5), início da tarde (12 às 16 h, representado pelos pontos 6 a 10), fim da tarde (16 às 20 h, representado pelos pontos 11 a 15) e noite (20 às 00 h, representado pelos pontos 16 a 20).



Fonte: O Autor.

Tabela 3 - Análise individual das cargas da matriz de correlação** dos cinco componentes principais (CPs) gerados para os dados da aplicação 2 (21/02/2019).

Variáveis meteorológicas*	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T (°C)	0,97	0,13	0,03	-0,19	0,02
Td (°C)	0,25	-0,82	0,52	-0,07	-0,00
UR (%)	-0,95	-0,19	0,10	0,22	0,02
V (m s ⁻¹)	0,85	0,22	0,23	0,43	-0,00
DirV (°)	-0,45	0,67	0,58	-0,13	-0,00
Autovalores	2,83	1,22	0,66	0,29	0,00
Variância (%)	56,57	24,37	13,22	5,81	0,02
Cumulativo (%)	56,57	80,94	94,17	99,98	100,00

*T: Temperatura do ar; Td: Temperatura do ponto de orvalho; UR: Umidade relativa; V: Velocidade do vento; DirV: Direção do vento.

**+: correlação positiva; -: correlação negativa.

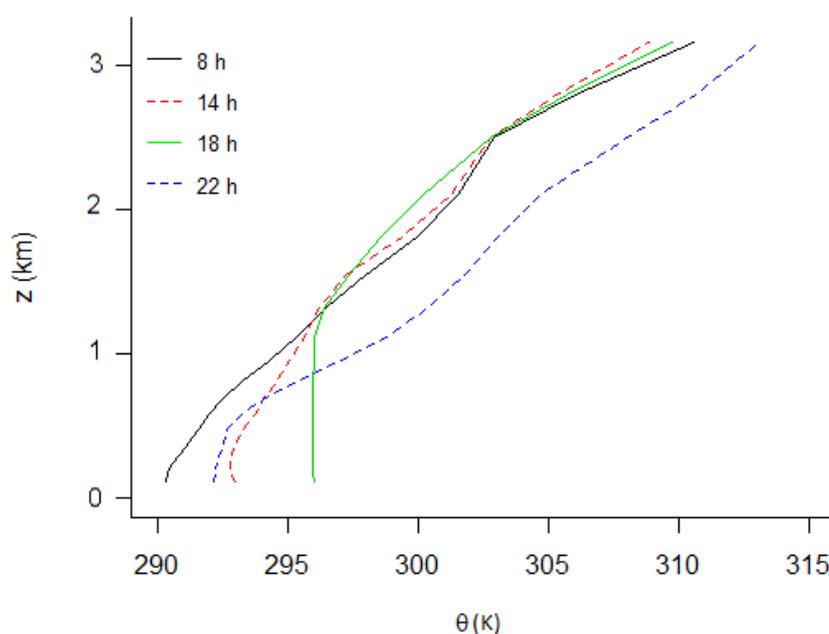
Fonte: O Autor.

4.1.3 ESTIMATIVA DA ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA NOS HORÁRIOS DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Em relação às condições de estabilidade atmosférica, observou-se que os maiores gradientes de temperatura potencial ocorrem mais próximos da superfície em ambos dias de aplicação dos tratamentos (Figuras 15 e 18). Acima dos maiores gradientes de temperatura potencial, a atmosfera apresenta perfis desta quantidade aumentando com a altura ($\partial\theta/\partial z > 0$) até o nível de 700 hPa (aproximadamente 3,0 km). Isto ocorreu pois acima da CLP, na denominada atmosfera livre, os efeitos da fricção, características da rugosidade, aquecimento e resfriamento da superfície adjacente são pouco sentidos, predominando um escoamento laminar, e perturbações atmosféricas de escala não local, como por exemplo, de escala sinótica como as variações associadas à presença de sistemas frontais. Sendo assim, a atmosfera livre tende a apresentar um perfil mais estável, o que pode ser observado nas Figuras 15 e 18. De modo geral, para as aplicações 1 e 2, os perfis de temperatura potencial (Figuras 15 e 18) exibiram uma CLP marcada por estabilidade, com exceção de uma sutil camada de decréscimo da temperatura potencial com a altura ($\partial\theta/\partial z < 0$) no nível mais próximo à superfície às 14 h, caracterizando uma atmosfera instável, que tende a ser destruída à medida em que a turbulência gerada termicamente (principalmente) atue para misturar os escalares (temperatura potencial e umidade

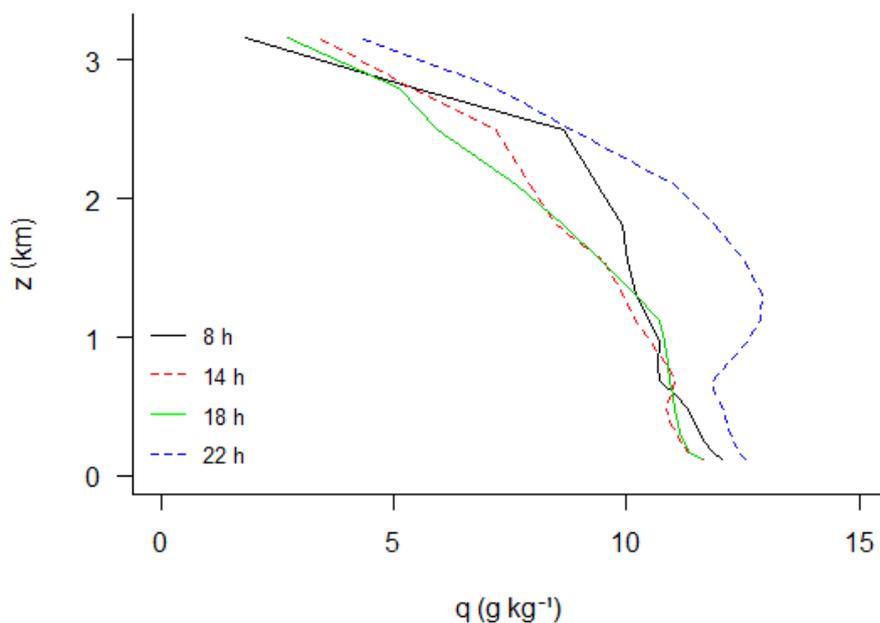
específica) diminuindo os gradientes observados. Além disso, os valores de umidade próximo à superfície são característicos para o período do ano analisado exibindo uma CLP úmida devido ao transporte de calor latente a partir da superfície (Figuras 16 e 19). Opostamente, devido aos movimentos subsidentes de grande escala que transportam ar seco em direção à CLP, a atmosfera livre é marcada por menores conteúdos de umidade específica. Outra característica presente nos resultados são ventos mais fracos próximo à superfície devido ao arrasto friccional, embora os dois perfis apresentem particularidades relacionadas à intensidade da velocidade do vento médio (Figuras 17 e 20).

Figura 15 - Perfis verticais de temperatura potencial (θ , K) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 1 (19/01/2019). Linhas na cor preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22 h, respectivamente.



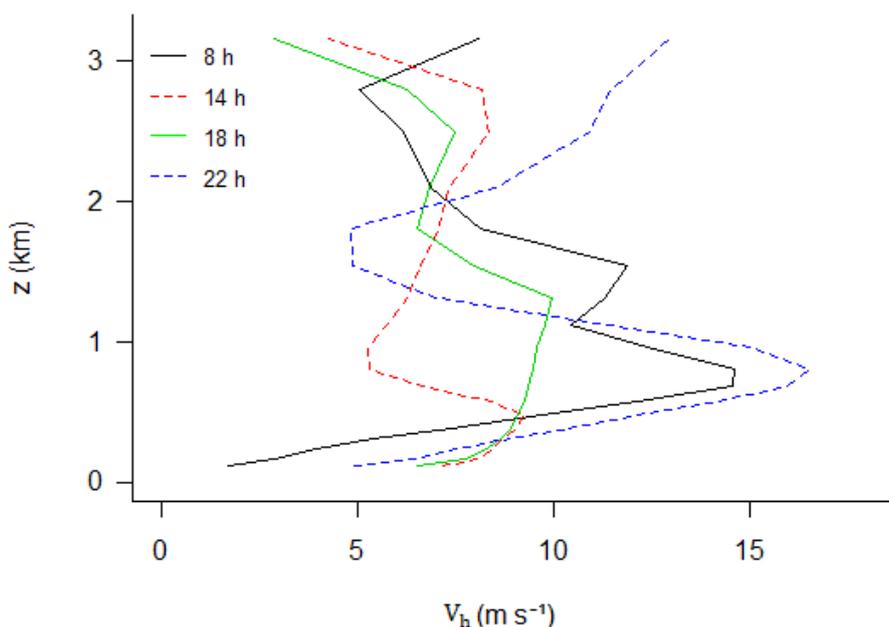
Fonte: O Autor.

Figura 16 - Perfis verticais de umidade específica (q , g kg^{-1}) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 1 (19/01/2019). Linhas na cor preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22 h, respectivamente.



Fonte: O Autor.

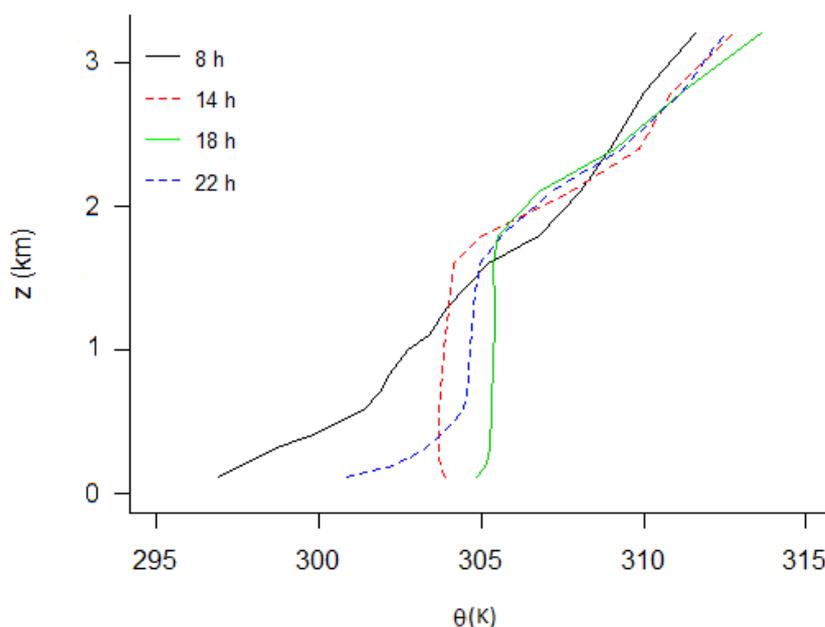
Figura 17 - Perfis verticais de velocidade do vento médio (V_h , m s^{-1}) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 1 (19/01/2019). Linhas na cor preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22, respectivamente.



Fonte: O Autor.

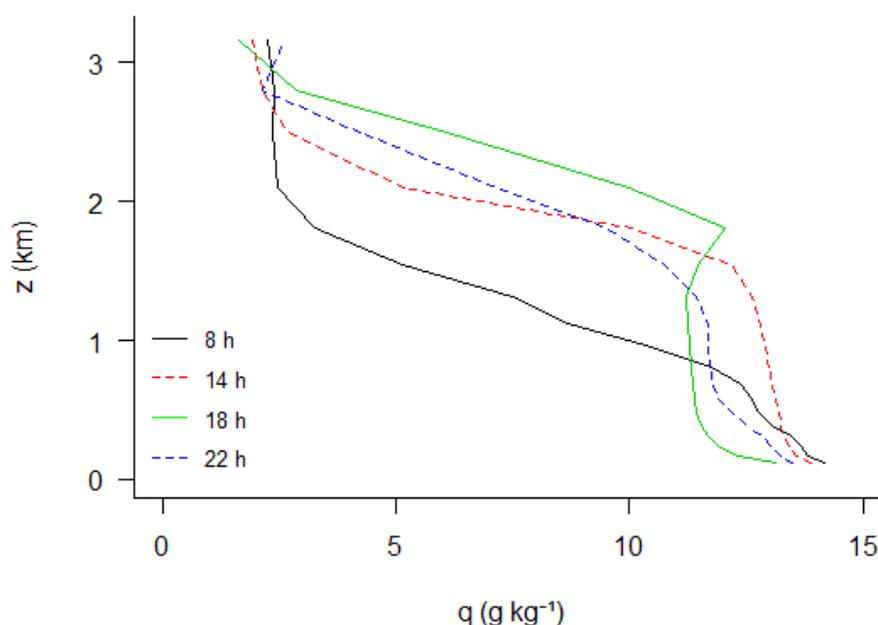
Observa-se que em ambos dias de aplicação dos tratamentos, no horário das 18 h, houve menores gradientes de temperatura potencial com a altura (Figuras 15 e 18), com temperatura potencial aproximadamente constante entre 1,8 e 2,0 km na aplicação 2. Estes resultados sugerem que neste horário de aplicação a atmosfera estava tendendo a neutralidade ($\partial\theta/\partial z \approx 0$). Enz et al. (2014) e Santos (2003) descrevem a atmosfera neutra como mais adequada para pulverizações agrícolas, pois as gotas caem apenas sob efeito da força gravitacional, em vez de serem arrastadas pelas correntes de ar ou confinadas em uma camada por um longo período de tempo em condições instáveis e estáveis. Apesar da temperatura do ar estar mais elevada na aplicação 2 (Figura 10) quando comparada a aplicação 1 (Figura 9) às 18 h, não se pode afirmar que apenas a forçante térmica foi responsável por homogeneizar os escalares pois em horários de transição do dia para a noite (como é o caso da aplicação das 18 h), há também a influência da turbulência gerada mecanicamente.

Figura 18 - Perfis verticais de temperatura potencial (θ , K) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 2 (21/02/2019). Linhas na cor preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22 h, respectivamente.



Fonte: O Autor.

Figura 19 - Perfis verticais de umidade específica (q , g kg^{-1}) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 2 (21/02/2019). Linhas na cor preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22 h, respectivamente.

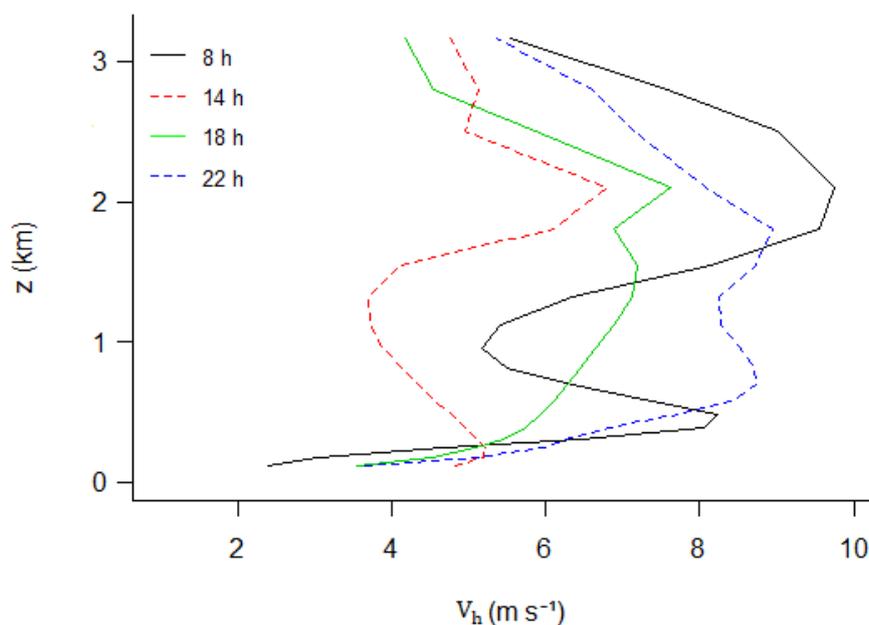


Fonte: O Autor.

Analisando as diferenças entre os perfis das variáveis analisadas em cada aplicação, observa-se que na aplicação 2 (Figura 18) a CLP foi caracterizada por uma clara camada de inversão entre 14 e 22 h, com profundidade variando em torno de 1,8 a 2,0 km, e na aplicação 1 (Figura 15), o topo da CLP é mais difícil de ser identificado. Isso sugere que no dia da aplicação 2 a turbulência foi mais eficiente em homogeneizar os escalares produzindo uma camada de mistura característica entre o nível mais próximo da superfície (aproximadamente 120 m) e o topo da CLP no período compreendido entre 14 e 22 h (STULL, 1988). Isso se reflete em menores gradientes observados de umidade específica, em que a variação não excede $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ a cada 1,0 km (de 14 a 22 h). Por outro lado, durante a aplicação 1, os perfis de temperatura potencial foram mais estáveis próximo à superfície (Figura 15), além disso não é possível afirmar o nível vertical que delimita o topo da CLP. Devido a menor eficiência da turbulência, nesse caso, observaram-se maiores gradientes de umidade específica (Figura 16). Adicionalmente, foi identificado um provável caso de JBN (velocidade do vento variando de 10 a 20 m s^{-1}), que surge devido ao desacoplamento do escoamento acima da superfície em consequência do

resfriamento do solo promovendo a aceleração do fluxo em função da quebra do balanço de forças horizontais (BANTA et al., 2002). No caso analisado, embora tenha sido identificado o provável JBN com o pico da velocidade ultrapassando 15 m s^{-1} (Figura 17), o escoamento próximo à superfície estava mais estável, o que restringiu a mistura dos escalares, conforme observado no perfil da umidade específica às 22 h (Figura 16). Os JBNs são fenômenos tipicamente noturnos observados em associação ao desenvolvimento diurno da CLP (HU et al., 2013, STULL, 1988). Durante o período diurno, a turbulência na CLP convectiva é mantida pela produção térmica e mecânica de energia cinética turbulenta. Durante o período noturno, a evolução temporal do vento na camada do JBN difere da evolução à superfície, onde o resfriamento radiativo resulta no aparecimento de uma inversão térmica de superfície. Neste caso, desenvolve-se uma CLP estratificada estável, caracterizada por um desacoplamento em relação às camadas acima, resultando em ventos de fraca intensidade próximo a superfície durante o período noturno e na presença de JBN acima da CLP estável (Figuras 17 e 20).

Figura 20 - Perfis verticais de velocidade do vento médio ($V_h, \text{m s}^{-1}$) com a altura (km) durante os horários de aplicação dos tratamentos da aplicação 2 (21/02/2019). Linhas na cor preta, vermelha, verde e azul correspondem ao horário das 8, 14, 18 e 22 h, respectivamente.



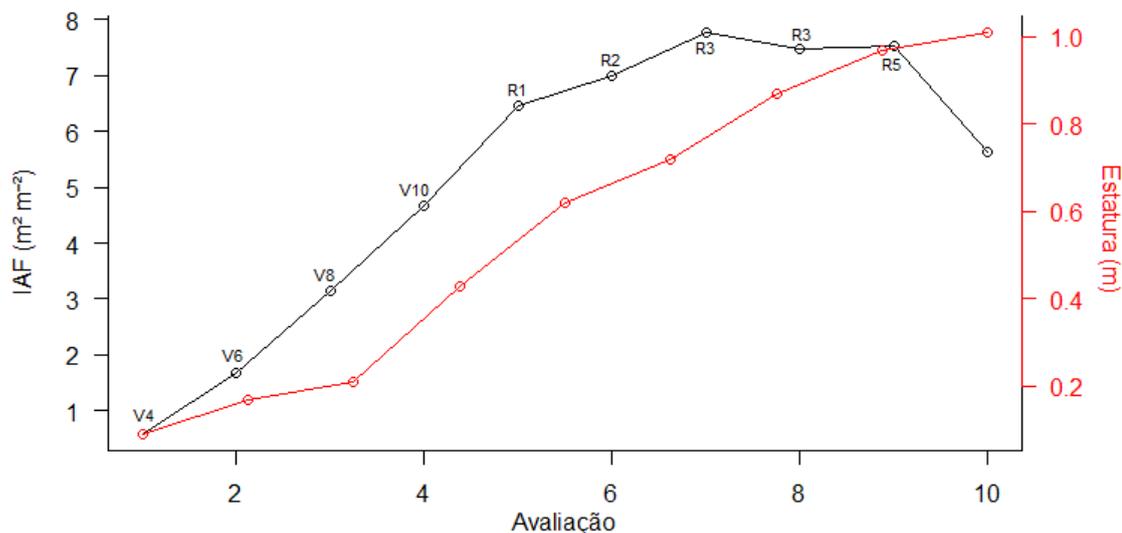
Fonte: O Autor.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DAS PLANTAS

Para caracterização de crescimento e desenvolvimento das plantas de soja, foram realizadas avaliações de fenologia e estatura, assim como avaliações de Índice de Área Foliar (IAF, $m^2 m^{-2}$). As avaliações de fenologia começaram a partir do estágio V4, que caracteriza a terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida pelas plantas, e se estenderam até o estágio R5, fase caracterizada pelo início do enchimento dos grãos nas vagens (Figura 21). Na média, a estatura das plantas no início das avaliações foi de 0,09 m se estendendo até 1,01 m, sendo característica de uma cultivar de alta estatura devido ao hábito de crescimento indeterminado.

Os maiores valores de IAF da cultivar NS6209RR foram observados entre os estádios fenológicos R3 e R5 nas avaliações 7, 8 e 9 (Figura 21). O IAF máximo no estágio R5 é importante para a soja, pois a partir do início do desenvolvimento de grãos nas vagens se acentua a demanda da planta por água, nutrientes e fotoassimilados. Esses componentes, indispensáveis à produção, são preferencialmente direcionados aos grãos em formação para atendimento do acúmulo contínuo de matéria seca e para a biossíntese de óleo e de proteína presente nos grãos (HEIFFIG et al., 2006). Posterior ao máximo de IAF, observou-se, a partir da avaliação 9, o início da perda de área foliar por senescência.

Figura 21 - Índice de Área Foliar (IAF, $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) e estatura (m), representadas pelas linhas preta e vermelha, respectivamente e fenologia* da cultivar de soja NS6209RR avaliadas ao longo do ciclo** da cultura***.



*Fehr e Caviness (1977).

**Data 1: 19/12/2018; data 2: 27/12/2018; data 3: 04/01/2019; data 4: 11/01/2019; data 5: 19/01/2019; data 6: 24/01/2019; data 7: 31/01/2019; data 8: 07/02/2019; data 9: 13/02/2019; e data 10: 28/02/2019.

***Valores médios de IAF e estatura ao longo do ciclo da cultura para todos os tratamentos.

Fonte: O Autor.

Os componentes de rendimento peso de mil grãos (g) e produtividade (sacas ha^{-1}), não apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos (Tabela 4). A variabilidade dos dados em torno da média, representada pelo coeficiente de variação (CV, %), para o peso de mil grãos foi baixa, indicando maior homogeneidade no conjunto de dados. A produtividade apresentou um CV maior, indicando que a variabilidade dos dados é regular em torno da média, com valores variando de 78,50 a 115,60 sacas ha^{-1} . O tratamento 1 (Testemunha) apresentou a menor média de produtividade e, o tratamento 11 (22 h x 75 L h^{-1}) representou a maior média entre os tratamentos.

Tabela 4 - Valores médios de produtividade (sacas ha⁻¹) e peso de mil grãos (g) da cultura da soja por tratamento*.

Tratamento*	Produtividade (sacas ha ⁻¹)	Peso de mil grãos (g)
1	78,50 a**	121,58 a
2	92,09 a	130,13 a
3	97,77 a	132,35 a
4	90,64 a	127,56 a
5	109,88 a	132,02 a
6	89,58 a	131,95 a
7	91,94 a	127,95 a
8	111,92 a	129,05 a
9	82,21 a	121,80 a
10	92,04 a	119,16 a
11	115,60 a	126,05 a
12	105,16 a	129,46 a
13	101,64 a	121,50 a
CV (%)	18,56	6,19

*1 (Testemunha); 2 (8 h x 75 L ha⁻¹); 3 (8 h x 150 L ha⁻¹); 4 (8 h x 225 L ha⁻¹); 5 (14 h x 75 L ha⁻¹); 6 (14 h x 150 L ha⁻¹); 7 (14 h x 225 L ha⁻¹); 8 (18 h x 75 L ha⁻¹); 9 (18 h x 150 L ha⁻¹); 10 (18 h x 225 L ha⁻¹); 11 (22 h x 75 L ha⁻¹); 12 (22 h x 150 L ha⁻¹); 13 (22 h x 225 L ha⁻¹).

**Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: O Autor.

4.3. EFICÁCIA DE CONTROLE EM BIOENSAIOS EM LABORATÓRIO

A mortalidade de lagartas falsa-medideira na aplicação 1 realizada no dia 19/01/2019 foi alta (Figura 22A), assim como a EC (Figura 23). Nesse caso, a infestação foi realizada dois dias após a aplicação. A mortalidade e a EC de insetos para a aplicação 2 realizada em 21/02/2019 diminuíram significativamente (Figuras 22B e 23) comparado a primeira aplicação. A infestação nesse caso ocorreu cinco dias após a aplicação.

Para a aplicação 1 realizada em 19/01/2019, no horário das 18 h com volume de calda de 75 L ha⁻¹, o intervalo de confiança foi de 93,14 - 99,56% segundo o teste da probabilidade de mortalidade das lagartas pela análise binomial dois dias após a aplicação (Figura 22A). A mortalidade média foi de 98% e a EC de 97,61% (Figuras 22A e 23), sendo este o tratamento mais eficaz no controle da lagarta falsa-medideira em comparação com os demais tratamentos. O horário das 14 h com volume de calda de 150 L ha⁻¹ se mostrou o tratamento menos eficaz em relação aos demais, sendo o intervalo de confiança de 65,81 - 82,67%. A mortalidade média foi de 75% e EC de

70,23%. Já para a aplicação realizada às 8 h com os volumes de calda de 75 e 150 L ha⁻¹, o intervalo de confiança foi de 80,41 - 93,23%, a mortalidade média foi de 88% e a EC de 85,71%, ou seja, estatisticamente estes dois tratamentos são considerados iguais. O mesmo resultado ocorreu para o horário das 14 h com volume de calda de 225 L ha⁻¹ e para o horário das 22 h com volume de calda de 150 L ha⁻¹, onde o intervalo de confiança foi de 85,25 - 96,10%, a mortalidade média foi de 92% e a EC de 90,47%. Os demais tratamentos foram considerados estatisticamente distintos, pois não houve sobreposição dos intervalos de confiança.

Os resultados de mortalidade e EC da lagarta falsa-medideira para a aplicação 2 realizada em 21/02/2019, para a maioria dos tratamentos, se mostraram estatisticamente diferentes, com exceção do horário das 14 h com volume de calda de 225 L ha⁻¹ e do horário das 18 h com volume de calda de 75 L ha⁻¹, que apresentaram intervalos de confiança de 36,44 – 55,79%, mortalidade média de 46% (Figura 22B) e EC de 40% (Figura 23). Desta maneira, ambos os tratamentos foram considerados estatisticamente iguais. O tratamento mais eficaz no controle da lagarta nesta aplicação foi o horário das 18 h com volume de calda de 150 L ha⁻¹. O intervalo de confiança deste foi de 49,18 - 68,27%, a mortalidade média foi de 59% e a EC foi de 54,44%.

A EC reduziu significativamente entre as aplicações dos tratamentos (Figura 23). Enquanto no primeiro horário de aplicação (8 h) a EC ficou entre 85,71 e 89,28% na aplicação 1, para a segunda aplicação a EC não ultrapassou 26,66%. A presença de orvalho foi abundante nas duas aplicações, especialmente na aplicação 1, onde UR estava próxima da saturação (Figuras 9 e 23). O mesmo foi observado no último horário de aplicação. Observa-se que na aplicação 2 às 22 h a EC reduziu à medida que se aumentou o volume de calda (Figura 23). Esse resultado sugere que a presença de orvalho sobre a parte aérea das plantas possivelmente causou a diluição e/ou escorrimento da calda pulverizada à proporção que se aumentou a quantidade de água adicionada ao produto inseticida. Ainda, a velocidade do vento na área experimental durante a aplicação 2 às 22 h foi considerada de fraca a nula, que associada a condição de uma atmosfera estável (Figura 18), pode ter causado o desvio das gotas pulverizadas a grandes distâncias da área de aplicação. Estes resultados corroboram com o descrito por Antuniassi et al. (2017), onde os autores

ressaltam que aplicações noturnas devem ser realizadas com menores volumes de calda devido a esses fatores condicionantes.

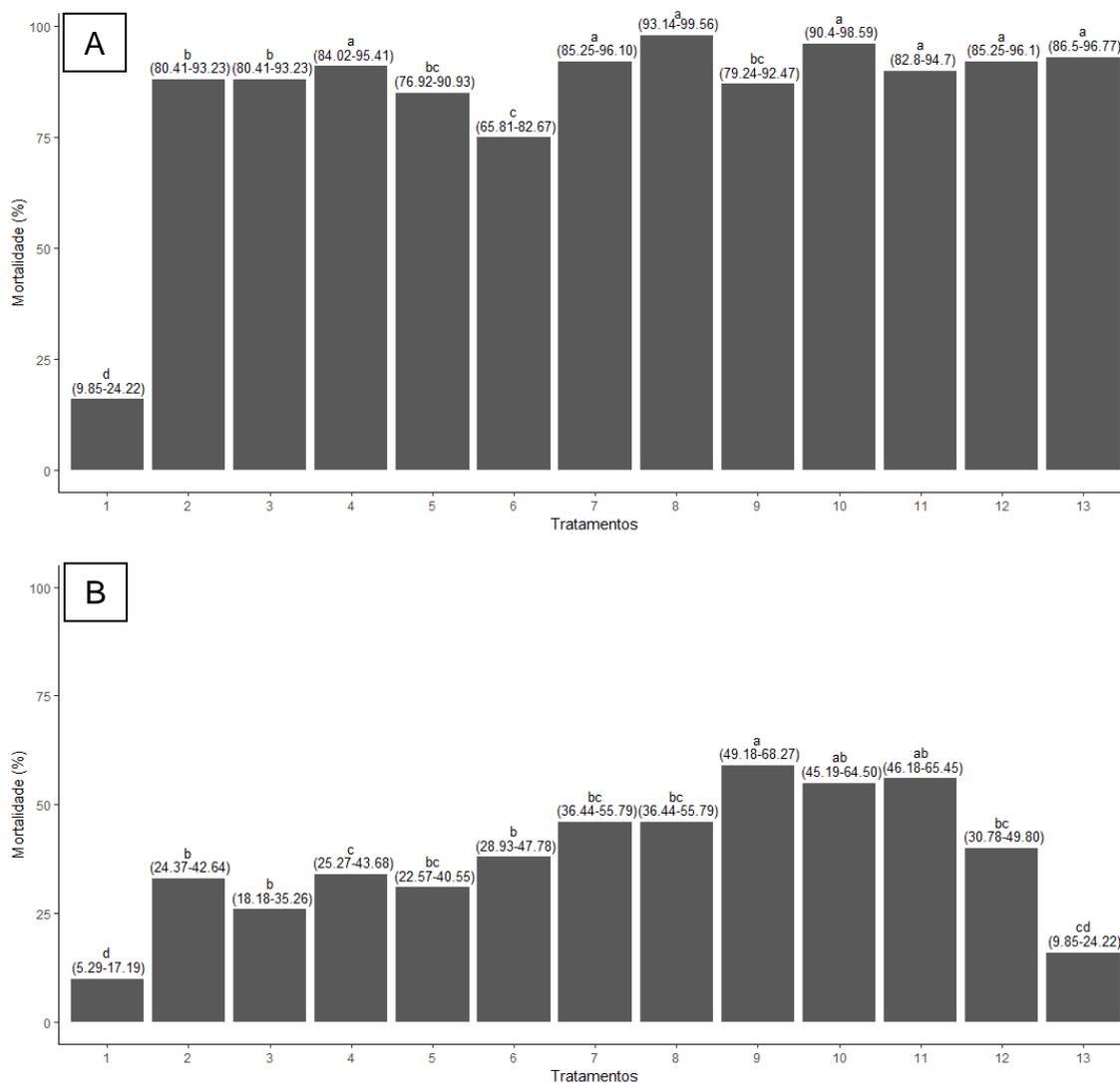
Para o horário das 14 h, em ambas aplicações, o maior volume de calda proporcionou maior eficácia, com EC de 90,47% na aplicação 1 e, 40,0% na aplicação 2 (Figura 23). Para a aplicação realizada em 21 de fevereiro, as condições de T e Td foram de respectivamente 33,1 e 19,5 °C, ou seja, o ar precisaria resfriar 13,6 °C para atingir a saturação (Figuras 10 e 23). Os menores volumes de calda neste horário de aplicação possivelmente se mostraram menos eficazes no controle da lagarta falsa-medideira em decorrência da alta temperatura e baixa umidade relativa do ar (45%), causando a evaporação das gotas de pequeno diâmetro antes de atingirem o alvo. Ainda, a velocidade do vento pode ter deslocado as gotas por deriva (Figuras 11 e 23). No nível mais próximo da superfície (aproximadamente 120 m), a temperatura potencial na aplicação 1 (Figura 15) foi de 292,9 K (19,8 °C) e, na aplicação 2 (Figura 18), 303,9 K (30,8 °C) devido à maior incidência de radiação solar no dia 21 de fevereiro, sugerindo que a convecção na camada próxima a superfície também foi mais profunda quando comparada a aplicação do dia 19 de janeiro, o que possivelmente possa ter deslocado as gotas verticalmente por instabilidade e/ou gerado deriva de gotas muito finas, reduzindo desta forma, a EC.

A aplicação das 18 h se mostrou mais eficaz no controle da lagarta falsa-medideira em ambas aplicações dos tratamentos (Figura 23). A temperatura potencial próxima a superfície na aplicação 1 (Figura 15) foi de 296,0 K (22,9 °C) e, na aplicação 2 (Figura 18), 304,9 K (31,8 °C). Contudo, apesar do aquecimento ser mais intenso na segunda aplicação quando comparado a primeira, a condição foi de uma atmosfera neutra, o que pode ter contribuído para que as gotas pulverizadas caíssem apenas sob efeito da força gravitacional, favorecendo as aplicações e, conseqüentemente, aumentando a EC da lagarta.

Ressalta-se que além das diferenças expressivas nas condições meteorológicas entre as aplicações dos tratamentos, o IAF no momento das aplicações também foi distinto. Quando a soja se encontrava no estádio R1 (aplicação 1), o IAF foi de 6,47 e, no estádio R5 (aplicação 2), este índice foi de 7,53. Segundo Boller et al. (2007), o IAF possui significativa influência na qualidade da aplicação. Plantas bem desenvolvidas possuem maior área foliar a ser protegida, conseqüentemente, impõem maior dificuldade à deposição das gotas de uma

pulverização. Observa-se ainda, que no estádio R5 (aplicação 2), o horário das 8 e 22 h se mostraram menos eficazes no controle da lagarta falsa-medideira quando comparados ao horário das 14 e 18 h (Figura 23). Esses resultados possivelmente estão atrelados ao ângulo foliar e a arquitetura da parte aérea das plantas. As folhas de soja expressam características arquitetônicas geneticamente distintas, como inclinação, distribuição espacial e orientação. Os ângulos do dossel mudam ao longo do dia, especialmente no dossel superior da planta, modificando a arquitetura da mesma. Durante as primeiras horas do dia e a noite, as folhas de soja tendem a ficar paralelas ao solo, enquanto durante as horas de radiação solar máxima, as folhas são perpendiculares ao solo, favorecendo a penetração de produtos fitossanitários no dossel das plantas (MÜLLER et al., 2018).

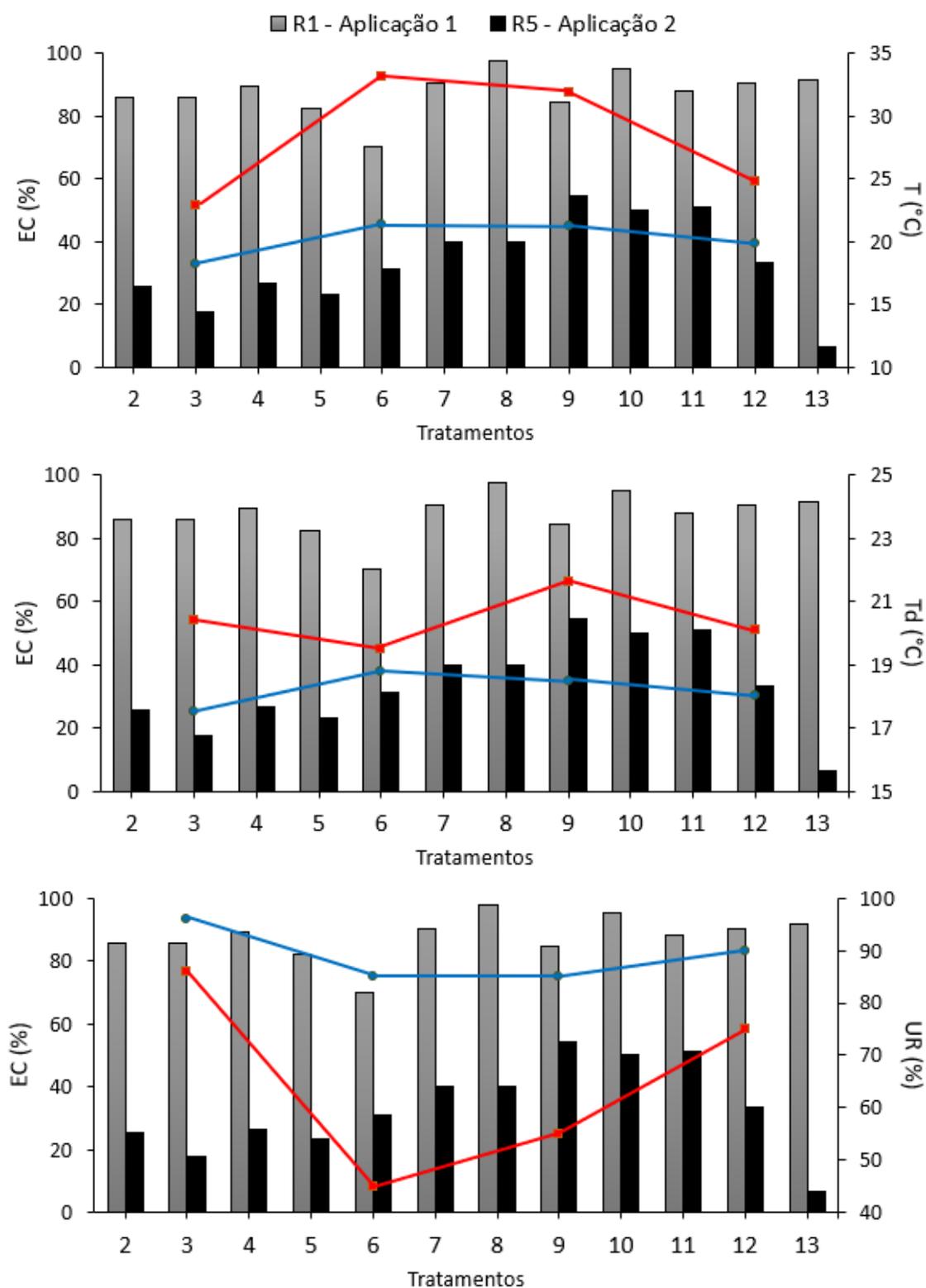
Figura 22 - Mortalidade de lagartas falsa-medideira (*Chrysodeixis includens*) na aplicação 1 (A) realizada no dia 19/01/2019 (50DAE), e na aplicação 2 (B) realizada no dia 21/02/2019 (83DAE) em todos os tratamentos*.

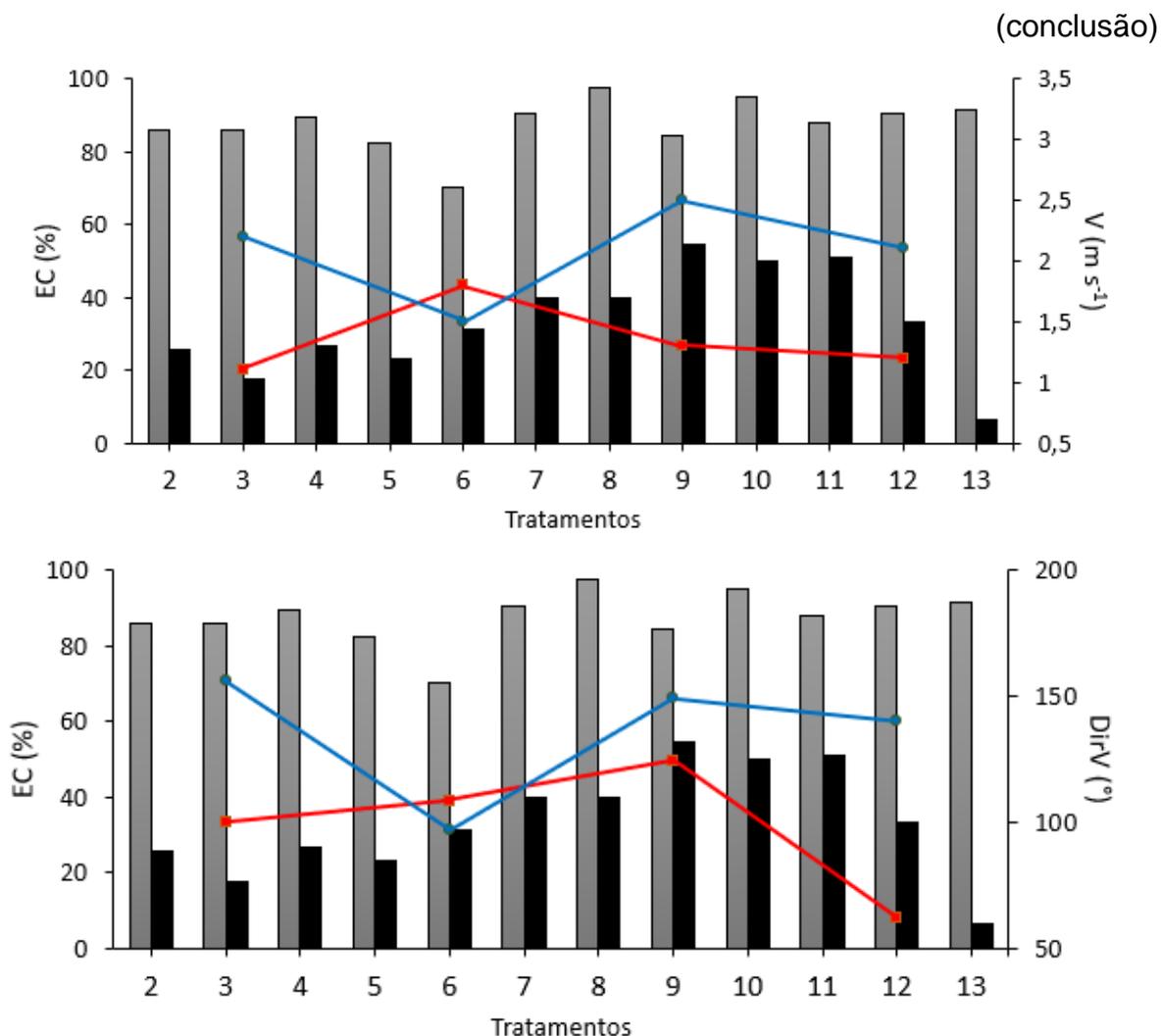


*1 (Testemunha); 2 (8 h x 75 L ha⁻¹); 3 (8 h x 150 L ha⁻¹); 4 (8 h x 225 L ha⁻¹); 5 (14 h x 75 L ha⁻¹); 6 (14 h x 150 L ha⁻¹); 7 (14 h x 225 L ha⁻¹); 8 (18 h x 75 L ha⁻¹); 9 (18 h x 150 L ha⁻¹); 10 (18 h x 225 L ha⁻¹); 11 (22 h x 75 L ha⁻¹); 12 (22 h x 150 L ha⁻¹); 13 (22 h x 225 L ha⁻¹).

Fonte: O Autor.

Figura 23 - Eficácia de controle* (EC, %) em função da condição meteorológica** de lagartas falsa-medideira (*Chrysodeixis includens*) calculada pela Equação de Abbott para as aplicações 1 (19/01/2019) e 2 (21/02/2019) em todos os tratamentos***. (continua)





*Barras nas cores cinza e preto se referem respectivamente a EC das aplicações 1 e 2.

**Linhas nas cores azul e vermelho se referem a condição meteorológica das aplicações 1 e 2, respectivamente.

***2 (8 h x 75 L ha⁻¹); 3 (8 h x 150 L ha⁻¹); 4 (8 h x 225 L ha⁻¹); 5 (14 h x 75 L ha⁻¹); 6 (14 h x 150 L ha⁻¹); 7 (14 h x 225 L ha⁻¹); 8 (18 h x 75 L ha⁻¹); 9 (18 h x 150 L ha⁻¹); 10 (18 h x 225 L ha⁻¹); 11 (22 h x 75 L ha⁻¹); 12 (22 h x 150 L ha⁻¹); 13 (22 h x 225 L ha⁻¹).

Fonte: O Autor.

4.4. CARACTERÍSTICAS DAS GOTAS DE PULVERIZAÇÃO

A análise das gotas com cartões hidrossensíveis foi feita apenas para as aplicações realizadas no período da tarde (14 e 18 h). Nos horários extremos de aplicação (8 e 22 h), a presença abundante de umidade impossibilitou a análise dos cartões hidrossensíveis no software Gota®.

O diâmetro da mediana volumétrica (DMV) para a aplicação realizada em 19/01/2019 às 14 h apresentou crescente aumento à medida que se aumentou o volume de calda de aplicação, exceto na aplicação das 18 h com volume de calda de 150 L ha⁻¹ (Tabela 5). O espectro de gotas gerado nesse horário (14 h) de aplicação produziu gotas que variaram de médias a grossas. O percentual de cobertura no horário das 14 h apresentou maior valor para o tratamento de 225 L ha⁻¹ e diminuiu com a redução do volume de calda. A porcentagem de cobertura apresentou valores com significativa variabilidade, com CV de 35,19%. Garcés-Fiallos et al. (2017), avaliando o controle químico da ferrugem asiática em soja utilizando diferentes bicos de pulverização em atmosfera controlada, mostraram que a doença foi controlada com maior eficácia usando pontas que geram DMV menores que 400 µm. Gotas com DMV menor que 400 µm foram observadas apenas no Tratamento 9 na aplicação 1 (Tabela 5). Os demais tratamentos da aplicação 1, assim como na aplicação 2, produziram gotas que variaram de grossas a extremamente grossas (valores altos de DMV na Tabela 5).

Para aumentar a qualidade da pulverização, deve-se melhorar os padrões de gotas aplicadas, especialmente no que diz respeito à homogeneidade do espectro de gotas. Espectro de gotas homogêneo tem valor de AR tendendo à zero. A AR apresentou menores valores para a aplicação 1 em todos os tratamentos (Tabela 5), o que indica um espectro de gotas mais homogêneo. Os valores de AR e DMV devem ser analisados conjuntamente para a caracterização da pulverização. Isoladamente, o DMV fornece um valor de referência, sem indicar a dispersão dos dados em torno da média. A AR indica a homogeneidade do tamanho das gotas. Logo, para a aplicação realizada em 19/01/2019, em ambos os horários de aplicação (14 e 18 h), houve um aumento do DMV e da AR à medida que se aumentou o volume de calda, sendo o espectro de gotas mais homogêneo no primeiro horário de aplicação.

Os resultados obtidos neste estudo não corroboram com os resultados alcançados por Gomes et al. (2017), que estudando a interação entre a temperatura do ar e adjuvantes, verificaram que o DMV reduz significativamente à medida que a temperatura do ar aumenta, sugerindo que as maiores temperaturas do ar provocam evaporação das gotas reduzindo o DMV. Isso reforça a ideia de que não é possível analisar o aumento ou diminuição de um espectro de gotas considerando apenas uma variável meteorológica condicionante.

Tabela 5 - Características das gotas de pulverização para a aplicação 1 (19/01/2019) e para a aplicação 2 (21/02/2019) estimadas pela análise de cartões hidrosensíveis: diâmetro da mediana volumétrica (DMV, μm), porcentagem de cobertura (%), densidade de gotas (gotas cm^{-2}) e amplitude relativa (AR).

Tratamento*	DMV (μm)	Cobertura (%)	Densidade (gotas cm^{-2})	AR
Aplicação 1				
5	439,54 ab**	8,95 b	427,73 a	0,85 a
6	526,87 ab	13,27 ab	276,27 a	0,87 a
7	686,49 a	19,67 a	259,31 a	0,87 a
8	499,31 ab	6,82 b	260,81 a	0,97 a
9	337,82 b	5,30 b	119,44 a	1,05 a
10	602,97 ab	10,69 ab	459,73 a	1,17 a
CV (%)	20,68	35,19	78,69	17,11
Aplicação 2				
5	1025,13 a	4,03 a	9,64 a	1,94 a
6	1267,12 a	4,96 a	8,67 a	2,03 a
7	1431,91 a	3,77 a	5,41 a	1,43 a
8	1103,04 a	4,49 a	8,56 a	1,69 a
9	1213,37 a	4,59 a	8,71 a	1,72 a
10	1229,36 a	3,70 a	7,13 a	1,68 a
CV (%)	29,67	46,21	34,35	24,56

*5 (14 h x 75 L ha^{-1}); 6 (14 h x 150 L ha^{-1}); 7 (14 h x 225 L ha^{-1}); 8 (18 h x 75 L ha^{-1}); 9 (18 h x 150 L ha^{-1}); 10 (18 h x 225 L ha^{-1}).

**Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: O Autor.

A aplicação 2 foi realizada em condições meteorológicas muito distintas, quando comparada à primeira aplicação. Nos horários das 14 e das 18 h, a alta incidência de radiação solar resultou em altos valores de temperatura do ar, reduzindo a umidade relativa do ar a valores abaixo de 50%. A velocidade do vento na área experimental foi considerada de fraca a nula. O espectro de gotas gerado nessas condições produziu gotas extremamente grossas (valores altos de DMV na Tabela 5), resultando na redução da deposição de gotas e porcentagem de cobertura, quando comparado à primeira aplicação. O espectro de gotas, observado nos valores de AR, apresentou maior variabilidade e, neste caso, produziu um espectro de gotas considerado heterogêneo. Esses resultados podem estar associados à coalescência de várias gotas menores, assim como à perda de gotas menores por deriva ou a evaporação das gotas pulverizadas de pequeno diâmetro. Yu et al. (2009), ao

comparar gotas de diferentes DMV em condições extremas de umidade relativa do ar, verificaram que gotas com DMV de 246 μm evaporam dez vezes mais rápido que gotas com DMV de 800 μm , a 60% de umidade relativa do ar.

Em condições normais, o final da tarde é o período onde a temperatura do ar diminui e a umidade relativa do ar se eleva, favorecendo as aplicações de produtos fitossanitários. Porém, na segunda aplicação dos tratamentos (21/02/2019), no horário das 18 h, a temperatura e a quantidade de vapor d'água presente no ar foi equivalente ao horário das 14 h, assim como a intensidade do vento. Sasaki et al. (2016) ressaltam que as perdas por evaporação de gotas nos horários de maior temperatura e menor umidade relativa do ar potencializam as perdas por deriva das gotas pulverizadas. Salienta-se ainda que em ambos horários de aplicação (14 e 18 h), a aplicação 2 foi realizada em condições meteorológicas fora dos limiares descritos como adequados por Antuniassi (2017), o que segundo o autor pode comprometer significativamente a eficácia de uma aplicação.

Para a aplicação 2 dos tratamentos, os resultados mostraram não haver diferenças estatísticas significativas entre os volumes de calda inseticida às variáveis analisadas (Tabela 5), sugerindo que é possível utilizar menores volumes de calda em condições meteorológicas extremas, como por exemplo, em condições de temperatura do ar superior a 30 °C e umidade relativa do ar inferior a 50%.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados desta pesquisa foi possível afirmar que a condição meteorológica local é um dos fatores que determina a qualidade das aplicações do inseticida Methoxyfenozida (Intrepid® 240 SC da Corteva) e, conseqüentemente, o controle efetivo de lagartas falsa-medideira.

A eficácia de controle variou de 70,23 a 97,61% em condições de temperatura do ar entre 18,0 e 25,0 °C, umidade relativa do ar entre 75 e 95%, temperatura do ponto de orvalho entre 16,0 e 18,0 °C e intensidade do vento entre 1,5 e 2,5 m s⁻¹. Em contrapartida, em condições de temperatura do ar superior a 25,0 °C, umidade relativa do ar inferior a 60%, temperatura do ponto de orvalho superior 18,0 °C e intensidade do vento inferior a 1,5 m s⁻¹, a eficácia de controle não ultrapassou 54,44%.

Os perfis de temperatura potencial associado aos perfis de umidade específica e velocidade do vento médio para estimar a estabilidade atmosférica nos horários de aplicação dos tratamentos foram considerados bons indicadores deste parâmetro. A atmosfera neutra se mostrou um fator determinante para o aumento da eficácia de controle de lagartas falsa-medideira. Em contrapartida, as condições de forte estabilidade e instabilidade influenciaram negativamente nas aplicações dos tratamentos.

A presença de orvalho no período da manhã e noite, que embora tenha sido observada não foi mensurada, pode ter causado escorrimento da calda influenciando a permanência das gotas pulverizadas na camada superficial das plantas de soja, e limitou o uso de cartões hidrosensíveis na pesquisa. Para aplicações no início da tarde, os resultados deste estudo sugerem o uso de maiores volumes de calda, principalmente em condições de alta temperatura do ar e forte instabilidade atmosférica, o que pode provocar a evaporação de gotas de pequeno diâmetro e/ou desvio das mesmas antes de atingirem o alvo biológico. Ainda, nestas condições houve intensa redução da cobertura e densidade de gotas nas folhas de soja, devido a evaporação de gotas de pequeno diâmetro, o que resultou na predominância de gotas extremamente grossas, as quais não são indicadas para pulverizações com uso de inseticidas. No entanto, em aplicações realizadas no período noturno, o menor volume de calda se mostrou mais eficaz no controle da lagarta falsa-medideira.

Devido ao exposto, ressalta-se a importância de pesquisadores da cultura da soja e produtores agrícolas da adequação das tecnologias de aplicação utilizadas em campo às condições meteorológicas, as quais mostraram ser determinantes na eficácia de controle da lagarta falsa-medideira.

Sugere-se como segmento deste estudo:

- a) A inclusão de outras variáveis meteorológicas condicionantes, como por exemplo, orvalho e outros indicadores de estabilidade atmosférica, como a temperatura potencial equivalente e o número de Richardson.
- b) Avaliar a influência da arquitetura da parte aérea das plantas na eficácia de controle da lagarta falsa-medideira.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, n. 2, p. 265-267, 1925.

AGRO BAYER BRASIL. **Lagarta falsa-medideira da soja**, 2018. Disponível em: <<https://www.agro.bayer.com.br/alvos/lagarta-falsa-medideira#tab-1>>. Acesso em: 13/01/2020.

ALMEIDA, G. D.; ZANUNCIO, J. C.; PRATISSOLI, D.; ANDRADE, G. S.; CECON, P. R.; SERRÃO, J. E. Effect of azadirachtin on the control of *Anticarsia gemmatalis* and its impact on *Trichogramma pretiosum*. **Phytoparasitica**, DOI 10.1007/s12600-010-0124-6, p. 413–419, 2010.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE -14056-TDI/1067, 2007.

ANTUNIASSI, U. R. Qualidade em tecnologia de aplicação de defensivos. In: V Congresso Brasileiro de Algodão, 2005, Salvador/BA. **Anais...** Salvador/BA: Fundeagro, p. 1-6, 2005.

ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, p. 145-184, 2004.

ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. **Entendendo a Tecnologia de Aplicação**. Editora Fepaf, p. 36-39, 2017.

ARRUÉ, A.; GUEDES, J. V. C.; STORCK, L.; SWAROWSKY, A.; CAGLIARI, D.; BURTET, L. M.; ARNEMANN, J. A. Precipitação artificial após aplicação do inseticida Clorantroliprole associado com adjuvante em plantas de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 12, p. 2118-2123, 2014.

BANTA, R. M.; NEWSOM, R. K.; LUNDQUIST, J. K.; PUCHUGINA, Y. L.; COULTER, R. L.; MAHRT, L. Nocturnal low-level jet characteristics over Kansas during cases-99. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 105, p. 221–252, 2002.

BAUDET, L.; PESKE, F. Aumentando o desempenho das sementes. **Seed News**, v. 9, n. 5, p. 22-24, 2007.

BAUER, F.C.; RAETANO, C.G. Volumetric Distribution of the Spray Nozzle Tips XR, TP and TJ under Different Operational Conditions. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 275-284, 2004.

BARBOSA, F. R.; SILVA, C. S. B. da; CARVALHO, G. K. de L. Uso de inseticidas alternativos no controle de pragas agrícolas. **Embrapa Agropecuária Oeste**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2006. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/33455/1/SDC191.pdf>>. Acesso em: 05/11/2018.

BENASSI, V. L. R. M.; VALENTE, F. I.; COMÉRIO, E. F.; CARVALHO, S. Lagarta falsa-medideira, *Pseudoplusia includens* (WALKER, 1857), nova praga do maracujazeiro no Espírito Sanver **Rev. Bras. Frutic**, Jaboticabal-SP, v. 34, n. 3, p. 941-943, Setembro de 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v34n3/38.pdf>>. Acesso em: 13/01/2020.

BERNARDI, O.; MALVESTITI, G. S.; DOURADO, P. M.; OLIVEIRA, W. S.; MARTINELLI, S.; BERGER, G. U.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701xMON89788 soybean against *Anticarsia gemmatilis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, p. 1083-1091, 2012.

BERRI, G. J.; INZUNZA, J. B. The effect of the low-level jet on the poleward water vapour transport in the central region of South America. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, v. 27, p. 335-341, 1993.

BOLETIM TÉCNICO CPTEC/INPE. Disponível em: <<http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>>. Acesso em: 15/01/2010.

BOLLER, W.; FORCELINI, C. A.; HOFFMANN, L. L. Tecnologia de aplicação de fungicidas. Passo Fundo: **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 15, p. 243-276, 2007.

BOLLER, W. Resposta da tecnologia de aplicação de defensivos em relação à concepção atmosférica visando o controle de doenças de plantas. **Summa Phytopathologica**. Botucatu, v. 33, p. 113-116, 2007.

BOLLER, W.; CECCON, R.; MALDANER, H.; ARTUZI C. M. **Aplicações de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja em seis horários ao longo de um dia**. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 38, Cruz Alta/RS, 2010. Anais... Cruz Alta/RS. Fundacep/Fecotrig, 2010.

BOTELHO, A. B. R. Z.; SILVA, I. F.; ÁVILA, C. J. Control of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) using Chin-IA (I-A) isolate as integrate component of management in soybean crops. **Plant Parasitology**, v. 86, p. 1-8, 2019.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 37-48, 2008.

BRUNA, J. Principais inseticidas para combater pragas de grãos. **Lavoura** 10, 20 jun. 2018. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/tipos-de-inseticidas/>>. Acesso em: 05/11/2018.

CANTERI, M.G.; ALTHAUS, R. A.; FILHO, J. S. V.; GIGLIOTI, É. A.; GODOY, C. V. SASM – Agri: sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft–Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n. 2, p. 18-24, 2001. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175651/1/SASM-AGRI.pdf>>. Acesso em: 30/08/2019.

CARVALHO, Leila M. V.; JONES, Charles; LIEBMANN, Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **American Meteorological Society**, v. 15, p. 2377-2394, 2002.

CARVALHO, Leila M. V.; JONES, Charles; LIEBMANN, The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **American Meteorological Society**, v. 17, p. 88-108, 2004.

CHAIM, A. Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos: Fatores que afetam a eficiência e o impacto ambiental. **Embrapa Meio Ambiente** Jaguariúna/SP: Embrapa, c. 8, p. 1-29, 2004.

CHRISTOFOLETTI, J. C. Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle. **Boletim técnico**, 4. São Paulo, Teejet South America, 15 p., 1999.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Manual Shell de máquinas e técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo: Shell, 124 p., 1992.

COOKE, B.K.; HISLOP, E.C.; HERRINGTON, P.J.; WESTERN, N.M.; HUMPHERSON-JONES, F. Air-assisted spraying of arable crops, in relation to deposition, drift and pesticide performance. **Crop Protection**, v. 9, p. 303-311, 1990.

CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. Segurança no manuseio e na aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM, L. (ed.). **Produção integrada de fruteiras tropicais**. Viçosa: UFV, p. 313-330, 2003.

COTRISOJA, COOPERATIVA TRITÍCOLA TAPERENSE LTDA. Tecnologia de Aplicação de Defensivos e Uso de Adjuvantes. **Notícias COTRISOJA**, 2017. Disponível em: <<http://www.cotrisoja.com.br/tecnologia-de-aplicacao-de-defensivos-e-uso-de-adjuvantes/>> Acesso em: 07/03/2019.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; COURY, J.R.; FERREIRA, L.R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulica utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 10-15, 2007.

DAN, L. G. M.; DAN, H. A.; BARROSO, A. L. L.; BRACCINI, A. L. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas sob efeito do armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 131-139, 2010.

DINIZ, G. B. Meteorologia Física. **Editora Universitária UFPEL**, c. 8, p. 77-85, 2006.

DI OLIVEIRA, J. R. G.; FERREIRA, M. C.; ROMÁN R. A. A. Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de inseticida no controle de *Pseudoplusia includens*. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 92-99, 2010.

DORAI-RAJ, S. Binomial confidence intervals for several parameterizations. **R package version 1.0-5**, 2009. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=binom>>. Acesso em: 10/03/2019.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas. **Documentos Embrapa**, 2006. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/10340/1/Dc-102.pdf>> Acesso em: 06/03/2019.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Soja em números (safra 2017/2018). **Embrapa soja**, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: 18/08/2018.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Programa de Calibração de Pulverização - Gotas. **Embrapa Soluções tecnológicas**, 2000. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1421/gotas---programa-de-calibracao-de-pulverizacao---gotas>>. Acesso em: 16/02/2019.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Special Report, n. 80. Ames, Yowa: Yowa State University of Science and Technology, 11 p., 1977.

FERNANDES, H. C. **Aplicação de defensivos agrícolas: Teoria da gota**. Cadernos Didático 24. Voçosa: Engenharia da Agricultura, 14 p., 1997.

FERREIRA, M.C. **Caracterização da cobertura de pulverização necessária para controle do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (G., 1939) em citros**. 2003. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

FERREIRA, N. J.; RAMÍREZ, M. V.; GAN, M. A. Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. et al. (Ed.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

FORMENTINI, A. C.; SOSA-GÓMEZ, D. C.; PAULA-MORAES, S. V.; BARROS, N. M.; SPECHT, A. Lepidoptera (Insecta) associated with soybean in Argentina, Brazil, Chile and Uruguay. **Ciência Rural**, v. 45, n. 12, 2015.

FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; LAN, Y.; THOMSON, S. J.; HUANG, Y. Low-level atmospheric temperature inversions: characteristics and impacts on aerial applications. **Agric. Eng. Int.**, Beijing, v. X, p. 1-10, 2008.

FURNESS, G.O. A comparison of simple bluff plate and axial fans for air-assisted, high-speed, low-volume spray application to wheat and sunflower plants. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 48, p. 57-75, 1991.

GABRIEL, R. R. F.; BAIO, F. H. R. Interação entre pressão e tamanho de gota por instrumentação eletrônica em pulverizador pressurizado por CO₂. e-ISSN 1983-4063 - www.agro.ufg.br/pat - **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 164-169, 2013.

GANDU, A. W.; SILVA DIAS, P. L. Impact of tropical heat sources on the South American tropospheric upper circulation and subsidence. **Journal of Geophysical Research**. v. 103. p. 6001-6015, 1998.

GARCÉS-FIALLOS, F. R.; DANELLI, A. L. D.; TONIN, R. B.; BOLLER, W. Droplet spectrum and fungicide efficiency in the control of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd.). **Crop Protection**, v. 67, n. 2, p. 362-367, 2017.

GEORGHIOU, G.P. Overview of insecticide resistance. In: GREEN, M.B.; LEBARON, H.M.; MOBERG, W.K. (eds.). **Managing resistance to agrochemicals: from fundamental research to practical strategies**. Washington D.C.: American Chemistry Society, Symposium Series, p. 18-41, 1990.

GOMES, F. A.; MASSOLA, M. P.; LOPES, L. L.; MARTINS, P. O. M.; REIS, E. F. Espectro de gotas de calda de pulverização em diferentes condições ambientais. **VIII SINTAG**, Campinas -SP, 2017.

GONÇALVES, P.C.T. **Manual Zeneca de manuseio e aplicação para agrotóxicos**. São Paulo: Zeneca Agrícola, 17 p., 1999.

GRIMM, A. M. Variabilidade Interanual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 353–374, 2009.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**. v. 25, n. 4, p. 537-554, DOI: 10.1007/s00477-010-0420-1, 2011.

GUEDES, J. V. C.; FIORIN, R. A.; STURMER, G. R.; PRÁ, E. D.; PERINI, C. R.; BIGOLIN, M. Sistemas de aplicação e inseticidas no controle de *Anticarsia gemmatalis* na soja. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 910–914, 2012.

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. *Bragantia*, Campinas, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

HU, X.; XUE, M.; KLEIN, P. M.; LUNDQUIST, ZHANG, F. QI, Y. Impact of Low-Level Jets on the Nocturnal Urban Heat Island Intensity in Oklahoma City. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 52, p. 1779-1802, 2013.

ENZ, J. W.; HOFMAN, V.; THOSTENSON, A. Air Temperature Inversions. **NDSU**. Extension Service, 2014.

HIMEL, C. M. The optimum size for insecticide spray droplets. **Journal of Economic Entomology**, v. 62, n. 4, p. 919-925, 1969.

HIMEL, C. M.; MOORE, A. D. Spray droplet size in control of spruce budworm, boll weevil, bollworm, and cabbage looper. **Journal of Economic Entomology**, v. 62, n. 4, p. 916-918, 1969.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Documentos Embrapa**. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2014. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990000/1/Oagronegociodasojanoscontextosmundialebrasileiro.pdf>>. Acesso em 16/02/2019.

HOFFMANN-CAMPO, C. B.; MOSCARDI, F.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; OLIVEIRA, L. J.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; PANIZZI, A. R.; CORSO, I. C.; GAZZONI, D. L.; OLIVEIRA, E. B. Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado. **Embrapa Soja**. Circular Técnica, 30. ISSN 1516-7860, 2000.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. O. Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications **Engineering and Science**, v. 1, ed. 5, 2015.

HUSSON, F.; VAISSIE, P.; MONGE, A. **Perform Factorial Analysis from 'FactoMineR' with a Shiny Application**. Package 'Factoshiny', 2018. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/Factoshiny/Factoshiny.pdf>>. Acesso em: 19/11/2019.

HUTH, C.; ROGGIA, S.; CANTONE, W.; GUEDES, J.V.C. Systemic effect of inseticide (Tiamethoxan + Lambda-Cyhalothrin) in soybean plants. In: VI Congresso Brasileiro de Soja, Cuiabá/MT, 2012. **Anais...Cuiabá/MT**, 2012. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/74235/1/101-s232.pdf>>. Acesso em 16/02/2019.

KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educ Psychol Meas**, p.141-151, 1960.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140–1153, 1979.

LÍGIA, A. O que você precisa saber sobre mistura de defensivos agrícolas. **Lavoura 10**, 2018. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/tecnologia-de-aplicacao-defensivos-agricolas/>>. Acesso em: 09/01/2020.

MACIEL, C. F. S.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; FERNANDES, H. C.; SANTIAGO, H. Sprayed liquid loss due to evaporation in different psychrometric conditions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 244-250, 2017.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 139 p., 1990.

MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. Malden: Blackwell Science, 2000.

MÉLICE, J. L.; SERVAIN, J. The tropical Atlantic meridional SST gradient index and its relationships with the SOI, NAO and Southern Ocean. **Climate Dynamics**, v. 20, p. 447-464, 2003.

MENDIBURU, F. **Statistical Procedures for Agricultural Research: Package 'agricolae'**. Version 1.3-1, 2019. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/agricolae.pdf>>. Acesso em: 10/07/2019.

MILLER, P. C. H. Spray drift and its measurement. In: MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C. (eds.). **Application technology for crop protection**. CAB International: 1993. p. 101-122.

MICHIGAN STATE UNIVERSITY. **Arthropod pesticide resistance database**. 2002. Disponível em: <<https://www.pesticideresistance.org/search.php>>. Acesso em: 23/03/2019.

MONTEIRO, L. et al. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. 2009. In: Blog Agro BASF. **Qual a temperatura ideal para o desenvolvimento da soja**. Disponível em: <<http://www.blogagrobASF.com.br/noticia?id=820>>. Acesso em: 25/03/2019.

MONTEITH, J. L. **Vegetation and the atmosphere**. Nova Iorque: **Academic Press**, 277 p., 1975.

MOREIRA, H. J. C.; ARAGÃO, F. D. **Manual de Pragas da Soja**. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/downloads/Manual_de_pragas_de_soja%20\(1\).pdf](https://www.agrolink.com.br/downloads/Manual_de_pragas_de_soja%20(1).pdf)>. Acesso em: 27/12/2019. Campinas-SP, 2009.

MÜLLER, M.; RAKOCEVIC, M.; CAVERZAN, A.; BOLLER, W.; CHAVARRIA, G. Architectural Characteristics and Heliotropism May Improve Spray Droplet Deposition in the Middle and Low Canopy Layers in Soybean. **Crop Science**, v. 58, 2018.

OMOTO, C. Modo de ação dos inseticidas e resistência de insetos a inseticidas. In: GUEDES, J. C.; COSTA, I. D.; CASTIGLIONI, E. **Bases e técnicas de manejo de insetos**. Santa Maria: UFSM/CCR/DFS, p. 31-49, 2000.

OMOTO, C. Princípios e práticas de manejo da resistência de pragas a pesticidas. In: Encontro Nacional Sobre Fruticultura de Clima Temperado, 5, Fraiburgo/SC, 2002. **Anais...Caçador/SC, EPAGRI**, p. 69-74, 2002.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Second Edition, 1987.

OZEKI, Y.; KUNZ, R. P. Tecnologia de aplicação aérea: aspectos práticos. In: GUEDES, J. V. C.; DORNELLES, S. H. B. (eds.). **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos**. Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, p. 65-78, 1998.

OZKAN, H. E. **Reduzindo a deriva nas pulverizações**. COMAM, 2001. Disponível em: <<http://www.comam.com.br>>. Acesso em: 07/03/2019.

OWEN, L. N.; CATCHOT, A. L.; MUSSER, F. R.; GORE, J.; COOK, D. C.; JACKSON, R. Susceptibility of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to reduced-risk insecticides. **Florida Entomologist**, 2013.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space, **Philosophical Magazine**, Series 6, v. 2, n. 11, p. 559-572, 1901.

PEEL, M. C.; FINLAYSON B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences** v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PENCKOWSKI, L.H., PODOLAN, M.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pós-emergentes sobre a eficácia de controle de Nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura de trigo. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 435-442, 2003.

PERECIN, D.; PERESSIN, V.A.; MATUO, T.; BARBOSA, J.C.; PIO, L.C, BRAZ, B.A. Padrões de distribuição obtidos com bicos Twinjet em função da altura e do espaçamento entre bicos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 14, p. 19-30, 1994.

PEREIRA, A. R. **Introdução a Micrometeorologia**. Piracicaba: Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, 2002.

R DEVELOPMENT TIME. **R: a language and environment for statistical computing**, 2012. Disponível em: <www.R-project.org/>. Acesso em: 16/02/2019.

RAMOS, H.H. No lugar certo. **Cultivar- Máquinas**, Londrina, n. 6, p. 16-19, 2001.

RAMOS, H.H.; PIO, L.C. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M.Z.; SANTIAGO, T. (eds.). **O que engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. Viçosa: UFV, p. 133-202, 2003.

RAMSEY, R. J. L.; STEPHENSON, G. R.; HALL, J. C. Effect of humectants on the uptake and efficacy of glufosinate in wild oat (*Avena fatua*) plants and isolated cuticles under dry conditions. **Weed Science**, Champaign, v. 54, p. 205-211, 2006.

- REBOITA, M. S. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. Tese de Doutorado em Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG–USP, 359 p., 2008.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010.
- REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terrae Didactica**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E.; BENSON, G.O. **How a soybean plant develops**. Special Report, 53. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 20 p., 1977.
- ROGERS R. R.; YAU, M. K. **A Short Course in Cloud Physics**. 3 ed. Butterworth-Heinemann, 304 p., 1996.
- SANTOS, J. M. F. **Aplicação correta: eficiência, produtividade e baixo custo em culturas agrícolas**. Instituto Biológico, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Sanidade Vegetal, 2003.
- SANTOS, A. F.; ASSIREU, A. T.; PASSOS, H. L. MATTOS, J. G. Z.; SCHMENGLER, M. **Estabilidade Atmosférica e Desenvolvimento de Nuvens**. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/ariane/biblio/apostila_estabilidade_atm_itajuba.pdf>. Acesso em: 26/08/2019. INPE, São José dos Campos, 2013.
- SANTOS, J.M. F. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo: Instituto Biológico, 62 p., 2002.
- SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; MACIEL, C. F. S.; ALVARENGA, C. B.; FORASTIERE, P. R. Espectro de gotas produzidas por pontas de jato plano duplo defasado com indução de ar. **Engenharia na Agricultura**, v. 23, n. 3, p. 211-218, 2016.
- SCUDELER, F. et al. **Ângulo da barra e ponta de pulverização na deposição da pulverização em soja**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3, 2004, Botucatu/SP. **Anais...** Botucatu: FEPAF, p.13-16, 2004.
- SILVA, L.G. **Inseticidas**. Grupo de Estudos Agronômicos em Grãos e Algodão na Universidade Federal de Goiás (UFG), 2015. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/GeagraUFG/inseticidas>>. Acesso em: 05/11/2018.
- SPADOTTO, C. A. Influência das condições meteorológicas no transporte de agrotóxicos no ambiente. **Boletim SBMET**, 2006.

STENSRUD, D. J. Importance of Low-Level Jets to Climate: A Review. **Journal of Climate**, v. 9, 1996.

STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer Academic Publishers, 1988.

THEISEN, G.; RUEDELL, J. **Tecnologia de aplicação de herbicidas: teoria e prática**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 90 p., 2004.

TRENBERTH, K. E.; STEPANIAK, D. P. Indices of El Niño Evolution. **Journal of Climate**, v. 14, 2001.

UCAR, University Corporation for Atmospheric Research. **The Weather Research & Forecasting Model**. Disponível em: <<https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>>. Acesso em: 17/02/2019.

VILELA, C. M. **Evaporação de gotas de caldas contendo fungicidas e adjuvantes depositadas em superfície**. Dissertação de mestrado – UNESP. Botucatu – São Paulo, 2012.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. Second Edition. University of Washington, 2006.

YAMAMOTO, P.T. **Controle Químico de Pragas**. Departamento de Entomologia e Acarologia. ESALQ/USP, 2018.

YU, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H.E.; DERKSEN, R.C.; KRAUSE, C.R. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 52, p. 39-49, 2009.