

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS CENTRAL
ANÁPOLIS DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

VICTOR HUGO ALMEIDA LIMA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE TÚNEL DE VENTO PARA ENSAIOS DE
DEPOSIÇÃO DE DERIVA ASSOCIADOS À BIOINSETICIDA, ADJUVANTES E
VELOCIDADES DO VENTO**

ANÁPOLIS-GO
2023

VICTOR HUGO ALMEIDA LIMA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE TÚNEL DE VENTO PARA ENSAIOS DE
DEPOSIÇÃO DE DERIVA ASSOCIADOS À BIOINSETICIDA, ADJUVANTES E
VELOCIDADES DO VENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás - UEG, Câmpus Central Sede Anápolis – CET, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração CNPQ: Tecnologia da Produção agrícola

Orientador: Prof. Dr. Elton Fialho dos Reis

ANÁPOLIS-GO
2023

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AV645 Almeida Lima, Victor Hugo
p Projeto e construção de túnel de vento para ensaios
de deposição de deriva associados à bioinseticida,
adjuvantes e velocidades do vento / Victor Hugo
Almeida Lima; orientador Elton Fialho dos Reis. --
Anápolis, 2023.
89 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola) -- Câmpus
Central - Sede: Anápolis - CET, Universidade Estadual
de Goiás, 2023.

1. Tecnologia de aplicação. 2. Bioinsumo. 3.
Aerodinâmica. 4. Ciência agrária. I. Fialho dos Reis,
Elton, orient. II. Título.


VICTOR HUGO ALMEIDA LIMA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE TÚNEL DE VENTO PARA ENSAIOS DE
DEPOSIÇÃO DE DERIVA ASSOCIADOS À BIOINSETICIDA, ADJUVANTES E
VELOCIDADES DO VENTO**


Dissertação defendida ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, Câmpus Central
Sede Anápolis – CET, Universidade Estadual de Goiás,
para obtenção do título de mestre.

Aprovado (a): Anápolis, 22 de novembro de 2023.


Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **ELTON FIALHO DOS REIS**
Data: 11/12/2023 16:52:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Elton Fialho dos Reis
Universidade Estadual de Goiás – UEG/CET

Documento assinado digitalmente
 **JOSUE GOMES DELMOND**
Data: 11/12/2023 18:44:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Josué Gomes Delmond
Universidade Estadual de Goiás – UEG/CET

Documento assinado digitalmente
 **ARTHUR GABRIEL CALDAS LOPES**
Data: 11/12/2023 22:33:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Arthur Gabriel Caldas Lopes
Universidade Federal de Goiás - UFG

ANÁPOLIS-GO
2023

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Goiás - UEG, Campus Central – Sede Anápolis - Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo, ao departamento de Engenharia Agrícola e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

À minha família apoio e incentivo durante toda a minha vida acadêmica.

À minha namorada Thalyta de Deus Siqueira que diante a tantas dificuldades enfrentadas durante a execução de meu trabalho, sempre esteve ao meu lado, me incentivando e motivando a seguir em frente.

À minhas amigas Sabrina Dias e Bruna Mayara pelo companheirismo e amizade durante essa árdua caminhada.

Aos professores Ivano Devilla, Roberta Passini, Francisco Ramos, Maria Joselma, André Campos e Josué Gomes, por todo conhecimento compartilhado e pelo incentivo em cursar o mestrado em Engenharia Agrícola.

Ao meu orientador Elton Fialho dos Reis pela confiança, paciência e ensinamentos depositados, possibilitando meu crescimento profissional e exercendo papel fundamental no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO GERAL

É essencial a realização de pesquisas que propiciem a correta pulverização de defensivos, na quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação. Nesse contexto, objetivou-se avaliar, em túnel de vento, a deposição e deriva de calda de pulverização em diferentes condições de velocidades do vento. Para isso, o presente trabalho foi dividido em três capítulos denominados de, respectivamente, “Dimensionamento, construção e validação de um túnel de vento de circuito aberto para estudo aerodinâmico da pulverização agrícola”; “Influência da intensidade do vento na deriva de pulverizações simuladas em túnel de vento” e “Modelagem Geoestatística da influência de adjuvantes e velocidades do vento na deposição de deriva em aplicações de bioinseticida em túnel de vento”. Os experimentos foram conduzidos na Universidade Estadual de Goiás. Foi projetado e construído um Túnel de vento de circuito aberto, composto por ventilador axial, câmara de estabilização, bocal, seção de teste e difusor. Para a validação foram calculados parâmetros aerodinâmicos e a análise foi realizada por estatística descritiva. A pesquisa sobre a influência da velocidade do vento nos depósitos de deriva em diferentes distâncias horizontais, realizada em túnel de vento, foi conduzida em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 4 (velocidades do fluxo de ar x distâncias horizontais a favor do vento). O estudo da influência de adjuvantes e intensidade da velocidade do vento na deposição de calda e deriva em aplicações simuladas com bioinseticida a base de *Bacillus thuringiensis* foi realizado em túnel de vento, em delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 5 x 4 x 4. Os tratamentos foram constituídos por cinco distâncias horizontais a favor do vento (0,45m; 0,75m; 1,05m; 1,35m e 1,65m), quatro velocidades do vento (1 m s^{-1} , 2 m s^{-1} , 3 m s^{-1} e 4 m s^{-1}) e 4 formulações de calda (Água, Dipel[®], Dipel[®] + Veget'Oil[®], Dipel[®] + Break Thru[®]). Em ambos os capítulos, a deposição de deriva foi coletada utilizando alvos artificiais posicionados transversalmente ao fluxo do vento. Os dados foram obtidos por espectrofotometria e foram submetidos à análise de variância ($P < 0,05$) e quando significativos foram aplicados o Teste de Tukey e regressão, ambos a 5% de probabilidade. Para as análises foram utilizados os softwares R e Sisvar. Para a análise geoestatística foi utilizado o software GS+ Versão 7[®]. O túnel opera em boas condições, possui escoamento laminar, incompressível e o fluxo do vento apresentou baixa variação entre os pontos. A deposição de calda foi maior para distâncias mais próximas do local de pulverização. Velocidades mais altas possibilitaram obter maiores depósitos de deriva. O uso do adjuvante Break Thru[®] favoreceu menor perda por deriva nos terços superior e médio. Para o terço inferior, na velocidade de 1 m s^{-1} , a adição do adjuvante Break Thru[®] reduziu a deriva, mas a 4

m s⁻¹ o uso de adjuvantes não promoveu a redução da deposição em relação a calda preparada com o inseticida biológico. A variável analisada apresentou alto grau de dependência espacial para todos os tratamentos.

Palavras-chave: tecnologia de aplicação; *Bacillus thuringiensis*; bioinsumos; velocidade do vento.

ABSTRACT

It is essential to carry out research that provides the correct supply of pesticides, in the necessary quantity, in an economical way and with minimum contamination. In this context, the objective was to evaluate, in a wind tunnel, the position and drift of precipitation in different wind speed conditions. To this end, the present work was divided into three chapters called, respectively, “Sizing, construction and validation of an open circuit wind tunnel for the aerodynamic study of agricultural spraying”; “Influence of wind intensity on spray drift simulated in a wind tunnel” and “Geostatistical modeling of the influence of adjuvants and wind speeds on drift deposition in bioinsecticide applications in a wind tunnel”. The experiments were extended at the State University of Goiás. An open circuit wind tunnel was designed and built, comprising an axial fan, stabilization chamber, nozzle, test section and diffuser. For validation, aerodynamic parameters were calculated and the analysis was performed using descriptive statistics. Research on the influence of wind speed on drift deposits at different horizontal distances, carried out in a wind tunnel, was conducted in a completely randomized design, in a 5 x 4 factorial scheme (air flow velocities x horizontal distances downwind). The study of the influence of adjuvants and wind speed intensity on spray deposition and drift in simulated applications with bioinsecticide based on *Bacillus thuringiensis* was carried out in a wind tunnel, in a randomized design in a 5 x 4 x 4 factorial scheme. The treatments consisted of five horizontal distances downwind (0.45m; 0.75m; 1.05m; 1.35m and 1.65m), four wind speeds (1 m s⁻¹, 2 m s⁻¹, 3 m s⁻¹ and 4 m s⁻¹) and four spray formulations (Water, Dipel®, Dipel® + Veget'Oil® Dipel® + Break Thru®). In both chapters, drift deposition was collected using artificial targets positioned transverse to the wind flow. The data were obtained by spectrophotometry and were subjected to analysis of variance (P<0.05) and when significant, the Tukey test and regression were applied, both at 5% probability. The software R and Sisvar were used for the analyses. For geostatistical analysis, the GS+ Version 7® software was used. The tunnel operates in good conditions, has laminar, incompressible flow and the wind flow showed low variation between points. Spray deposition was greater at distances closer to the spraying site. Higher speeds made it possible to obtain larger drift deposits. The use of Break Thru® adjuvant favored less loss due to drift in the upper and middle thirds. For the lower third, at a speed of 1 m s⁻¹, the addition of Break Thru® adjuvant reduced drift, but at 4 m s⁻¹ the use of adjuvants did not promote a reduction in deposition in relation to the mixture prepared with the insecticide. biological. The analyzed variable showed a high degree of spatial dependence for all treatments.

Keywords: application technology; *Bacillus thuringiensis*; bioinputs; wind speed.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- (a) Esquema de túnel de vento de circuito fechado (b) Esquema de túnel de vento de circuito aberto do tipo soprador.....	21
Figura 2 - Variograma experimental, modelo teórico e seus parâmetros.....	23
Figura 3- Túnel de circuito aberto do tipo soprador e seus componentes estruturais: ventilador (1), câmara de estabilização (2), bocal (3), seção de teste (4) e difusor divergente (5).	37
Figura 4- Malha amostral com 25 pontos de medição da velocidade do vento no interior da seção de testes.....	40
Figura 5 - Layout 3D do túnel de vento de circuito aberto projetado.	42
Figura 6 – Seção de testes e aspectos dimensionais, sendo (a) a seção em perspectiva, com porta destacada e (b) vista frontal.....	43
Figura 7- (a) Perfil gráfico do Polinômio de quinta ordem de Bell-Mehta, conforme Equação 2, e (b) Perspectiva da chapa lateral.	43
Figura 8 - Difusor divergente e aspectos dimensionais, sendo (a) a seção em perspectiva e (b) vista frontal.....	44
Figura 9 – (a) Vista frontal da colmeia instalada na câmara de estabilização e (b) vista lateral da colmeia posicionada em seguida ao ventilador.....	45
Figura 10 - Dimensões do Túnel de vento subsônico do tipo soprador.	45
Figura 11 – Posição dos alvos artificiais no interior da seção de testes do túnel de vento de circuito aberto.....	55
Figura 12 - Curva de calibração para concentrações conhecidas do corante Alimentício Azul Brilhante (FD&C nº 1) e equação de regressão da reta obtida.	56
Figura 13 -(a) Depósitos de deriva em função das distâncias dos alvos em relação a ponta de pulverização e (b) Depósitos de deriva em função das distâncias horizontais a favor do vento.	59
Figura 14 - Valores médios de deriva expressos em porcentagem de deriva (médias \pm IC95%) para o Terço superior (a), Terço médio (b), e Terço inferior (c) em função das diferentes distâncias horizontais a favor do vento e velocidades do vento.	60
Figura 15 - Curva de calibração para concentrações conhecidas do corante Alimentício Azul Brilhante (FD&C nº 1) e equação de regressão da reta obtida.	71
Figura 16 - Malha amostral para modelagem de semivariogramas da deposição de calda em túnel de vento.....	73

Figura 17 - (a) Volume retido dos alvos em função das distâncias dos alvos em relação ao ponto de pulverização e (b) Volume retido dos alvos em relação a velocidade do fluxo de ar no interior da seção de teste.....	75
Figura 18 - Análise de regressão da velocidade do fluxo de ar e caldas de pulverização para os depósitos de deriva no terço inferior.	76
Figura 19 - Valores médios de porcentagem de deposição de calda de pulverização nos alvos artificiais, posicionados no terço inferior, expressos em porcentagem de deriva (médias \pm IC95%) para as diferentes caldas de pulverização em ambiente controlado com diferentes velocidades do vento.	77
Figura 20 - Mapas de depósitos de deriva (μ L) gerados pelo método de interpolação da Krigagem ordinária.....	82
Figura 21 - Mapas de depósitos de deriva (μ L) gerados pelo método de interpolação da Krigagem ordinária.....	83
Figura 22 - Mapas de depósitos de deriva (μ L) gerados pelo método de interpolação da Krigagem ordinária.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes constituintes de um túnel de vento de circuito aberto e suas respectivas funções.....	22
Tabela 2 - Parâmetros, equações e faixas recomendáveis para o dimensionamento da colmeia e tela.....	38
Tabela 3 - Análise descritiva da velocidade do fluxo de ar em diferentes seções transversais definidas a partir de distâncias (0,00; 0,90 e 1,80 m) em relação a entrada da seção de testes de um túnel de vento de circuito aberto e parâmetros aerodinâmicas.....	46
Tabela 4 - Síntese da análise de variância com os valores do Quadrado Médio para a deriva no Terço superior (TS), Terço médio (TM) e Terço inferior (TI).....	58
Tabela 5 - Descrição das caldas utilizadas no experimento, conforme a bula dos produtos...	70
Tabela 6 - Síntese da análise de variância para o Terço superior (TS), Terço médio (TM) e Terço inferior (TI) para as diferentes velocidades, distâncias horizontais e calda de pulverização.....	74
Tabela 7 - Médias dos volumes retidos no Terço superior (TS) e Terço inferior (TI), em μL , para as diferentes constituições de calda.	75
Tabela 8 - Desdobramento da interação velocidade do fluxo de ar e caldas de pulverização para a deposição de calda no terço inferior.	76
Tabela 9 - Estatística descritiva da deposição de calda, no interior do túnel de vento, em função da calda de pulverização e velocidade do vento.....	78
Tabela 10 - Modelos e parâmetros dos semivariogramas da deposição de calda no interior do túnel de vento em função da calda de pulverização e velocidade vento.	80

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS	16
2.2 DERIVA E VELOCIDADE DO VENTO	16
2.3 PONTAS DE PULVERIZAÇÃO	18
2.4 ADJUVANTES	18
2.5 DEFENSIVOS BIOLÓGICOS	20
2.6 TÚNEL DE VENTO	21
2.7 GEOESTATÍSTICA	22
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
4. INTRODUÇÃO	35
5 MATERIAL E MÉTODOS	37
5.1 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DO TÚNEL DE VENTO DE CIRCUITO ABERTO	37
5.2 VALIDAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO	39
5.2.1 Local do experimento	39
5.2.2 Escoamento e qualidade do fluxo do vento	39
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1 ASPECTOS DIMENSIONAIS DO TÚNEL DE VENTO DE CIRCUITO ABERTO	42
6.2 CONSTRUÇÃO DO TÚNEL DE VENTO	45
6.3 ESTUDO AERODINÂMICO DO TÚNEL DE VENTO	46
7 CONCLUSÃO	48
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
9. INTRODUÇÃO	53
10. MATERIAL E MÉTODOS	54
10.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	54
10.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	54
10.3 CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS DE DERIVA DE PULVERIZAÇÃO	54
10.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	57
11. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
12. CONCLUSÃO	62

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
14. INTRODUÇÃO	67
15 MATERIAL E MÉTODOS	69
15.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL EXPERIMENTAL.....	69
15.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	69
15.3 CALDAS DE PULVERIZAÇÃO.....	69
15.4 CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS DE DERIVA DE PULVERIZAÇÃO.....	70
15.5 ANÁLISE DOS DADOS.....	72
15.5.1 Estatística clássica	72
15.5.2 Análise Geoestatística	72
16 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
16.1 ESTATÍSTICA CLÁSSICA.....	74
16.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA DERIVA.....	78
17 CONCLUSÃO	85
18 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1. INTRODUÇÃO GERAL

O principal objetivo do setor agrícola no século XXI é o aumentar a produtividade de alimentos a fim de atender a demanda da sociedade com sustentabilidade. Os defensivos agrícolas são substâncias com variados grau de toxicidade e que podem desencadear diversos impactos negativos quando utilizados de forma indiscriminada e inadequada (FREITAS et al., 2022; LAMICHHANE, 2017; SIMON, 2021).

De acordo com Heidary et al. (2014), a operação de pulverização é acompanhada por perdas de produto, chamadas de deriva, geradas pelo arraste de gotas pulverizadas para fora do alvo desejado. Diante desse ponto, a consciência dos riscos desse fenômeno e estudos que visem minimizar esse principal paradigma enfrentado pela agricultura moderna são, portanto, primordiais para reduzir a contaminação de pessoas, fauna e flora e, ao mesmo tempo, promover uma aplicação eficiente (HILZ e VERMEER, 2013).

Assim, os pilares da aplicação estão relacionados à correta deposição do ingrediente ativo no alvo, mínima contaminação e que a prática seja economicamente viável. Para que o equilíbrio entre esses fatores garanta uma aplicação eficiente, que é entendida como a distribuição uniforme do produto no alvo, a tecnologia dispõe de diversos parâmetros, como adjuvantes, túneis de vento, defensivos biológicos e recomendações para parâmetros operacionais e condições ambientais (AMLER, 2021; GITIRANA NETO et al. 2016; MACIEL et al., 2018; NASCIMENTO et al. 2022; PRADO, 2017; VIEIRA et al, 2019).

O uso de adjuvantes pode melhorar a qualidade de aplicações, mas a interação adjuvante e produto é um processo complexo, que envolve muitos aspectos e varia para cada condição testada (MENDONÇA et al., 2007). De acordo com Caixeta et al. (2019), a maioria dos estudos com adjuvantes está relacionada a aplicações de herbicidas. Desse modo, há necessidade de estudos para avaliar o comportamento de adjuvantes em associação com outras classes de defensivos agrícolas, como os inseticidas biológicos que representam um produto alternativo ao uso de agroquímicos.

Segundo Santos et al. (2019), os bioinseticidas possuem a bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt) como o principal microrganismo utilizado na formulação, por ser capaz de liberar toxinas nocivas para diversos insetos, e a sua eficácia depende de parâmetros da aplicação, como o uso adição de adjuvantes. Contudo, o estudo da deposição de calda e deriva proveniente da interação inseticida biológico e adjuvantes é de difícil quantificação à campo devido a não homogeneidade das condições climáticas, em especial a velocidade do vento. À vista disso, esse estudo, para fins de comparação e repetibilidade, devem ser realizados em túneis de vento.

Tendo em vista a demanda por pesquisas científicas para auxiliarem na tecnologia de aplicação, em especial para interação entre velocidade do vento, produtos biológicos e adjuvantes, este trabalho teve como objetivo avaliar a deriva de pulverização em diferentes condições de velocidades do vento, sendo dividido em três capítulos denominados de, respectivamente, “Dimensionamento, construção e validação de um túnel de vento de circuito aberto para estudo aerodinâmico da pulverização agrícola”; “Influência da intensidade do vento na deriva de pulverizações simuladas em túnel de vento” e “Modelagem geoestatística da influência de adjuvantes e velocidades do vento na deriva em aplicações de bioinseticida em túnel de vento”.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS

O conceito tecnologia consiste na aplicação de conhecimentos científicos e tecnológicos de um processo produtivo. Para tanto, por analogia, Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas consiste na utilização de conhecimentos que propiciem a correta deposição do produto biologicamente ativo no alvo, na quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação, evitando efeitos negativos ao ambiente e garantindo a sustentabilidade do sistema (CONTIERO et al., 2018).

De acordo com Machado et al. (2019), os produtores levam em consideração o produto fitossanitário a ser aplicado e dão pouca importância à tecnologia de aplicação, sendo que o conhecimento do fitossanitário não garante a eficiência da pulverização, uma vez que os mesmos dependem da forma aplicação. Assim, conforme Vieira et al. (2019), a aplicação de agrotóxicos realizada de forma inadequada pode não ser suficiente e seja necessária uma nova para solucionar o mesmo problema, onerando os custos de produção.

Em face desse cenário, o desenvolvimento de novas tecnologias de aplicação de defensivos agrícolas visa à redução da contaminação ambiental, da deriva, do volume de calda, com aumento da segurança do aplicador e melhoria da deposição da calda, para melhor qualidade da pulverização (BAESSO et al., 2014). Conforme Santiago e Guazzelli (2021), os avanços nas tecnologias de aplicação têm proporcionado melhor condução da calda ao alvo, em grande parte por diminuição da deriva, o que acaba por contribuir com o aumento da produtividade agrícola.

Em contrapartida, apesar de ser constantemente estudada e atenuada, a deriva da solução de pulverização ainda se configura como um grande problema da agricultura moderna. Esse fenômeno ocorre quando a trajetória das gotas é desviada do alvo biológico, gerando a perda de produto (PEREIRA, 2019). Para a redução dessas perdas, Godinho Junior et al. (2020) elencam que é fundamental o uso adequado da tecnologia de aplicação, selecionando a ponta de pulverização, a pressão de trabalho e a calda mais adequada a cada situação.

2.2 DERIVA E VELOCIDADE DO VENTO

A deriva em pulverização é definida como o movimento físico do produto fitossanitário através do ar no momento da aplicação, ou logo após ela, para fora do alvo escolhido, ocasionando perdas de produto e contaminação ambiental. Esse fenômeno pode ser dividido em endoderiva, que corresponde a perdas dentro da própria cultura pulverizada, como a deposição no solo, e exoderiva, que corresponde ao material arrastado para fora da região

tratada. Em suma, a intensidade da deriva relaciona-se ao tamanho da gota, a distância em que foi liberada em relação ao alvo, à sua velocidade de lançamento e à velocidade do vento (CONTIERO et al., 2018; THEBALDI et al., 2009).

Após a pulverização, a movimentação de gotas dependerá das forças de arraste que atuarão na aceleração ou desaceleração, ou seja, assim que é liberada no meio, a gota sofre aceleração, proveniente da força de gravidade, até que esta seja contrabalanceada pelas forças aerodinâmicas de arraste, fazendo com que a queda se dê a uma velocidade constante, denominada de terminal (MATTHEWS, 2000). Para Baio et al. (2015), gotas pequenas são mais sensíveis para o arraste além do alvo, enquanto gotas médias e grossas são mais seguras em aplicações, mas podem não favorecer uma pulverização eficiente.

Segundo Cunha (2008), o tamanho das gotas pulverizadas e a velocidade do vento no momento da aplicação são os fatores que mais influenciaram a distância da deriva. Para o estudo desses fatores e a quantificação dos depósitos de deriva pode ser utilizada a análise do espectro de gotas realizada por meio de sistemas analisadores de partículas a laser, o método baseado em medições em túneis de vento, e a metodologia baseada de quantificação da deriva em campo (CRAUSE et al., 2020).

Na prática, a velocidade do vento no momento de aplicações agrícolas não deve ser pensada como variável climática isolada, sendo de suma importância o conhecimento da relação desse fator com a temperatura e umidade relativa do ar. Para Balan et al. (2008), em muitas situações, o ingrediente ativo se perde, por evaporação, devido as pulverizações serem realizadas em condições de alta temperatura e umidade relativa do ar baixa.

Estima-se que a condição ideal de vento para aplicação é entre 3 km/h a 8 km/h e a ausência, ao contrário do que se projeta, pode ser prejudicial, em função da chance de ocorrer ar aquecido ascendente, dificultando a deposição das gotas pequenas. Quanto a temperatura, valores menores que 10 °C e acima de 30 °C podem dificultar a absorção e a translocação dos defensivos agrícolas. Para a umidade relativa do ar, a situação é ideal quando está acima de 60% (ADEGAS e GAZZIEIRO, 2020; CAMOLESE e BAIIO, 2016).

Além do mais, não é aconselhável a pulverização seja realizada na ausência de ventos e em condições de baixas velocidades, visto que nessas condições pode ocorrer a inversão térmica, como consequência a flutuação das gotas sobre as áreas pulverizadas. No caso das pulverizações, as partículas não conseguem fixar em quantidade sobre o alvo, as gotas não conseguem se dispersar, permanecendo em uma massa concentrada, tornando ineficiente a aplicação e contribuindo para riscos de contaminação ambiental e aumento do custo de controle. (CHECHETTO, 2011; SANTOS, 2003; NICOLAI, 2020).

2.3 PONTAS DE PULVERIZAÇÃO

A pulverização hidráulica é uma das técnicas de aplicação mais utilizadas na agricultura devido à sua praticidade e flexibilidade. Referente à emissão de gotas de pulverização, as pontas de pulverização são o principal componente do equipamento pulverizador, influenciando no espectro de gotas pulverizadas, determinando a vazão, diâmetro de gota e uniformidade. Para a correta seleção das pontas de pulverização, é necessário conhecer diversas especificações a fim de se garantir uma aplicação eficiente, isto é, que atinja o alvo a ser controlado e evite perdas para o meio (QUEIROZ et al., 2018; RIBEIRO et al., 2023).

Uma das maneiras de minimizar tais perdas é selecionar corretamente o tipo de ponta de modo que adeque o tamanho das gotas com as condições meteorológicas existentes na hora da aplicação (KULLMANN e DIAS, 2020). Dessa maneira, deve-se optar por modelos de pontas que proporcionem espectro e distribuição de gotas mais uniforme, ou seja, que se produzam gotas aproximadamente do mesmo tamanho. Para isso, é necessário conhecer as características técnicas das pontas, visando à seleção daquelas que produzam gotas mais uniformes e menos suscetíveis a processo de perdas como deriva (VIANA et al., 2010).

Existem no mercado vários tipos de pontas hidráulicas, com usos definidos para diferentes condições. Entre as mais usadas, destacam-se as de jato cônico vazio e as de jato plano, as quais, dependendo da pressão e do ângulo de abertura, produzem gotas com alto potencial de deriva. Objetivando sanar o problema, fabricantes lançaram no mercado pontas com potencial antideriva, que possuem em sua estrutura um pré-orifício, localizado antes da abertura para a formação do jato, que promove a formação de gotas de maior diâmetro, sendo menos susceptíveis ao arraste para além do alvo (CUNHA et al., 2005).

2.4 ADJUVANTES

Algumas tecnologias, como o uso de adjuvantes em caldas de pulverização, têm sido pesquisadas e incorporadas à aplicação de produtos fitossanitários, objetivando melhorar a eficiência da aplicação de defensivos agrícolas e reduzir os impactos ambientais. Nesse sentido, conforme o Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, entende-se por adjuvante os produtos químicos que são adicionados com produtos formulados com o intuito de minimizar as perdas por deriva, escorrimento evaporação, formação de espuma e má qualidade da água (BRASIL, 2002; CAIXETA et al., 2019; SASAKI, 2015).

Esses insumos são divididos em surfactantes e aditivos. Os surfactantes, que modificam as propriedades de superfície dos líquidos, são classificados de acordo com suas principais funcionalidades em espalhantes, molhantes, emulsificantes, detergentes, dispersantes e

aderentes. Quanto aos aditivos, que influenciam a absorção devido à sua ação direta sobre a cutícula vegetal, se dividem em óleos minerais ou vegetais, sulfato de amônio e ureia (VARGAS e ROMAN, 2006).

A adição de adjuvantes a caldas de pulverização possibilita melhoras no molhamento, na aderência, no espalhamento, e na redução de espuma, da evaporação, volatilização e deriva. Esta mistura de adjuvante com defensivos agrícolas pode reduzir a quantidade de produtos utilizados na pulverização, devido ao aumento da dispersão de gotículas na superfície das folhas, aumentando a área de deposição por unidade de volume de calda por folhas (CUNHA e PERES, 2010; MARTINI, 2015; GIMENES et al., 2013).

Por outro lado, o efeito da adição de adjuvantes junto à calda de aplicação é um processo complexo e pode alterar a eficiência desse controle (BAIO et al., 2015). Para exemplo dessa complexidade, Cunha et al. (2017) afirma que o uso de adjuvantes pode alterar as propriedades físico-químicas das caldas de produtos fitossanitários, contribuindo com a qualidade da aplicação, mas não é possível estabelecer o efeito final do insumo sem considerar a composição química do fitossanitário, seja ele herbicida, inseticida ou fungicida.

As características físico-químicas da calda são fatores que influem diretamente no espectro de gotas formado por pontas de pulverização, sendo as principais a viscosidade e tensão superficial. Para tanto, alterações das propriedades da calda de pulverização podem desencadear alterações de parâmetros técnicos, que resultará na variação da deriva após o processo de pulverização. (MOTA E ANTUNIASSI, 2013; GANDOLFO et al., 2014).

Assim, Roman et al. (2005) afirmam que alguns adjuvantes são usados para aumentar o diâmetro das gotas pulverizadas. Neste caso, o produto aumenta a viscosidade da calda tornando o jato de pulverização mais estável e com maior resistência à quebra. Para tanto, os surfactantes possuem efeito contrário, visto que agem reduzindo a tensão superficial fazendo decrescer a estabilidade do líquido na saída do bico, resultando em gotas menores. Por outro lado, os óleos aumentam o tamanho de gotas, podendo variar consideravelmente, assim como os surfactantes, de produto para produto.

Em estudo, objetivando estudar a correlação entre tamanhos de gotas com a tensão superficial e viscosidade das caldas constituídas com surfactante e óleo vegetal, Panini et al. (2020), constataram que caldas de maior viscosidade, independente do adjuvante utilizado, geraram gotas com maior velocidade, enquanto caldas de maior tensão superficial geraram gotas de menor velocidade. Logo, as gotas de maior viscosidade necessitam de um tempo menor, já que apresentam maior velocidade, para que a gota percorra o trajeto e atinja o alvo, minimizando as chances de sofrer deriva.

2.5 DEFENSIVOS BIOLÓGICOS

Segundo a Política Nacional de Bioinsumos, instituído pelo decreto nº 10.375, de 2020, bioinsumo é todo produto, processo ou a tecnologia, seja de origem vegetal, animal ou microbiana, utilizados na produção, armazenamento e beneficiamento de produtos obtidos através da agropecuária, em sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que influenciem, de forma positiva, no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos (BRASIL, 2020).

Nesse contexto, o termo bioinsumo é um produto de base biológica e abarca diversos tipos e finalidades, tais como bioinseticidas, biofertilizantes, inoculantes e outros. Em relação ao mercado de biodefensivos, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento apresentou que, para o ano de 2019, houve um saldo positivo de 17% no comércio global dos produtos, enquanto, para o mesmo período considerado, o de agroquímicos acumulou um recuo mundial de 6% em sua produção. Segundo essa tendência, o mesmo órgão federal, no ano de 2022 foram registrados mais 112 defensivos biológicos, totalizando um montante de 615 produtos comerciais de baixo impacto (MAPA, 2021).

Entre os produtos biológicos registrados para o controle de insetos, destacam-se formulações contendo a bactéria *Bacillus thuringiensis* como princípio ativo. A bactéria Bt possui habilidade de formar cristais proteicos durante a fase estacionária e/ou de esporulação, que quando degradados por enzimas proteolíticas, liberam proteínas tóxicas, chamadas delta-endotoxinas, cuja ação ocorre no interior do alvo, ou seja, no sobre trato digestivo dos insetos (RAYMOND, 2010; VALICENTE, 2009).

O *Bacillus thuringiensis* é o mais antigo ativo biológico utilizado nas formulações de bioinseticidas, entretanto o registro de produtos à base desses microrganismos, no Brasil, é algo recente. Atualmente, registrados no Brasil, são 37 produtos comerciais, com variados tipos de formulações, contendo esse ingrediente ativo em sua composição. No tocante a classificação de periculosidade ambiental, todos os inseticidas biológicos recebem a classe toxicológica IV, isto é, produtos que oferecem pouco perigo ao meio ambiente. Quanto a classificação toxicológica, a maior parte são enquadrados na categoria 5, ou seja, são improváveis de causar dano agudo ao operador (AGROFIT, 2023; OLIVEIRA FILHO et al., 2004).

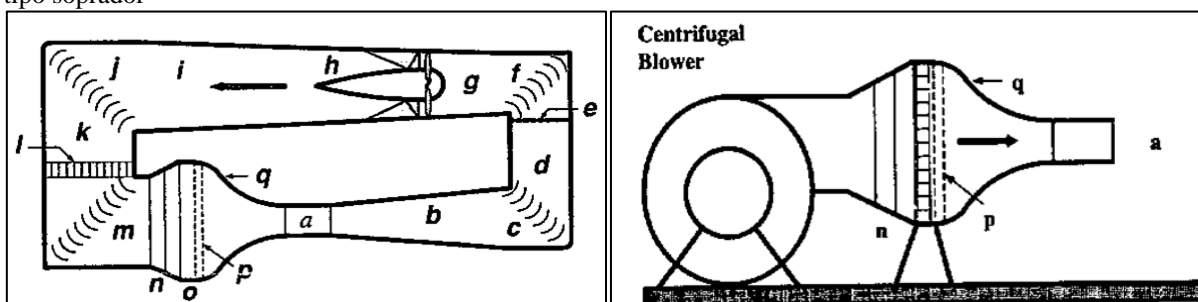
Em síntese, os bioinsumos correspondem a possibilidade de reconciliar interesses dentro do âmbito agropecuário, oferecendo soluções inovadoras para responder a um crescimento cada vez maior por parte dos consumidores e setor produtivo que exigem alternativas ao uso de agroquímicos custosos do ponto de vista econômico, ambiental e de saúde (VIDAL et al., 2020).

2.6 TÚNEL DE VENTO

Os túneis de vento são estruturas utilizados em pesquisas com o propósito de estudar a influência do fluxo de ar em objetos sólidos, de modo que seus componentes são arranjados a fornecer condições de escoamento com velocidade aproximadamente constante e com baixa turbulência na seção de teste. Existem diversos tipos de túneis de vento e são, geralmente, classificados com relação a sua geometria, isto é, a forma do circuito e a velocidade na seção de testes. Dessa maneira, a configuração estrutural desses dispositivos vai de acordo com a finalidade, o espaço, o tempo e a condição financeira, podendo ser construídos de maneira simples ou mais complexos (COUTINHO, 2014; SOLIMAN JÚNIOR, 2019).

Em relação ao tipo de circuito, existem os túneis de circuito aberto e circuito fechado. Nos de circuito aberto o ar não recircula em seu interior, o que acaba os tornando mais simples e baratos, mas essa configuração são mais barulhentos e são suscetíveis as condições do ambiente que está inserido. Por outro lado, túnel de vento de circuito fechado (Figura 1a) é uma estrutura mais complexa, onde o ar recircula em seu interior. Esses túneis são mais eficientes, isto é, gastam menos energia para obter a velocidade exigida na seção de testes, provocam menos ruídos e são pouco influenciados pelo menos externo (QUEIROGA, 2022).

Figura 1- (a) Esquema de túnel de vento de circuito fechado (b) Esquema de túnel de vento de circuito aberto do tipo soprador



Fonte: Barlow et al. (1999).

De acordo Araripe e Matos (2016), os túneis de circuito aberto são subdivididos quanto ao sentido do escoamento. Os de circuito aberto do tipo soprador (Figura 1b) possuem um sistema de propulsão, ou seja, um ventilador posicionado na entrada da estrutura que impulsiona o vento diretamente para dentro do sistema. Em contrapartida, para os de circuito aberto do tipo sugador é utilizado um exaustor posicionado na saída do sistema, responsável por extrair o ar de dentro do túnel e compelindo o fluxo de dentro para fora (SANTOS et al, 2014).

Os principais componentes de um túnel de vento são o ventilador, câmara de estabilização, bocal de contração, seção de teste e difusor divergente. As funções de cada parte constituinte de um túnel de vento de circuito aberto do tipo soprador estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Componentes constituintes de um túnel de vento de circuito aberto e suas respectivas funções.

Componentes	Função
Ventilador	É o componente que fornece energia ao sistema
Câmara de estabilização	É um duto de seção de área constante, no qual está instalada a honeycomb.
Honeycomb ou colmeia	É um dispositivo responsável por corrigir a direção de escoamento, isto é uniformizar o escoamento, reduzindo as vorticidades.
Bocal de contração	Estrutura responsável por aumentar a velocidade na seção de testes, em compensação há uma queda de pressão entre a entrada e a saída dessa estrutura.
Seção de teste	Região do túnel de vento onde os corpos a serem testados são posicionados para os experimentos.
Bocal divergente	Responsável por aumentar a pressão e diminuir a velocidade do sistema em sua saída.

Fonte: AHMED, 2013; ANDERSON, 2010; BARLOW et al., 1999.

2.7 GEOESTATÍSTICA

A estatística espacial, comumente conhecida como geoestatística é uma ramificação da estatística que aplica o conceito de variáveis regionalizadas no estudo na variabilidade espacial (GREGO et al., 2014). O estudo de variáveis regionalizadas permite conhecer informações relacionadas a locais não amostrados anteriormente (SANTOS et al., 2017). Por meio das ferramentas da geoestatística é possível estudar dados que apresentem dependência espacial, sendo necessário a realização de uma amostragem georreferenciada para a aplicabilidade deste método (VIEIRA et al. 2008). Com isso, para descrever um fenômeno serão considerados a localização geográfica e a dependência espacial ou temporal (SILVA e SARNIGHAUSEN, 2021).

Uma importante ferramenta da geoestatística consiste no semivariograma, que corresponde a uma função matemática de grande importância, devido possibilitar determinar a dependência espacial entre duas variáveis aleatórias regionalizadas locais, considerando a autocorrelação em função da distância e direção destas (MELLO e OLIVEIRA, 2016). Os

semivariogramas são construídos baseando-se no cálculo da semivariância $y(h)$, para valores encontrados ao longo da distância h , separados Δh conforme Equação 1 (SANTOS et al., 2011):

$$y(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Em que:

$y(h)$ - Semivariância estimada a partir de dados experimentais;

N - Número de pares de dados para a distância de separação (h);

$Z(x_i)$ - Valor da variável medida na posição x_i ;

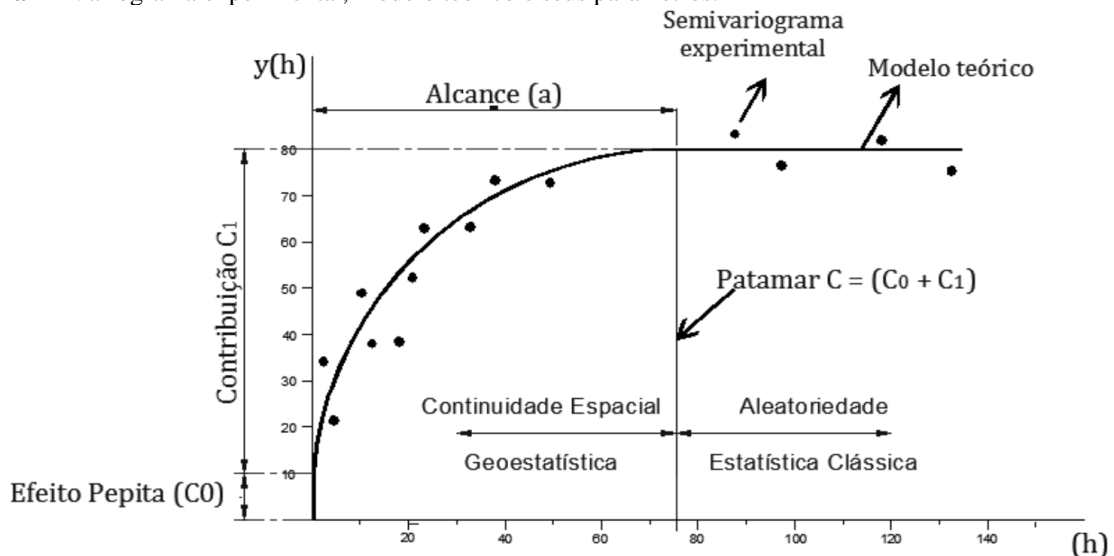
$Z(x_i+h)$ - Valor da variável medida na posição (x_i+h);

i - Posição da amostra; e

h - Distância entre duas amostras, m.

O ajuste do variograma experimental a um teórico pode ser observado na Figura 2, em que teoricamente a variância cresce com o incremento h , até alcançar um valor constante para $y(h)$ que corresponde às variações aleatórias.

Figura 2 - Variograma experimental, modelo teórico e seus parâmetros.



Fonte: Adaptado de Landim e Sturaro (2002).

O semivariograma é composto por grandezas como o alcance (a), efeito pepita (C_0), patamar (C), e a contribuição (C_1), (COSTA e CARNEIRO, 2022). Segundo Debastiani et al. (2018), o alcance indica a distância a partir da qual as amostras passam a não possuir correlação espacial e a relação entre elas torna-se aleatória e o patamar demonstra o valor segundo o qual

a função estabiliza-se no campo aleatório. Realizado um bom ajuste do semivariograma, é possível interpolar dados para qualquer local que não apresente tendências, e para isso tem-se a krigagem ordinária (NETO et al., 2020).

A krigagem ordinária é uma importante ferramenta da geoestatística, que é fundamentada no variograma, possibilitando a representação quantitativa da variação espacial de um fenômeno (SERVIDONE et al., 2019). Com a krigagem ordinária é possível estimar valores em locais não amostrados, no qual de acordo com Machado et al. (2022) este é considerada um método benéfico devido a não exigência de obtenção das demais variáveis explicativas que normalmente são necessárias em outras modelagens matemáticas.

Para Pita (2015), o uso da geoestatística pode ser utilizada para caracterizar a distribuição espacial de produtos fitossanitários coletados por algum método de amostragem, estimando-se distância potencial de arraste das gotas pulverizadas. Desse modo, o uso dessa técnica pode ajudar efetivamente reduzir o risco ou a quantidade de deriva produzida nas aplicações de produtos fitossanitários e, conseqüentemente, os prejuízos causados por esse fenômeno.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEGAS, F.S.; GAZZIERO, D.L.P. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. *In: SEIXAS, C.D.S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; KRZYZANOWSKI, F.C.; LEITE, R.M.V.B. DE C. Tecnologias de produção da soja*. 21. ed., Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 281-292.

AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, 2014. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 02 jan. 2023.

AHMED, N. A. **Wind Tunnel Designs and Their Diverse Engineering Applications**. 1. ed. [S.l.]: Janeza Trdine 9, 2013. 232p.

AMLER, D.A.; AMLER, F.F.; SILVA, J.S. DA; GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO, A. M. DE. Deposição de calda na cultura da cebola e no solo em função da ponta de pulverização e da pressão de trabalho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.20, n.2, p. 142 - 148, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811712022021142>. Acesso em: 10 set. 2023.

ANDERSON JÚNIOR, J.D. **Fundamentals of Aerodynamics**. 5. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2010. 1152p.

ARARIPE, R.S.; MATOS, F.F.S. Avaliação da curvatura do bocal de um túnel de vento subsônico e aberto, utilizando simulação numérica. **Conexão Ciência e Tecnologia**, Fortaleza/CE, v.10, n.5, p. 34 - 42, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.21439/conexoes.v10i5.1170>. Acesso em: 22 dez. 2022.

BAESSO, M.M.; TEXEIRA, M.M.; RUAS, R.A.A.; BAESSO, R.C.E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.61, n.1, p. 780-785, nov/dez, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000003>. Acesso em: 26 dez. 2022.

BALAN, M.G.; Abi-Saab, O.J.G.; SILVA, C.G. DA; RIO, A. DO. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.2, p. 293-298, jun., 2008. Disponível: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2008v29n2p293>. Acesso em: 02 jan. 2023.

BAIO, F.H.R., GABRIEL, R.R.F.; CAMOLESE, H. DA S. Changing the physical and chemical properties in the application containing adjuvants. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 9, n. 2, p. 151–161, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18011/bioeng2015v9n2p151-161>. Acesso em: 02 jan. 2023.

BAIO, F.H.R.; SCARPIN, I.M.; SILVA, E.E. DA. Water sensitive paper and alternative photographic in deposition tests of droplets. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 9, n. 4, p. 339–447, dez. 2015. Disponível em: [10.18011/bioeng2015v9n4p339-347](https://doi.org/10.18011/bioeng2015v9n4p339-347). Acesso em: 02 jan. 2023.

BARLOW, J.B.; RAE, W.H.; POPE, A. **Low-speed Wind Tunnel Testing**. 1.ed. New York: John Wiley Sons, 1999. 713p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Decreto n. 4.074, de 4 de janeiro de 2002**. Regulamenta a Lei n. 7.802, de 11 de julho de 1989. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4074.htm. Acesso em: 02 jan. 2023.

BRASIL. **Decreto n. 10.375, de 26 de maio de 2020**. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Brasília: Poder Executivo, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10375.htm. Acesso em: 02 jan. 2023.

CAIXETA, J.P.L.; FRANCO JÚNIOR, K.S.; BRIGANTE, G.P.; DIAS, M.S. Efeito de adjuvante associado a herbicidas no controle de *digitaria insularis* L. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v.18, n.4, p. 1-6, out.-dez. 2019. Disponível: <https://doi.org/10.7824/rbh.v18i4.672>. Acesso em: 03 jan. 2023.

CAMOLESE, H. DA S.; BAILO, F.H.R. Deposição de calda aplicada em volume reduzido no período noturno na cultura do algodoeiro. **Revista Agrarian**, Dourados, v.9, n.34, p. 365-373, fev., 2016. Disponível: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v9i34.4423>. Acesso em: 02 jan. 2023.

CHECHETTO, R. G. **Potencial de redução da deriva em função de adjuvantes e pontas de pulverização**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual paulista, Botucatu, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90471>. Acesso em: 4 set. 2023.

CONTIERO, R.L.; BIFFE, D.F.; CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. In: BRANDÃO FILHO; J.U.T., FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. 21. ed., Maringá: EDUEM, 2018. p.401-449.

COSTA, L. DE V.; PAULO ELIAS CARNEIRO PEREIRA. Efeito do formato do volume de busca na modelagem geológica de um depósito de fosfato utilizando krigagem indicadora. **Revista Cereus**, v. 14, n. 4, p. 12-26, 20 dez. 2022. Disponível: DOI10.18605/2175-7275/cereus.v14n4p12-26. Acesso em: 02 jan. 2023.

COUTINHO, F.R. **Projeto de um túnel de vento subsônico do tipo soprador**. 2014. 81 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012170.pdf>. Acesso em: 4 set. 2023.

CRAUSE, D. H., VITÓRIA, E. L. DA; SOELA, D. M., OLIVEIRA, D. A. DE, BATISTA, A. G., LACERDA, E. DAS G. Estimativa de deriva na aplicação de defensivos agrícolas no café Conilon. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n. 4, p. 85-94, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/31167>. Acesso em: 10 set. 2023.

CUNHA, J. P. A. R. DA. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500039>. Acesso em: 02 jan. 2023.

CUNHA, J.P.A.R.; ALVES, G.S.; MARQUES, R.S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 261-270, abr-jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170030>. Acesso em: 03 jan. 2023.

CUNHA, J.P.A.R.; PERES, T.C.M. Influência de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.32, n.4, p.597-602, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.2502>. Acesso em: 03 jan. 2023.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; VIEIRA, R.F. Avaliação de pontas de pulverização hidráulicas na aplicação de fungicida em feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, p.1069-1074, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000500013>. Acesso em: 03 jan. 2023.

CUNHA NETO, E.M.; ROCHA, J.E.C.; BEZERRA, J.C.F.; MELO, M.R.S.; ALVES, G.A.R. Técnicas de interpolação geoespacial na estimativa do volume de *Eucalyptus* spp. na mesorregião sudeste paraense. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0005>. Acesso em: 03 jan. 2023.

DEBASTIANI, A.B.; VASCONCELLOS, B.N.; MARTINS, A.P.M.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R. Predições geoestatísticas e zonas de incerteza no inventário de povoamentos florestais. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v.5, n.1, p.283-287, 2018. Disponível em: [10.34062/afs.v5i1.5692](https://doi.org/10.34062/afs.v5i1.5692). Acesso em: 03 jan. 2023.

ELLIS, M.C.B.; LANE, A.G.; O'Sullivan, C.M. Wind tunnel investigation of the ability of drift-reducing nozzles to provide mitigation measures for bystander exposure to pesticides. **Biosystems Engineering**, v. 202, n. 1, p. 152-16, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.12.008>. Acesso em: 03 jan. 2023.

FREITAS, L.M.DE; BONFATTI, R.; VASCONCELLOS, L.C.F. DE. Impactos da pulverização aérea de agrotóxicos em uma comunidade rural em contexto de conflito. **Saúde e debate**, Rio de Janeiro, v.45, n. especial, p.224-235, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042022E215>. Acesso em: 10 set. 2023.

GANDOLGO, M.A.; CARVALHO, F.K.; CHECHETTO, R.G.; GANDOLFO, U.D.; MORAES, E.D. DE. Effect of working pressure at different spray nozzles on drift quantification in wind tunnel. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.66-73, jan.-fev. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000100008>. Acesso em: 03 jan. 2023.

GIMENES, M.J.; ZHU, H.; C.G. RAETANO, C.G.; OLIVEIRA, R.B. Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. **Crop Protection**, Amsterdam, v.44, n.2, p.84-90, fev. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.022>. Acesso em: 03 jan. 2023.

GITIRANA NETO, J.; CUNHA, J.P.A.R.; MARQUES, R.S.; LASMAR, O.; BORGES, E.B. Deposição de calda promovida por pulverizadores empregados na cafeicultura de montanha.

Coffee Science, Lavras, v. 11, n.2, p. 267-275, 2016. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/807>. Acesso em: 10 set. 2023.

GODINHO JÚNIOR, J.D.; VIEIRA, L.C.; RUAS, A.A.; CARVALHO FILHO, A.; FARIA, V.R.; DEUS, P.I. Pontas de pulverização, pressões de trabalho e uso de adjuvante na redução da deriva de pulverização do herbicida 2,4-D. **Revista da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**, Viçosa, v.38, n.1, p. 1-7, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100070>. Acesso em: 26 dez. 2022.

GREGO, C.R.; OLIVEIRA, R.P.; VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. IN: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; INAMASU, R.Y. (Eds.). **Agricultura de precisão: Resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 5, p. 74-83.

HILZ, E.; VERMEER, A.W.P. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. **Crop Protection**, v.44, n.1, p.75-83, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.020>. Acesso em: 10 set. 2023.

KULLMANN, S. E.; DIAS, V. DE O. Uniformidade de distribuição volumétrica de duas pontas de pulverização sob efeito da assistência a ar na barra. **Energia na Agricultura**, v.35, n.3, p. 339–351, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2020v35n3p339-351>. Acesso em: 10 set. 2023.

LAMICHHANE, J.R. Pesticide Use and Risk Reduction in European Farming Systems with IPM: An Introduction to the Special Issue. **Crop Protection**, v.97, n.1, p.1-6, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.01.017>. Acesso em: 10 set. 2023.

MACHADO, C.; GONÇALVES, FV; RIBEIRO, A.; DALMAS, FB; PARANHOS FILHO, AC Krigagem ordinária para previsão de vazão em localidades sem dados: proposta de nova metodologia. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 2, 2023.

MACHADO, T.M.; BARBOSA, M.F.; REZENDE, A.V.S. DE; BUENO, R.S. Pontas tipo cone com variação da taxa de aplicação e velocidade na cultura do algodoeiro. **Revista Nativa**, Sinop, v. 7, n. 3, p. 301-305, mai-jun. 2019. Disponível em: [10.31413/nativa.v7i3.7528](https://doi.org/10.31413/nativa.v7i3.7528). Acesso em: 26 dez. 2022.

MACIEL, C.F.S.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C.; ZOLNIER, S.; CECON, P.R. Droplet spectrum of a spray nozzle under different weather conditions. **Revista Ciência Agronômica**, v.49, n.3, p. 430-436, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180048>. Acesso em: 10 set. 2023.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. **Agricultores têm novas alternativas de defensivos de baixo impacto para controle de pragas e doenças**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/agricultores-tem-novas-alternativas-de-baixo-impacto-para-controle-de-pragas-e-doencas>. Acesso em: 02 jan. 2023.

MARTINI, A.T.; AVILA, L.A.; CAMARGO, E.R.; MOURA, D.S.; MARCHEZAN, M.G; PIVETTA, A.P. Influência de adjuvantes e pontas de pulverização na deriva de aplicação do

glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 33, n. 2, p. 375-386, 2015. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0100-83582015000200024>. Acesso em: 03 jan. 2023.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide Application Methods**. 3. ed. Malden: Blackwell, 2000. 432 p.

MELLO, Y.R.; OLIVEIRA, T.M.N. Análise Estatística e Geoestatística da Precipitação Média para o Município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 229-239, 2016. Disponível: 10.1590/0102-778631220150040. Acesso em: 03 jan. 2023.

MENDONÇA, G. DE.; RAETANO, C.G.; MENDONÇA, C.G. DE. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, número especial, p.16-23, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000200003>. Acesso em: 03 jan. 2023.

MOTA, A.A.B.; ANTUNIASSI, U.R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.28, n.1, p.1-5, jan.- mar. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2013v28n1p01-05>. Acesso em: 03 jan. 2023.

NASCIMENTO, J. DO; GONÇALVES, K.C.; NAYMA, P.D. OLIVEIRA, J.L. DE; BRAVO, A.; POLANCZYK, A. Adoption of *Bacillus thuringiensis*-based biopesticides in agricultural systems and new approaches to improve their use in Brazil. **Biological Control**, v.165, n.1, p.1-9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104792>.. Acesso em: 10 out. 2023.

NICOLAI, D.; STAHL, L.; HERZFELD, D. **Avoiding herbicide drift**. Disponível em: <https://extension.umn.edu/herbicides/too-windy-to-spray>. Acesso em: 24 de dezembro de 2020.

NUYTTENS, D.; TAYLOR, W. A.; SCHAMPHELEIRE, M. DE; VERBOVEN, P, DEKEYSER, D. Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods. **Biosystems Engineering**, v.103, n.3, p. 271-280, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.04.001>. Acesso em: 10 set. 2023.

OLIVEIRA, A.R DE; BOLLER, W.; FORCELINI, C.A.; BLUM, R.; LOPES, A. Fungicidas, doses e volumes de calda no controle químico da ferrugem da folha da aveia (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*). **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.esp., p.48-55, jan., 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000200008>. Acesso em 26 dez. 2022.

OLIVEIRA FILHO, A.M.; CUNHA, G.; OLESCOWICZ, D.; GUTZ, T.; GOEDE, M.; HARTHMANN, O.E.L.; GUERRA, N. Eficiência e deposição de herbicidas na cebola em função do adjuvante e da taxa de aplicação. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.17, n.4, p.1-7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.017>. Acesso em: 02 jan. 2023.

OLIVEIRA FILHO, E.C.; FARIA, M.R. DE; CASTRO, M.L.M.P DE. **Regulamentação de produtos biológicos para o controle de pragas agrícolas**. 1. ed. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2004. 33 p.

OLIVEIRA, R.B.; ANTUNIASSI, U. Caracterização física e química e potencial de deriva de caldas contendo surfatantes em pulverizações agrícolas. **Energia na Agricultura**, v.27, n.1, p. 138-149, jul., 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2012v27n1p138-149>. Acesso em: 10 set. 2023.

PANINI, R.L.; ANTUNIASSI, U.R.E. DE; OLIVEIRA, R.B. Velocidade de tamanho de gotas de pulverização em função da variação da tensão superficial e da viscosidade de caldas de óleo vegetal e surfactante, **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.35. n.2, p. 180–189, abr. – jun. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2020v35n2p180-189>. Acesso em: 03 jan. 2023.

PEREIRA, C.S.; KERBERA, J.C.; FIORINIB, I.V.A. Controle de plantas daninhas na cultura da soja com aplicação de Glifosato por contato com rolo de polyester. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v.18, n.4, p. 1-8, out.-dez, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v18i4.667>. Acesso em: 26 dez. 2022.

PITA, J.D. **Distribuição espacial da deriva de produtos fitossanitários em pulverizações na cultura da laranja**. 2015. 63 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/cathedra/09-12-2015/000855287.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2023.

PRADO, E.P. Papel da tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas na redução da contaminação ambiental. **Revista Agronomia Brasileira**, v.1, n.1, p.1-2, 2017. Disponível em: 10.29372/rab201715. Acesso em: 10 out. 2022.

QUEIROGA, A. DE L. **Projeto de túnel de vento**. 2022. 50 f. Monografia (Engenharia Aeroespacial) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/33510/1/2022_ArthurDeLimaQueiroga_tcc.pdf. Acesso em: 26 dez. 2022.

QUEIROZ, M.F.P.D. **Espectro de gotas e características físicas de caldas com adjuvantes tensoativos e os herbicidas glyphosate e 2, 4-D, isolados e em mistura**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/840581be-5b95-4115-9a91-b7497ac8dd9d/content>. Acesso em: 26 ago. 2023.

RAYMOND, B.; JOHNSTON, P. R.; NIELSEN-LEROUX, C.; LERECLUS, D.; CRICKMORE, N. Bacillus thuringiensis: an impotent pathogen?. **Trends in Microbiology**, v.18, n.8, p. 189-194, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2010.02.006>. Acesso em: 26 dez. 2022.

RIBEIRO, J. R. D.; RIBEIRO, L. F. O.; SANTOS, T. G. DOS; NUNES, J. G. P.; RIBEIRO JÚNIOR, M. F.; VITÓRIA, E. L. DA. Espectro de gotas da ponta de pulverização TTI-110025 sob diferentes pressões de trabalho. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v.9, n.2, p. 161–169, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i2.40825>. Acesso em: 10 set. 2023.

ROMAN, E.S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M.A.; HALL, L.; BECKIE, H.; WOLF, T.M. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. 21. ed. Passo Fundo: Editora Berthier, 2005. 152 p.

SANTIAGO, H.; GUAZZELLI, T.M. Simulação de perda por evaporação com diferentes caldas e adjuvantes agrícolas. **Revista Agrarian Academy**, Jandaia, v.8, n.16, p. 70-79, 2021. Disponível em: [10.18677/Agrarian_Academy_2021B7](https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2021B7). Acesso em: 26 dez. 2022.

SANTOS, A.R. **Elaboração de túnel de vento para aplicações de ensaios aerodinâmicos**. 2014. 39 f. Monografia (Técnico em mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São José dos Campos, 2014

SANTOS, C.A.M.D.; SANTOS, R.T.D.S.; DELLA'VECHIA, J.F.; GRIESANG, F.; POLANCZYK, R.A.; FERREIRA, M. DA C. Effect of addition of adjuvants on physical and chemical characteristics of Bt bioinsecticide mixture. **Scientific Reports**, v.9, n.12525, p.1–8, 2019. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48939-y>. Acesso em: 18 out. 2023.

SANTOS, J. M. F. Aplicação correta: eficiência, produtividade e baixo custo em culturas agrícolas. **Reunião itinerante de fitossanidade do instituto biológico**, v. 9, n.1, p. 69-113, 2003. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/files/rifib/IX_RIFIB/santos2.PDF. Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

SANTOS, K.; BERNARDI, A.; BETTIOL, G.; CRESTANA, S. Geostatistics and gis in the decision making of the use of inputs in a pasture. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 3, p. 294–307, 2017. Disponível: <https://doi.org/10.18011/bioeng2017v11n3p294-307>. Acesso em: 18 out. 2023.

SASAKI, R.S.; TEIXEIRA, M.M.; SANTIAGO, H.; MADUREIRA, R.P.; MACIEL, C.F.S.; FERNANDES, H.C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.2, p. 274-279, fev. 2015. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131604>. Acesso em: 03 jan. 2023.

SERVIDONE, L.E.; TEODORO, A.E.M.; MINCA, R.L.; SANTOS, C.A. Avaliação de risco a enchentes e inundações porrigagem ordinária em sistemas de informação geográfica. **Caderno de Geografia**, v.29, Número Especial 1, 2019. Disponível: <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2019v29nespp126>. Acesso em: 18 out. 2023.

SILVA, H.M.; SARNIGHAUSEN, V.C.R. Análise geoestatística de séries temporais de temperatura do ar, evapotranspiração de referência e precipitação pluvial. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, 2021. Disponível: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0056>. Acesso em: 18 out. 2023.

SIMON, P. C., CECATTO, A. P., REOLON-COSTA, A., CAMERA, J. N.; CATTANEO, R. Legislação e orientação técnica: perspectiva dos produtores frente ao uso de defensivos agrícolas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.7, p. 49926-49945, jul., 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n7-079>. Acesso em: 10 set. 2023.

SOLIMAN JÚNIOR, V.A. Sistema eletrônico para o controle da velocidade do escoamento no interior de um túnel de vento de circuito aberto. *In: Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica*, 4, 2019, Araraquara. **Anais [...]** Araraquara: IFG, 2019. p.1-6.

THEBALDI, M.S.; REIS, E.F.DOS; GRATÃO, P.T.S.; SANTANA, M.S. Efeito da adição de adjuvante na redução de deriva em pontas de pulverização tipo cone vazio. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v.18, n.2, p.1-6, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215937001>. Acesso em: 02 jan. 2023.

VALICENTE, F.H. Controle biológico de pragas com entomopatógenos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte – MG, v.30, n.251, p.48-55, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.017>. Acesso em: 02 jan. 2023.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Conceitos e aplicações dos adjuvantes**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10 p. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do56.htm. Acesso em: 02 jan. 2023.

VIANA, R.G.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, M.C.; TEIXEIRA, M.M.; ROSELL, J.R.; TUFFI SANTOS, L.D.; MACHADO, A.F.L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010. Disponível em: 10.1590/S0100-83582010000200024. Acesso em: 10 set. 2023.

VIDAL, M. C.; SALDANHA, R.; VERÍSSIMO, M. A. A. Bioinsumos: o programa nacional e a sua relação com a produção sustentável. *In: GINDRI, D. M.; MOREIRA, P. A. B.; VERISSIMO, M. A. A. (org.). Sanidade vegetal: uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável*. 1. ed., Florianópolis: CIDASC, 2020. p. 382-410.

VIEIRA, L.C.; GODINHO JUNIOR, J. DE D.; RUAS, R.A.A.; FARIA, V.R.; CARVALHO FILHO, A. Interações entre adjuvante e pontas hidráulicas no controle da deriva de Glifosato. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.34, n.3, p. 331-340, jul.-set, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2019v34n3p331-340>. Acesso em: 26 dez. 2022.

VIEIRA, S.R.; XAVIER, M.A.; GREGO, C.R. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. IN: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas-SP: Instituto Agrônomo, 2008. Cap. 39, p. 839-852.

CAPÍTULO 1

DIMENSIONAMENTO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO DE CIRCUITO ABERTO PARA ESTUDO AERODINÂMICO DA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA

RESUMO

Os túneis de vento são instalações que proporcionam a simulação do comportamento do ar em relação a diversas perspectivas e nas mais diversas áreas. Na agricultura, os túneis são utilizados em estudos de potencial de deriva por permitirem fornecer resultados mais precisos do que os testes realizados no campo. Nesse contexto, objetivou-se projetar, construir e validar um túnel de vento de circuito aberto, do tipo soprador, com a finalidade de realizar simulações de pulverizações agrícolas. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Central Sede Anápolis, no laboratório de Máquinas agrícolas. O túnel foi projetado com um ventilador, câmara de estabilização (colmeia e tela), bocal, seção de teste e difusor divergente. A geometria da seção transversal para todas as seções foi quadrada e os aspectos dimensionais foram obtidos embasando-se em literaturas e nos requisitos de projeto. As peças foram pré-moldadas em barras de ferro e revestidas com chapa zincada. A seção de testes foi construída com 0,60 m de aresta e 1,8 m de comprimento e um sistema de abertura composto por duas portas em acrílico cristal transparente. A sinuosidade do bocal de contração foi determinada por um polinômio de quinto grau. A colmeia foi confeccionada pela junção de 625 seções de tubos circulares de PVC com paredes de 2 mm. O sistema de propulsão do túnel foi construído com um ventilador axial, acionado por um motor trifásico com 1,5 cv e um inversor de frequência. O comprimento final do túnel foi de 4,22 m. Para validação do túnel de vento foram realizadas medições de velocidade do vento em 25 pontos tomados transversalmente ao fluxo do vento e em três distâncias horizontais em relação a entrada da seção de testes, considerando três valores de referência, sendo elas de módulo igual a 1 m s^{-1} , 3 m s^{-1} e 5 m s^{-1} . Para avaliação da uniformidade do fluxo foram calculados o número de Reynolds e Mach e medidas descritivas. O ventilador axial foi suficiente para manter a operação do túnel de vento nas condições exigidas. O túnel de vento opera em boas condições, possui escoamento laminar e incompressível e o fluxo do vento apresentou baixa variação entre os pontos.

Palavras-chave: bocal de contração; seção de testes; difusor; subsônico, escoamento.

CHAPTER 1

SIZING, CONSTRUCTION AND VALIDATION OF AN OPEN CIRCUIT WIND TUNNEL FOR AERODYNAMIC STUDY OF AGRICULTURAL SPRAYING

ABSTRACT

Wind tunnels are installations that aim to simulate air behavior from different perspectives and in the most diverse areas. In agriculture, tunnels are used in drift potential studies as they allow them to provide more accurate results than tests carried out in the field. In this context, the objective was to design, build and validate an open circuit wind tunnel, of the blower type, with the purpose of carrying out simulations of agricultural spraying. The experiment was conducted at the State University of Goiás – Central Campus Sede Anápolis, in the agricultural machinery laboratory. The tunnel was designed with a fan, stabilization chamber (honeycomb and screen), nozzle, test section and divergent diffuser. The cross-sectional geometry for all sections was square and the dimensional aspects were obtained based on literature and design requirements. The parts were pre-molded in iron bars and covered with galvanized sheet metal. The test section was built with an edge of 0.60 m and 1.8 m in length and an opening system consisting of two transparent crystal acrylic doors. The sinuosity of the contraction nozzle was determined by a fifth degree polynomial. The hive was made by joining 625 sections of circular PVC tubes with 2 mm walls. The tunnel's propulsion system was built with an axial fan, driven by a 1.5 hp three-phase motor and a frequency inverter. The final length of the tunnel was 4.22 m. To validate the wind tunnel, wind speed measurements were carried out at 25 points taken transversally to the wind flow and at three horizontal distances in relation to the entrance of the test section, considering three reference values, with modules equal to 1 m s^{-1} , 3 m s^{-1} e 5 m s^{-1} . To evaluate flow uniformity, Reynolds and Mach numbers and descriptive measurements were calculated. The axial fan was sufficient to maintain wind tunnel operation under the required conditions. The wind tunnel operates in good conditions, has laminar and incompressible flow and the wind flow showed low variation between points.

Keywords: contraction nozzle; testing section; diffuser; subsonic, flow.

4. INTRODUÇÃO

A aerodinâmica constitui-se como um dos ramos da mecânica dos fluidos que busca entender as forças que escoamentos exercem sobre os corpos que neles estão emersos. Entretanto, muitos dos estudos aerodinâmicos ainda não são produzidos adequadamente em simulações realizadas por computadores, sendo necessário ensaios em estruturas, chamadas de túneis de vento. Atualmente, são amplamente utilizados no estudo da aerodinâmica das construções, de veículos, de dispositivos especiais, bem como na agricultura para observação e análise de erosão eólica e dispersão de poluentes (CARMINATTI E KONRATH, 2019; NÚÑEZ et al., 2012).

Os túneis de vento são instalações que proporcionam a simulação do comportamento do ar em relação a diversas perspectivas, sendo possível medir velocidades globais ou localizadas, assim como o campo de pressões na superfície dos objetos. Para esse fim, as partes constituintes de um túnel de vento são especificamente projetadas de tal forma que, na seção de testes, o escoamento tenha velocidades médias invariáveis e baixo índice de turbulência (NOBRE, et al., 2022; NÚÑEZ, 2021).

A partir de seus vários tipos e modelos, os túneis de vento são classificados com base em diferentes aspectos. Quanto ao circuito, podem ser do tipo aberto, onde o ar é puxado da atmosfera e retorna ao meio de origem, ou fechado, em que o fluxo se dá de forma contínua. Outra divisão, que toma como referência a velocidade do escoamento em relação a do som, os classifica em subsônico, sônico e supersônico. Com base no escoamento, os de circuito aberto podem ser subdivididos em sopradores e sugadores (BARLOW et al., 1999; FOX et al., 2018; MEHTA; BRADSHAW, 1979).

No que tange ao uso de túneis de vento na agricultura, Oliveira et al. (2021) ressaltam que os estudos de potencial de deriva devem ser realizados nessas estruturas, pois possibilitam uma análise mais precisa devido à possibilidade de controlar elementos meteorológicos como temperatura, umidade relativa e velocidade do vento. De modo análogo, Ellis et al. (2020) ressaltam que o estudo de deriva de pulverização em túneis de vento, por ser mais repetível, é capaz de fornecer resultados mais precisos do que os testes realizados no campo.

Moreira Júnior e Antuniassi (2010) realizaram estimativas de deriva a partir da construção de um túnel de vento de dimensões reduzidas e baixo custo. Os ensaios demonstraram que o fluxo de ar apresentou baixos níveis de turbulência e alta repetibilidade dos dados. Assim, os resultados mostraram que o túnel permitiu medir variações de intensidade de depósito para as caldas de pulverização, demonstrando-se adequado para simulações de avaliação do potencial de deriva.

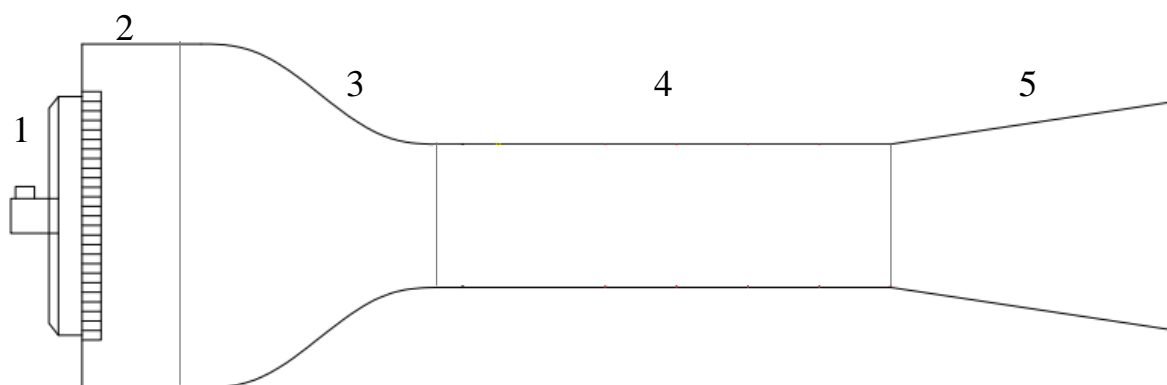
Tendo em vista a importância de túneis de vento no estudo de parâmetros da tecnologia de aplicação, este trabalho teve como objetivo projetar, construir e validar um túnel de vento de circuito aberto, do tipo soprador, com a finalidade de realizar simulações de pulverizações agrícolas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DO TÚNEL DE VENTO DE CIRCUITO ABERTO

O túnel de vento utilizado dimensionado nesse trabalho foi de circuito aberto do tipo soprador, com base na metodologia de Barlow et al. (1999). O túnel foi projetado com quatro componentes estruturais e um elemento do sistema propulsor, que são: ventilador (1), câmara de estabilização (2) (colmeia e tela), bocal (3), seção de teste (4) e difusor divergente (5), conforme Figura 3.

Figura 3- Túnel de circuito aberto do tipo soprador e seus componentes estruturais: ventilador (1), câmara de estabilização (2), bocal (3), seção de teste (4) e difusor divergente (5).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A seção de teste foi o primeiro componente a ser dimensionado no projeto. A partir da geometria da seção, sendo adotada a quadrada, foi estipulado o valor para a altura e largura, de modo que atenda as especificidades do projeto. O comprimento da seção, seguindo recomendações de Metha e Bradshaw (1979), foi determinado observando a faixa de 0,5-3 vezes o diâmetro hidráulico (D_h) da mesma seção, calculado, conforme Equação 2.

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (2)$$

Em que:

A é área da seção, em m²; e

P é perímetro da seção, em m.

Em seguida, foi dimensionado o bocal. Por ser o componente que antecede a entrada de ar na seção de teste, é o componente mais importante do túnel. A primeira recomendação é que a razão das áreas de seção transversal de entrada pela saída do bocal, chamada razão de

contração (AR) (Equação 3), deve situar-se no intervalo 6 a 10. Além do mais, recomenda-se que a razão entre o comprimento total da peça (L) e a metade da altura total de entrada (H_e) deve apresentar valor entre 0,667 e 1,79 ($0,667 < \frac{L}{H_e} < 1,79$) (BELL e MEHTA, 1988).

Outro importante parâmetro para a construção do bocal é o seu formato, para que ocorra uma contração com um mínimo de perdas em função de choques nas paredes, assim, para a construção do bocal, foi utilizado o Polinômio de Bell-Mehta de quinta ordem, apresentado na Equação 3 (BELL e MEHTA, 1988).

$$Y(X') = (H_i - H_e) [6(X')^5 - 15(X')^4 + 10(X')^3] \quad (3)$$

Em que:

H_i é a altura da entrada do bocal medida a partir da linha central de simetria, ou seja, é a metade da altura total de entrada;

H_e é a altura da saída do bocal medida a partir da linha central de simetria, ou seja, é a metade da altura total de saída;

X' é a distância horizontal medida a partir da entrada do bocal; e

Y é a altura obtida em função de X' .

Com os valores obtidos na entrada do bocal foi dimensionada a câmara de estabilização. O comprimento da câmara de estabilização foi baseado na soma do comprimento da colmeia. Os parâmetros básicos a serem determinados (Tabela 2) na seleção da colmeia são: porosidade, comprimento, diâmetro hidráulico de cada favo (célula) e a espessura da parede, onde, a razão entre o comprimento e o diâmetro deve ser entre 6 e 8, e a espessura da parede entre 0,5 mm e 2,0 mm. Para a tela foi determinada a porosidade e solidez (BARLOW et al., 1999).

Tabela 2 - Parâmetros, equações e faixas recomendáveis para o dimensionamento da colmeia e tela.

Parâmetros	Equações	Faixas recomendáveis
Porosidade da colmeia	$\beta_{colmeia} = \frac{A_{fluxo}}{A_{total}}$	$\beta_{colmeia} \geq 0,8$
Porosidade da tela	$\beta_{tela} = \left(1 - \frac{d_w}{w_m}\right)^2$	$0,50 \leq \beta_{tela} \leq 0,8$
Solidez	$\sigma_s = 1 - \beta_{tela}$	-

Nota: A_{fluxo} = área da seção transversal da colmeia; A_{total} = área da seção transversal; d_w = diâmetro do arame; w_m = largura de uma célula; σ_s = solidez.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com os valores de saída da seção de testes foi projetado o difusor, que de acordo com Mehta e Bradshaw (1979), o dimensionamento se dá em termos da razão de área (AR), na faixa de 2-4, ângulo de cone do difusor (θ_e). Os ângulos cônicos utilizados encontram-se num intervalo de 3° a 7°, sendo que a tendência atual é empregar ângulos de cone de divergência da ordem de 5° (GROFF et al., 2000).

O comprimento (L) desse componente foi determinado de acordo com a Equação 4.

$$L = (R_1) \left[\frac{\sqrt{AR} - 1}{\tan(\theta_e)} \right] \quad (4)$$

Em que:

R_1 é a metade do diâmetro hidráulico na entrada do difusor angular;

AR é a razão de área;

θ_e é o ângulo de cone do difusor, em radianos; e

\tan é a função trigonométrica tangente.

Para o sistema de propulsão, Mehta e Bradshaw (1979) sugerem o uso de ventilador centrífugo para túneis de circuito aberto do tipo soprador. Além do mais, de acordo com Pereira (2011), é recomendado que a razão entre a área da seção transversal do ventilador e a da seção de testes assumam um valor entre 2 e 3.

5.2 VALIDAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO

5.2.1 Local do experimento

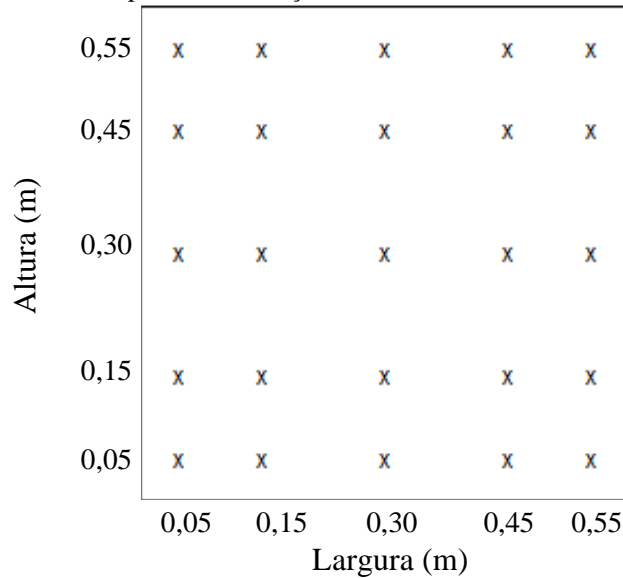
O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Central Sede Anápolis, no laboratório de Máquinas agrícolas. Durante o experimento de validação do túnel, foram monitoradas as variáveis meteorológicas temperatura e umidade relativa do ar, de forma aleatória, com auxílio de termo-higrômetro digital portátil modelo THAR185, marca Instrutherm.

5.2.2 Escoamento e qualidade do fluxo do vento

Para avaliar a uniformidade do fluxo do vento na seção de teste foram consideradas três velocidades de referência, sendo elas de módulo igual a 1 m s⁻¹, 3 m s⁻¹ e 5 m s⁻¹. Tais velocidades foram obtidas com variação das rotações do eixo do ventilador por meio de um inversor de frequência e calibradas, com termo-higro-anemômetro digital portátil modelo

THAR185, marca Instrutherm, no centro da seção de testes. Em seguida, foi considerada uma malha amostral com 25 pontos de medição na seção transversal, conforme a Figura 4.

Figura 4- Malha amostral com 25 pontos de medição da velocidade do vento no interior da seção de testes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As medições foram realizadas, em triplicata, com leituras transversais em relação ao fluxo de ar na seção de testes do túnel de vento nas posições 0,05 m; 0,15 m; 0,30 m; 0,45 m e 0,55 m de altura em relação ao piso do túnel de vento e paralelos ao fluxo de ar nas posições 0,05 m; 0,15 m; 0,30 m; 0,45 m e 0,55 m. As leituras foram realizadas 0,00 m; 0,90 m e 1,80 m de distância em relação a entrada da seção de testes.

Para obtenção dos parâmetros aerodinâmicos do túnel de vento foram consideradas, na temperatura de 20°C, a massa específica do ar igual a 1,225 kg m⁻³, a viscosidade do ar de 1,79.10⁵ Pa.s e as velocidades do vento no interior da seção de testes (FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2018). A partir dos dados foi efetuado o cálculo do número de Reynolds, expresso na Equação 5, e o número de Mach.

$$Re = \frac{D_h v \rho}{\mu} \quad (5)$$

Em que:

D_h é o diâmetro hidráulico, em m;

v é a velocidade escoamento, em m s⁻¹;

ρ é massa específica do ar, em kg m⁻³; e

μ é a viscosidade do ar ambiente, em Pa.s.

Para escoamento sobre uma placa plana, como é o caso avaliado, recebe a classificação de laminar quando $Re \leq 5 \times 10^5$, e turbulento por $Re \geq 5 \times 10^5$ (ÇENGEL; GHAJAR, 2015). Quanto ao número de Mach, determinado conforme Equação 6, o escoamento é determinado como sônico quando $Ma = 1$, subsônico quando $Ma < 1$, supersônico quando $Ma > 1$ e hipersônico quando $Ma \gg 1$. Além disso, para $Ma < 0,3$, a variação máxima de massa específica é menor do que 5%, podendo assim, considerar escoamentos nesta faixa de número de Mach como incompressíveis. (ÇENGEL; CIMBALA, 2012; FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2018).

$$Ma = \frac{v}{c} \quad (6)$$

Em que:

Ma é o número de Mach (adm);

v é a velocidade de escoamento do ar no interior da seção de teste, em $m s^{-1}$; e

c é a velocidade do som no meio, em $m s^{-1}$, sendo que esse valor, à temperatura ambiente no nível do mar, é de aproximadamente $346 m s^{-1}$ (ÇENGEL; CIMBALA, 2012).

5.2.2.1 Análise dos dados

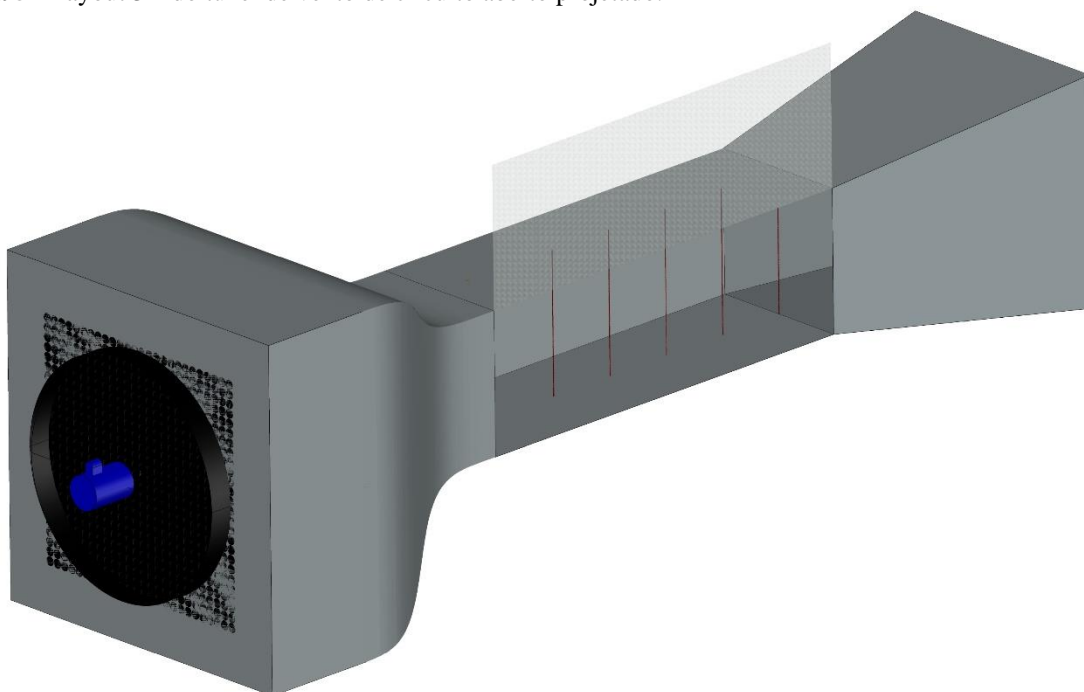
A estatística descritiva foi realizada com o propósito de avaliar a dispersão e distribuição dos dados para a variável velocidade de escoamento do ar nos diferentes pontos de análises no interior da seção de teste do túnel de vento. Foram calculadas as seguintes medidas descritivas: média, mediana, variância, desvio padrão, e coeficiente de variação. Os critérios adotados para classificação dos coeficientes de variação (CV) das variáveis, seguiram as classes de magnitudes para baixo ($CV \leq 12\%$); médios ($12\% \leq CV \leq 62\%$) e altos ($CV \geq 62\%$), conforme classificação adaptada por Lima et al. (2015).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ASPECTOS DIMENSIONAIS DO TÚNEL DE VENTO DE CIRCUITO ABERTO

A partir da definição do tipo de túnel de vento, que foi de circuito aberto, o projeto foi iniciado pela seleção do perfil geométrico de cada um dos componentes do túnel de vento, sendo definidas seções quadradas, na entrada e saída, para a seção de teste, bocal, difusor e câmara de estabilização, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Layout 3D do túnel de vento de circuito aberto projetado.

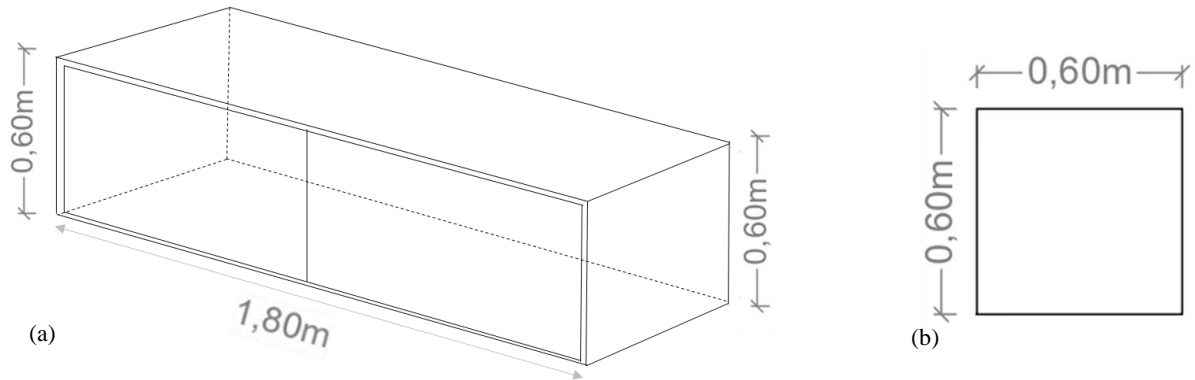


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A seção de teste, cujo aspectos dimensionais estão apresentados na Figura 6, foi projetada de modo a comportar simulações de pulverização agrícola. Por esse motivo, tomando como base a recomendação do fabricante de altura mínima da ponta de 0,50 m em relação ao piso do túnel, a seção foi projetada em geometria quadrada, com 0,60 m de aresta a fim de atender a especificação. Gandolfo et al. (2012), avaliando o potencial de deriva de herbicidas em túnel de vento adotaram a altura de 0,60 m entre a ponta de pulverização e ao piso do túnel.

Por consequência, a área correspondente da seção transversal foi de 0,36 m² e o diâmetro hidráulico igual a 0,6 m. O comprimento da seção foi o triplo do diâmetro hidráulico, o que resultou em um valor de 1,8 m, conforme recomendado por Metha e Bradshaw (1979). Para o manuseio das amostras na seção de testes, o componente também foi projetado com um sistema de abertura, com 2 portas retangulares de 0,90 m de comprimento e 0,6 m de altura.

Figura 6 – Seção de testes e aspectos dimensionais, sendo (a) a seção em perspectiva, com porta destacada e (b) vista frontal.

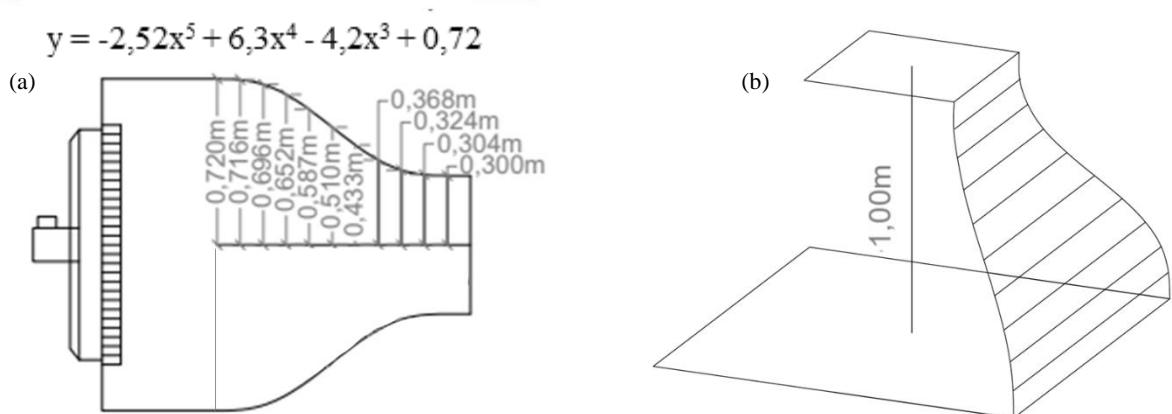


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com os dados dimensionais de entrada da seção, foi dimensionado o bocal de contração. Esse componente foi fabricado de forma precisa, pois a sua geometria afeta diretamente a qualidade do escoamento na seção de testes (AHMED, 2013). Para o projeto, foi adotada a geometria quadrada com aresta de 1,44 m altura, o que possibilitou uma razão de contração igual a 6, o que atende as especificações do projeto. O comprimento total da peça foi de 1,0 m e teve razão $\frac{L}{H_e}$ dentro do intervalo recomendado, com módulo igual a 1,39.

A fim de garantir a suavização do bocal, comportamento primordial para garantir que a camada limite não iria se deslocar da parede da estrutura, foi utilizado o polinômio de Bell-Mehta, conforme Equação 3. Desse modo, tomando um sistema de coordenadas com centro coincidente com o centro geométrico da secção de entrada do bocal e o eixo dos x sobre a linha de simetria do centro, como mostrado na Figura 7(a), o polinômio da sinuosidade foi determinado. A Figura 7(b) mostra a perspectiva lateral do bocal de contração.

Figura 7- (a) Perfil gráfico do Polinômio de quinta ordem de Bell-Mehta, conforme Equação 2, e (b) Perspectiva da chapa lateral.

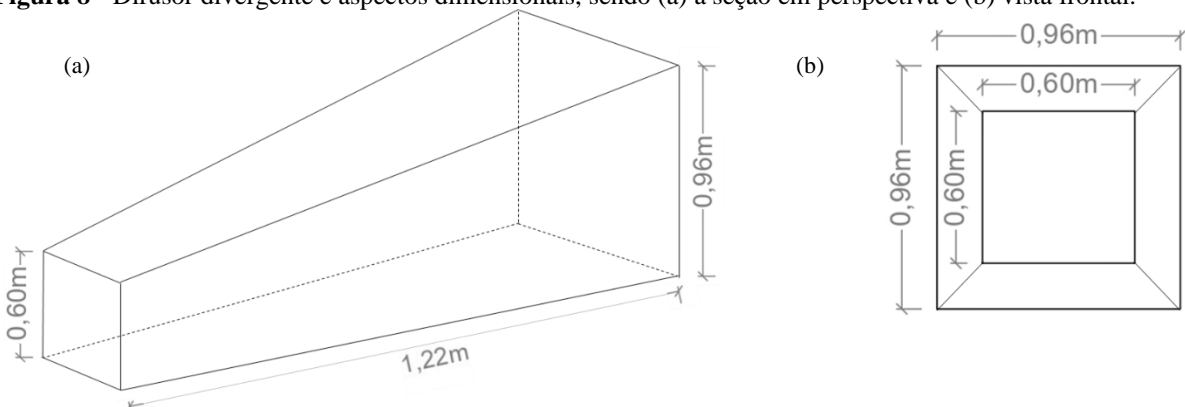


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Pereira et al. (2016), projetando um túnel de vento de circuito aberto e subsônico, afirmaram que o bocal de contração é componente mais crítico no processo de dimensionamento, visto que a peça deve garantir um fluxo de alta qualidade na câmara de teste. Diante dessa situação, os autores adotaram a metodologia de Bell-Mehta, a qual também foi utilizada nesse trabalho, e alcançaram a eficiência exigida pelo projeto, confirmando a confiabilidade dos procedimentos adotados no dimensionamento.

A dimensão de entrada do difusor corresponde a mesma da saída da seção teste, que é de $0,36 \text{ m}^2$. A partir desse valor, e adotando a razão de área igual a 2,25, a área da seção de saída terá $0,90 \text{ m}$ de altura e largura, resultando em $0,81 \text{ m}^2$. Em relação ao comprimento da peça, fixando ângulo de cone fixado em 7° , o que satisfaz a condição apresentada por Groff et al., (2000), foi determinado um valor de $1,22 \text{ m}$. Os aspectos dimensionais estão apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Difusor divergente e aspectos dimensionais, sendo (a) a seção em perspectiva e (b) vista frontal.

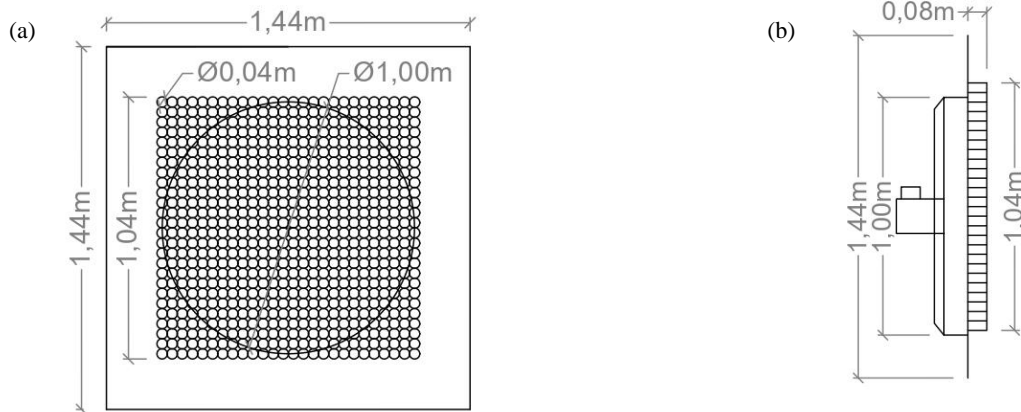


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A colmeia utilizada, posicionada logo após o ventilador e apresentada na Figura 9, foi confeccionada pela junção de 625 seções de tubos circulares de PVC com paredes de 2 mm , respeitando o valor estipulado Barlow et al. (1999), por largura de 40 mm e comprimento de 80 mm . Os parâmetros razão entre a largura da colmeia e o diâmetro hidráulico da célula e porosidade foram, respectivamente, iguais a 2 e 0,72, o que acaba por não atender as recomendações. De forma similar, Moreira Júnior (2009), que construiu uma colmeia que não atendeu as especificações, estudou diferentes configurações de posicioná-la junto a telas e conseguiu obter um fluxo de ar mais próximo do laminar, ou seja, apresentou baixa turbulência, conforme utilizado no trabalho.

A câmara de estabilização foi dimensionada com $1,44 \times 1,44 \text{ m}$ e $0,20 \text{ m}$ de espessura. Foi utilizada uma tela de alumínio, com malha de 5 mm , com diâmetro de fio igual $0,56 \text{ mm}$. Levanto em conta esses valores, a porosidade para essa tela foi de 0,79 e solidez da tela é 0,21.

Figura 9 – (a) Vista frontal da colmeia instalada na câmara de estabilização e (b) vista lateral da colmeia posicionada em seguida ao ventilador.



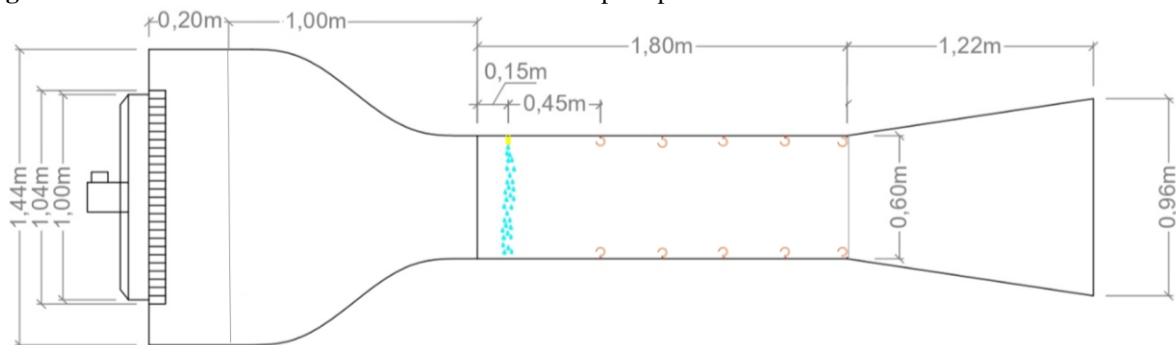
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O sistema de impulsão do túnel foi construído com um ventilador axial da marca Big Dutchman, composto de três pás de 0,90 m, acionado por um motor trifásico com 1,1 kW e um inversor de frequência da marca Allen bradley, modelo Power Flex 40. A razão entre a área da seção transversal do ventilador e a da seção de testes foi de 2,18, respeitando o critério proposto por Pereira (2011).

6.2 CONSTRUÇÃO DO TÚNEL DE VENTO

Após a definição dos aspectos dimensionais de cada uma das estruturas do túnel de vento, conforme apresentados na Figura 10, foram utilizadas barras chatas de aço, com dimensões, em polegadas, de 3/4x1/8 e 1/4x1/8, para construir os moldes específicos de cada componente. Em seguida, as peças, exceto a seção de testes que foi construída com acrílico transparente com uma espessura de 3 mm, foram revestidas com chapa zincada. Para a montagem do túnel foi construído um suporte de tubos de aço (0,2x0,2m) no qual os componentes foram instalados, acoplados e fixados com parafusos e vedados com selante de Poliuretano.

Figura 10 - Dimensões do Túnel de vento subsônico do tipo soprador.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a construção do sistema de fixação dos alvos foram utilizados parafusos do tipo gancho aberto, de 5 mm, presos na parede superior e inferior da seção de testes. O sistema de pulverização do túnel foi construído com um reservatório cilíndrico com capacidade de 5 L, no qual a calda de pulverização foi armazenada e pressurizada, e ponta de pulverização, acoplada no bico de pulverização que foi instalado na parte superior do túnel, isto é, 0,60 m de altura e 0,15 m em relação a entrada da seção de testes. A pressurização foi realizada por um pulverizador costal com injeção de gás carbônico (CO₂), de fabricação da Herbicat.

A ponta de pulverização hidráulica utilizada foi a ADGA 02 (jato leque - Anti-Deriva de Grande Ângulo) da Magnojet, confeccionada em material cerâmico e ângulo de 120°. A pressão utilizada de 310,3 kPa promove uma vazão de 0,81 L min⁻¹ e gotas classificadas como finas, conforme especificações do fabricante.

6.3 ESTUDO AERODINÂMICO DO TÚNEL DE VENTO

Os resultados da estatística descritiva do parâmetro velocidade do fluxo de ar, em diferentes seções transversais, a 0,00 m; 0,90 m e 1,80 m de distância em relação a entrada da seção de testes são apresentados na Tabela 3. Verificou-se que os valores médios são, em todos os casos, próximos à mediana o que garante uma distribuição normal dos dados.

Tabela 3- Análise descritiva da velocidade do fluxo de ar em diferentes seções transversais definidas a partir de distâncias (0,00; 0,90 e 1,80 m) em relação a entrada da seção de testes de um túnel de vento de circuito aberto e parâmetros aerodinâmicas.

Velocidade de referência (m s ⁻¹)	Medidas descritivas				Parâmetros aerodinâmicos	
	\bar{X}	Var	DP	CV (%)	Reynolds	Mach
Entrada da seção de teste (0,00 m)						
1,00	0,95	0,004	0,07	7,04%	3,90.10 ⁴	0,003
3,00	2,97	0,015	0,12	4,07%	1,22.10 ⁵	0,009
5,00	5,09	0,067	0,26	5,10%	2,09.10 ⁵	0,015
Centro da seção de teste (0,90 m)						
1,00	0,90	0,003	0,05	5,87%	3,70.10 ⁴	0,003
3,00	2,95	0,013	0,11	3,82%	1,21.10 ⁵	0,009
5,00	5,09	0,029	0,17	3,35%	2,09.10 ⁵	0,015
Saída da seção de teste (1,80 m)						
1,00	0,85	0,012	0,11	12,72%	3,49.10 ⁵	0,002
3,00	2,88	0,027	0,17	5,76%	1,18.10 ⁵	0,008
5,00	4,98	0,144	0,38	7,62%	2,04.10 ⁵	0,014

\bar{X} – média; Var – variância, DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os coeficientes de variação (CV) mostram que o fluxo de ar na seção de testes é considerado homogêneo, isto é, há pouca variabilidade nos dados, independente da situação simulada. Conforme classificação adaptada por Lima et al. (2015), exceto na saída da seção de teste quando a velocidade referência foi de 1 m s^{-1} (CV= 12,72%), os valores de CV classificam-se como baixos. Constatou-se que a 1,80 m em relação a entrada da seção de teste, para todas as velocidades referenciais, os dados apresentaram maior variação quando comparados com os demais pontos de inferências. Por outro lado, a região central (0,90 m) os valores apresentaram, em todos os casos, menores variações.

De acordo com a Tabela 2, em qualquer situação de simulação o módulo do número de Reynolds foi inferior a 5×10^5 , o que minimiza a possibilidade de turbulência no escoamento durante as simulações. Desse modo, o escoamento na seção de teste é classificado como laminar e os corpos inseridos nesse fluido, isto é, as gotas de pulverização tendem a se mover em camadas lisas e não adquirem movimentos aleatórios na região experimental.

Em relação ao número de Mach, o valor foi sempre inferior a 1 o que possibilita afirmar que, em qualquer que seja a velocidade simulada, o túnel de vento é do tipo subsônico. Carminatti e Konrath (2019) projetaram um túnel de vento de circuito aberto e obtiveram um dispositivo subsônico, uma vez que opera em baixas velocidades e o número de Mach calculado foi de 0,036. Além do mais, de acordo com os dados da Tabela 2, é possível considerar a incompressibilidade do fluido, isto é, a massa específica e, conseqüentemente, a vazão mássica do fluido permanece constante ao longo da seção de testes.

Em suma, os aspectos dimensionais adotados no projeto de construção do túnel de vento garantiram construir uma estrutura segura para estudos da pulverização agrícola, com baixa variação da velocidade ao longo da seção experimental e escoamento laminar.

7 CONCLUSÃO

De acordo com o coeficiente de variação dos dados coletados no túnel, afirma-se que o escoamento na seção de testes tem velocidades com baixa variação entre pontos aleatórios.

Os parâmetros aerodinâmicos do túnel de vento evidenciaram que o dispositivo opera em boas condições, baixa variação de velocidade ao longo da seção de testes, escoamento laminar e incompressível.

Todos os componentes do túnel de vento foram projetados com geometria quadrada. A seção de testes, local de experimentação, foi construída com 0,60 m de aresta por 1,8 m de comprimento, com sistema de abertura. O comprimento total da instalação foi de 4,22 m.

O sistema de propulsão do túnel, construído com um ventilador axial e inversor de frequência, foi suficiente para manter a operação do túnel de vento nas condições exigidas.

Os parâmetros aerodinâmicos do túnel de vento evidenciaram que o dispositivo opera em boas condições, baixa variação de velocidade ao longo da seção de testes, escoamento laminar e incompressível.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, N. A. **Wind Tunnel Designs and Their Diverse Engineering Applications**. 1. ed. [S.l.]: Janeza Trdine 9, 2013. 232p.
- BARLOW, J.B.; RAE, W.H.; POPE, A. **Low-speed Wind Tunnel Testing**. 1.ed. New York: John Wiley Sons, 1999. 713p.
- BELL, J.H., MEHTA, R.D. **Contraction design for small low-speed wind tunnels, Technical Report 84, Joint Institute for Aeronautics and Acoustics**, 1988. 37p.
- CARMINATTI, L.J.; KONRATH, R. Desenvolvimento de um túnel de vento subsônico com foco no ensino didático. **Revista Anais da Engenharia Mecânica**, Chapecó, v.4, n.1, p.1-17, 2019.
- ELLIS, M.C.B.; LANE, A.G.; O'Sullivan, C.M. Wind tunnel investigation of the ability of drift-reducing nozzles to provide mitigation measures for bystander exposure to pesticides. **Biosystems Engineering**, v. 202, n. 1, p. 152-16, 2021.
- FOX, R.W.; MCDONALD, A.T.; PRITCHARD, P.J.; MITCHELL, J.W. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2018. 724 p.
- GANDOLFO, M.A; MORAES, E.D.; GANDOLFO, U.D.; OSIPE, J.B.; RODRIGUES, E.B.; OSIPE, R. Potencial de deriva da mistura de 2,4-D com glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 332-338, dez. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v11i3.192>. Acesso em: 10 set. 2023.
- GROFF, J. E. A.; ALÉ, J. V. **Projeto de túnel de vento subsônico de circuito aberto**. 2000. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2000.
- LIMA, F.V.; SILVINO, G.S.; MELO, R.S.S.; LIRA, E.C.; RIBEIRO, T.S. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n.4, p.53-63, 2015.
- MEHTA, R.D.; BRADSHAW, P. Design Rules for Small Low-Speed Wind Tunnels. **Journal of Royal Aeronautical Society**, v. 83, n. 827, p. 443-453, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0001924000031985>. Acesso em: 03 jan. 2023.
- MOREIRA JUNIOR, O.; ANTUNIASSI, U. R. Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.25, n.3, p.118-136, 2010. Disponível: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2010v25n3p118-136>. Acesso em: 02 jan. 2023.
- NOBRE, J.C. DE A.; SOUZA, D.L.P. DE; ANDRADE, L.C.F. Experimental study of the opening angle with different rotors in a wind tunnel. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Viçosa, v.8, n.7, p. 1-9, out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18540/jcecvl8iss7pp14770-01e>. Acesso em: 02 jan. 2023.

NÚÑEZ, G.J.Z. projeto de um túnel de vento de baixas velocidades para o ensino de engenharia do vento. **Revista de Ensino de Engenharia**, [S.l.], v.40, n.1, p. 394-406, 2021. Disponível em: 10.37702/REE2236-0158.v40p394-406.2021. Acesso em: 02 jan. 2023.

NÚÑEZ, G.J.Z.; LOREDO-SOUZA, A.M.; ROCHA, M.M. Uso do túnel de vento como ferramenta de projeto no design aerodinâmico. **Design e Tecnologia**, [S.l.], v.2, n.04, p. 10-23, dez. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.23972/det2012iss04pp10-23>. Acesso em: 02 jan. 2023.

OLIVEIRA, G.M.P. DE; GANDOLFO, M.A.; DALAZEN, G.; OSIPE, J.B.; OLIVEIRA, S.M.P. DE; SILVA, M.A. DE A. Regression analysis to evaluate herbicide drift and injury in Roundup Ready cotton in wind tunnel. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 52, n.2, p. 1-8, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210025>. Acesso em: 02 jan. 2023.

PEREIRA, J.D. **Wind Tunnels: Aerodynamics, Models, And Experiment**, 1. ed. [S.l.]: Nova Science Publishers, Inc, 2011. 227p.

PEREIRA, R.A.; SILVA, L. A.; SANTOS, J. V.; MELO, K. L. C.; PEREIRA, A. M.; OLIVEIRA, P. A. R. Projeto de um túnel de vento subsônico. **Jornal de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente**, Uberaba – MG, v. 1, n. 1, p. 11-20, 2016.

ÇENGEL, Y.A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. 1. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. 821 p.

ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A.J. **Heat And Mass Transfer: Fundamentals & Applications**. 5. ed. Nova York: Mc Graw-Hill, 2015. 991 p.

CAPÍTULO 2

INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DO VENTO NA DERIVA DE PULVERIZAÇÕES SIMULADAS EM TÚNEL DE VENTO

RESUMO

A deriva da pulverização agrícola se configura como um grande problema da agricultura, decorrente dos problemas ambientais e econômicos que podem ser desencadeados. Por esse motivo, é essencial estabelecer o potencial risco de deriva e as distâncias seguras entre a pulverização e os possíveis alvos de contaminação. Nesse contexto, objetivou-se estudar a influência da velocidade do vento nos depósitos de deriva em diferentes distâncias horizontais. O experimento foi realizado em túnel de vento de circuito aberto, do tipo soprador, instalado no laboratório de Máquinas agrícolas da Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Central. A ponta de pulverização utilizada foi a ADGA 02, jato leque e anti-deriva de ângulo 120°, na pressão de 310,3 kPa, o que gera uma vazão de 0,81 L min⁻¹. A pesquisa foi conduzida em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo 5 x 4 (velocidades do vento x distâncias horizontais), com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de quatro velocidades do vento no interior do túnel (1 m s⁻¹, 2 m s⁻¹, 3 m s⁻¹ e 4 m s⁻¹) e cinco distâncias horizontais a favor do vento e em relação à ponta de pulverização (0,45 m, 0,75 m, 1,05 m, 1,35 m e 1,65 m). A calda utilizada foi preparada com água e solução traçadora Azul Brilhante. Para a coleta da deposição foram utilizados alvos artificiais posicionados transversalmente ao fluxo do ar. Os alvos foram particionados em terço inferior (0,00 – 0,20 m), terço médio (0,20 – 0,40 m) e terço superior (0,40 – 0,60) a partir do piso do túnel. Os dados foram obtidos por espectrofotometria e, após verificação dos pressupostos da anova, foram submetidos à análise de variância (P<0,05) e quando significativos foi aplicada a análise de regressão a 5% de probabilidade. Para as análises estatísticas foi utilizado o programa computacional R. Os valores médios dos depósitos foram transformados em porcentagem de deriva em função do volume total pulverizado. A deposição de calda foi maior para distâncias mais próximas do local de pulverização. Velocidades mais altas possibilitaram obter maiores depósitos, representando maior risco potencial de deriva em pulverização.

Palavras-chave: tecnologia de aplicação; pulverização agrícola; depósitos de deriva; simulação; contaminação ambiental.

CHAPTER 2

INFLUENCE OF WIND INTENSITY ON THE DRIFT OF SIMULATED SPRAYING IN A WIND TUNNEL

ABSTRACT

The drift of the agricultural economy is a major problem in agriculture, resulting from the environmental and economic problems that can be triggered. For this reason, it is essential to establish the potential drift risk and safe distances between pollution and possible contamination targets. In this context, the objective was to study the influence of wind speed on drift deposits at different horizontal distances. The experiment was carried out in an open circuit wind tunnel, of the blower type, installed in the Agricultural Machinery Laboratory of the State University of Goiás – Central Campus. The application tip used was the ADGA 02, a fan and anti-derivative jet with a 120° angle, at a pressure of 310.3 kPa, which generates a flow of 0.81 L min⁻¹. The research was conducted in a randomized design, in a 5 x 4 double factorial scheme (wind speeds x horizontal distances), with three replications. The research was conducted in a randomized design, in a 5 x 4 factorial scheme (wind speeds x horizontal distances), with three replications. The treatments consisted of four wind speeds inside the tunnel (1 m s⁻¹, 2 m s⁻¹, 3 m s⁻¹ and 4 m s⁻¹) and five horizontal distances downwind and in relation to the intensity tip (0.45 m, 0.75 m, 1.05 m, 1.35 m and 1.65 m). The syrup used was prepared with water and Brilliant Blue tracer. To collect the deposition, artificial targets positioned transversely to the air flow were used. The targets were partitioned into lower third (0.00 – 0.20 m), middle third (0.20 – 0.40 m) and upper third (0.40 – 0.60) from the tunnel floor. The data were obtained by spectrophotometry and, after checking the anova assumptions, they were subjected to analysis of variance (P<0.05) and when significant, regression analysis was applied at 5% probability. For statistical analyzes the computer program R was used. The average deposit values were transformed into a percentage of derivation depending on the total volume sprayed. Spray deposition was greater at distances closer to the precipitation site. Higher speeds made it possible to obtain larger deposits, posing a greater potential risk of drift in volumes.

Keywords: application technology; agricultural spraying; drift deposits; simulation; environmental contamination.

9. INTRODUÇÃO

A pulverização é tarefa primordial para melhorar a qualidade e produtividade das culturas, mas, para sua prática, devem ser considerados diversos fatores, os quais são constantemente estudados pela área da tecnologia da aplicação. De acordo com Seol et al. (2022), as aplicações sempre são acompanhadas pelo fenômeno da deriva, isto é, o movimento de parte das gotículas pulverizadas para além do alvo. Esse desvio de trajetória, como exposto por Zhang et al. (2018), é decorrente da ação do vento, que se configura como fator aerodinâmico primário que contribui para a deriva de pesticidas.

Nesse contexto, essas perdas podem desencadear problemas ambientais e econômicos. Ou seja, as gotas arrastadas serão depositadas em regiões próximas, como mananciais hídricos e solo, afetando diretamente a fauna e flora local, além dos riscos de contaminação de pessoas (BAIO et al., 2019; GARCERÁ et al. 2017). Para Moraes et al. (2019), esse fenômeno também é uma das principais causas de prejuízos financeiros, provenientes da perda direta de produto, o que corrobora para fragilizar o controle de pragas e doenças, ou contaminações de culturas sensíveis localizadas nas proximidades.

A consciência das consequências da deriva ao operar com defensivos agrícolas é, portanto, primordial para minimizar a contaminação fora do alvo e, ao mesmo tempo, beneficiar a eficiência da aplicação. Desse modo, é essencial estabelecer o potencial risco de deriva e as distâncias seguras entre a pulverização e os possíveis alvos de contaminação, todavia, estimar a deposição das perdas em relação ao ponto de aplicação e a favor do vento é um processo complexo, visto que muitos são os fatores envolvidos (BUENO, 2017; HILZ e VERMEER, 2013).

Dentre os parâmetros que influem no estudo da deriva, o principal paradigma associasse a impossibilidade de garantir a homogeneidade das condições em campo, especificadamente para a velocidade do vento. Assim, os túneis de vento são importantes ferramentas para a área da tecnologia da aplicação, pois permitem simular diferentes cenários uniformes e, conseqüentemente, estudar e quantificar depósitos de deriva em diferentes sistemas de aplicação (OLIVEIRA e ANTUNIASSI, 2012). Segundo Nuyttens et al. (2009), pesquisas em túneis de vento fornecem um método eficiente para apoiar e complementar os dados de experimentos de campo.

Tendo em vista a demanda por pesquisas científicas para auxiliarem na tecnologia de aplicação, este trabalho teve como objetivo estudar a influência da velocidade do vento, em túnel de vento, nos depósitos de deriva em diferentes distâncias horizontais a favor do vento.

10. MATERIAL E MÉTODOS

10.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi em túnel de vento instalado no laboratório de Máquinas agrícolas da Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Central Sede Anápolis. O túnel de vento é de circuito aberto do tipo soprador, com seção de testes quadrada, com 0,60 m de aresta, e um sistema de abertura, para manuseio das amostras, e 1,8 m de comprimento. O sistema de propulsão do túnel é constituído por ventilador axial, acionado por um motor trifásico com 1,5 cv e um inversor de frequência da marca Allen bradley, modelo Power Flex 40.

O sistema de pulverização do túnel foi construído com um reservatório cilíndrico, com capacidade de 5 L no qual a calda de pulverização foi armazenada e pressurizada, e a ponta ADGA 02 (jato leque - Anti-Deriva de Ângulo 120°), acoplada no bico de pulverização que foi instalado na parte superior do túnel, isto é, 0,60 m de altura e 0,15 em relação a entrada da seção de testes. A pressurização foi realizada por um pulverizador costal com injeção de gás carbônico (CO₂), de fabricação da Herbicat, na pressão de 310,3 kPa, o que gera uma vazão de 0,81 L min⁻¹ e gotas classificadas como finas, conforme especificações do fabricante.

Durante o experimento as variáveis meteorológicas temperatura e umidade relativa do ar foram monitoradas com um Termo-higro-anemômetro digital portátil modelo THAR-185 e marca Instrutherm, com coletas em intervalos de tempo tomados aleatoriamente no período de aplicação. Em seguida, as amostras foram encaminhadas e analisadas no laboratório de Pós-colheita, do Centro de Pesquisa e Pós-graduação (CPPG). As condições meteorológicas verificadas durante a execução do experimento apresentaram umidade relativa do ar entre 33,8% e 37,4% e temperatura do ar entre 27,8 °C e 28,9°C.

10.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental para avaliar a deposição da calda foi em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial de tratamentos 4 x 5 (velocidades do fluxo de ar x distância horizontal), com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de 4 velocidades de ar no interior do túnel (1 m s⁻¹, 2 m s⁻¹, 3 m s⁻¹ e 4 m s⁻¹) e 5 distâncias horizontais a favor do vento e em relação à ponta de pulverização (0,45 m, 0,75 m, 1,05 m, 1,35 m e 1,65 m).

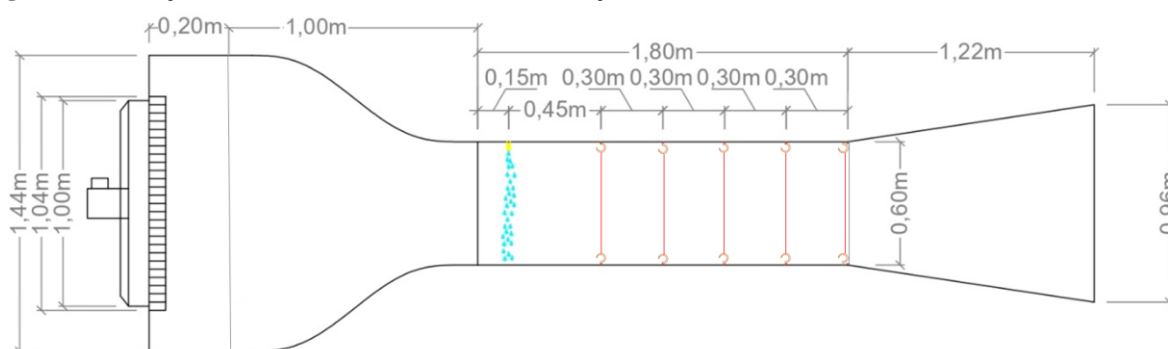
10.3 CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS DE DERIVA DE PULVERIZAÇÃO

A calda utilizada foi preparada com água e solução traçadora Azul Brilhante (*FD&C Blue n.1*), na proporção de 3,2 g L⁻¹, catalogado internacionalmente pela “*Food, Drug & Cosmetic*”. Para determinação da deposição de calda utilizou-se o método de análise da

concentração da solução traçadora, conforme metodologia adaptada de Palladini et al. (2005), na solução de lavagem dos fios coletores distribuídos no interior do túnel de vento. O tempo de pulverização por repetição foi 10 s, determinado com o auxílio de cronômetro digital.

Os fios coletores, sendo esses de lã e com dimensões de 2,0 mm de diâmetro e 0,6 m de comprimento, foram posicionados transversalmente ao fluxo de ar, nas distâncias de 0,45; 0,75; 1,05; 1,35 e 1,65 m de distância em relação à ponta de pulverização e 0,30 m em relação as paredes da seção de testes, conforme metodologia adaptada de Madureira et al. (2015) e Figura 11.

Figura 11 – Posição dos alvos artificiais no interior da seção de testes do túnel de vento de circuito aberto.

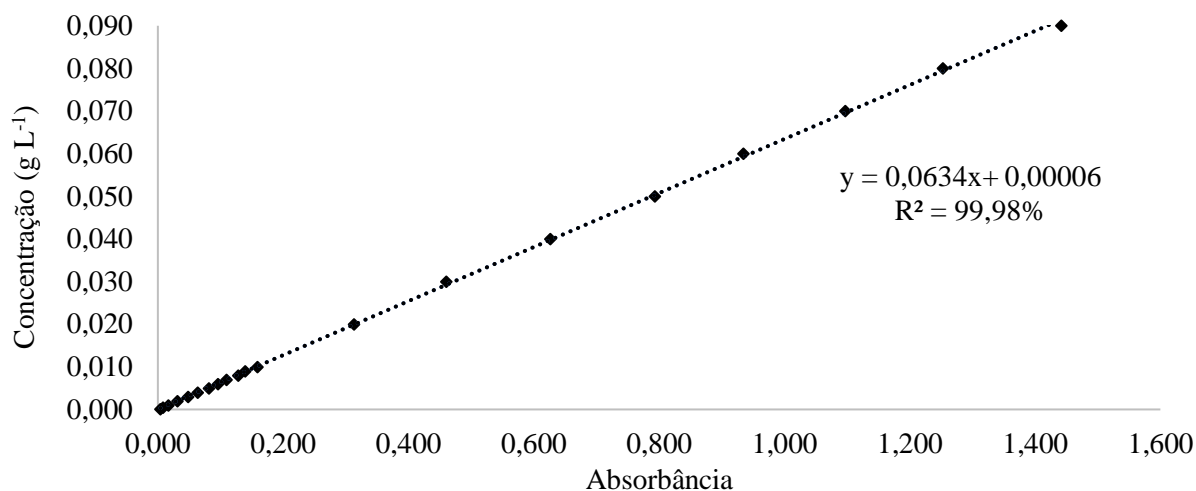


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após o término de cada ensaio os alvos artificiais totais foram divididos em três partes de mesmo tamanho, sendo cada de 0,200 m, e identificados, de acordo com a posição em relação ao piso do túnel, em terço inferior, médio e superior. Em seguida, os foram retirados e acondicionados dentro de copos plásticos identificados com o respectivo tratamento e repetição. Para extração da solução traçadora, foram adicionados 30 mL de água destilada e, posteriormente, agitação manual por 30 s. A partir da solução formada, a quantificação do marcador foi determinada por absorvância em espectrofotometria, utilizando um espectrofotômetro, da marca Tecnal, modelo UV-5100, no comprimento de onda de 630 nm para o azul brilhante, conforme metodologia de Palladini et al. (2005).

Para o estudo entre os fatores velocidade do vento e distância horizontal a favor do vento em relação ao ponto de pulverização foram considerados apenas os alvos localizados no Terço superior (0,40 – 0,60 m), Terço médio (0,20 – 0,40 m) e Terço inferior (0,00 – 0,20 m). Para obtenção do depósito nos alvos, foi feita a curva de calibração do espectrofotômetro, elaborada em planilha eletrônica, a partir de soluções com concentrações entre 0,0001 g L⁻¹ e 0,090 g L⁻¹ de corante, que gerou uma equação de regressão, conforme Figura 12.

Figura 12 - Curva de calibração para concentrações conhecidas do corante Alimentício Azul Brillhante (FD&C nº 1) e equação de regressão da reta obtida.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os dados de absorbância foram transformados em concentração (g L^{-1}) e de posse da concentração inicial (g L^{-1}) e do volume de diluição das amostras (30 mL), foi determinado o volume retido nos terços inferior, médio e no solo, de acordo com a Equação 6.

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f \quad (6)$$

Em que:

C_i é a concentração inicial de solução traçadora na calda de aplicação (mg L^{-1});

V_i é o volume retido pelo alvo (mL);

C_f é a concentração detectada em densidade óptica (mg L^{-1}); e

V_f é o volume de diluição da amostra de cada alvo (mL).

Os valores médios dos depósitos de cada um dos alvos foram transformados em porcentagem de deriva, conforme Equação 7 e em função do volume total pulverizado, que foi de 0,135 litros.

$$D = \left(\frac{v_d}{v_p} \right) \cdot 100 \quad (7)$$

Em que:

D é a porcentagem de deriva (%);

v_d é o volume dos depósitos; e

v_p é o volume total pulverizado.

10.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos aos testes de Bartlett e Lilliefors para verificar, respectivamente, as condições de homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos. Para que os pressupostos fossem atendidos foi necessário realizar a transformação logarítmica. Após verificação foi realizada a análise de variância aplicando-se o teste F, a 5% de probabilidade. Para o estudo do efeito dos fatores velocidade do vento e distância horizontal foi empregada a análise de regressão. Para as análises estatísticas foi utilizado o software R (R CORE TEAM 2015).

Os critérios adotados para classificação dos coeficientes de variação (CV) das variáveis, seguiram as classes de magnitudes para baixo ($CV \leq 12\%$); médios ($12\% \leq CV \leq 62\%$) e altos ($CV \geq 62\%$), conforme classificação adaptada por Lima et al. (2015).

11. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância, os valores dos quadrados médios e as respectivas significâncias estatísticas relativas às variáveis analisadas, assim como o coeficiente de variação, são apresentados nas Tabela 4.

Tabela 4 - Síntese da análise de variância com os valores do Quadrado Médio para a deriva no Terço superior (TS), Terço médio (TM) e Terço inferior (TI).

Fonte de variação	Quadrado médio das variáveis analisadas			
	GL	TS (0,00 – 0,20 m)	TM (0,20 – 0,40 m)	TI** (0,40 – 0,60 m)
Velocidade	3	1450,057*	7351,965*	0,139*
Distância	4	546,943*	8504,115*	0,190*
Velocidade*Distância	12	52,732 ^{ns}	61,365 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Resíduo	40	50,424	88,302	0,003
Total	59			
CV(%)		13,68	9,46	2,95

(*) significativo e (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F; CV: coeficiente de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio;

**Os dados foram transformados em log de x para análise estatística.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

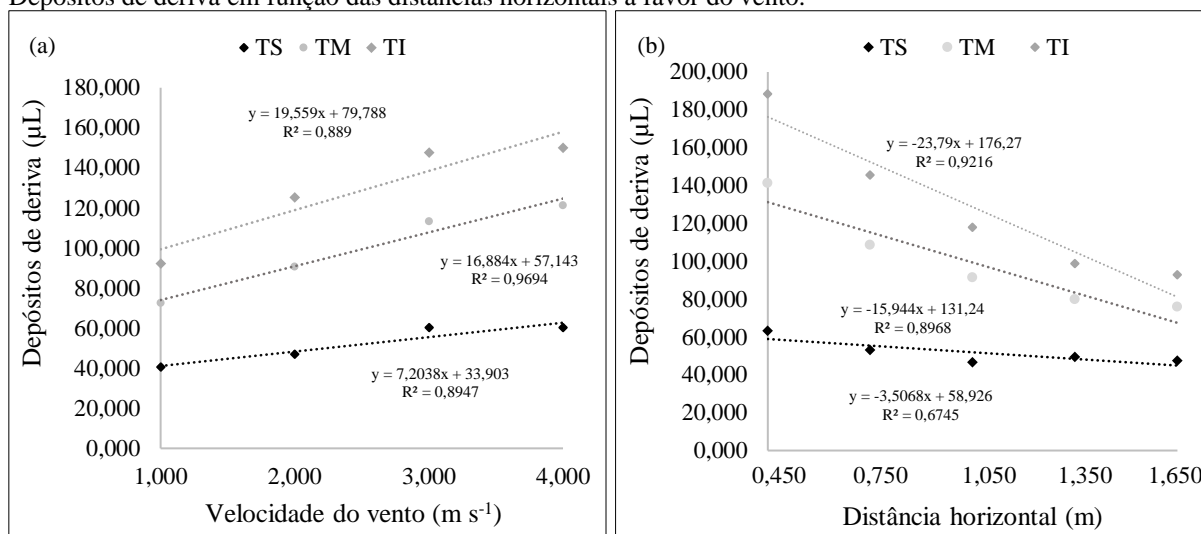
Os valores dos coeficientes de variação demonstram uma baixa variação no conjunto de dados ($CV \leq 12\%$) para deposição nos terços médio e inferior e média para o terço superior, conforme a classificação de Lima et al. (2015). De acordo com a análise de variância, verifica-se que os fatores velocidade do vento no interior do túnel e distância horizontal dos alvos a favor do vento apresentaram, de forma isolada, diferença significativa ($p < 0,05$), não apresentando efeito significativo para a interação entre os fatores. Dessa maneira, a deriva é influenciada pela velocidade do vento e distâncias horizontais.

Na Figura 13(a) é apresentada a análise de regressão para a deriva no terço superior, médio e inferior em função da velocidade do vento. Verifica-se que um aumento da velocidade do vento, independente do terço analisado, são responsáveis pelo incremento nos valores de deriva. Desse modo, na velocidade de 1 m s^{-1} os depósitos médios obtidos foram menores e os maiores, exceto no terço inferior, foram observados na velocidade de 4 m s^{-1} . Para o terço inferior, observa-se que o depósito médio nas velocidades de 3 m s^{-1} e 4 m s^{-1} foram similares. De forma análoga, Costa et al. (2007) observaram que o aumento da velocidade do vento implica incremento nos depósitos de deriva.

Os modelos significativos para as curvas de deposição de deriva em função da velocidade do vento no interior do túnel de vento foram lineares e crescentes para todos os

terços analisados. Os coeficientes de determinação (R^2) para os terços inferior, médio e superior foram, respectivamente, iguais a 88,90%, 96,94% e 89,47%.

Figura 13 - (a) Depósitos de deriva em função das distâncias dos alvos em relação a ponta de pulverização e (b) Depósitos de deriva em função das distâncias horizontais a favor do vento.



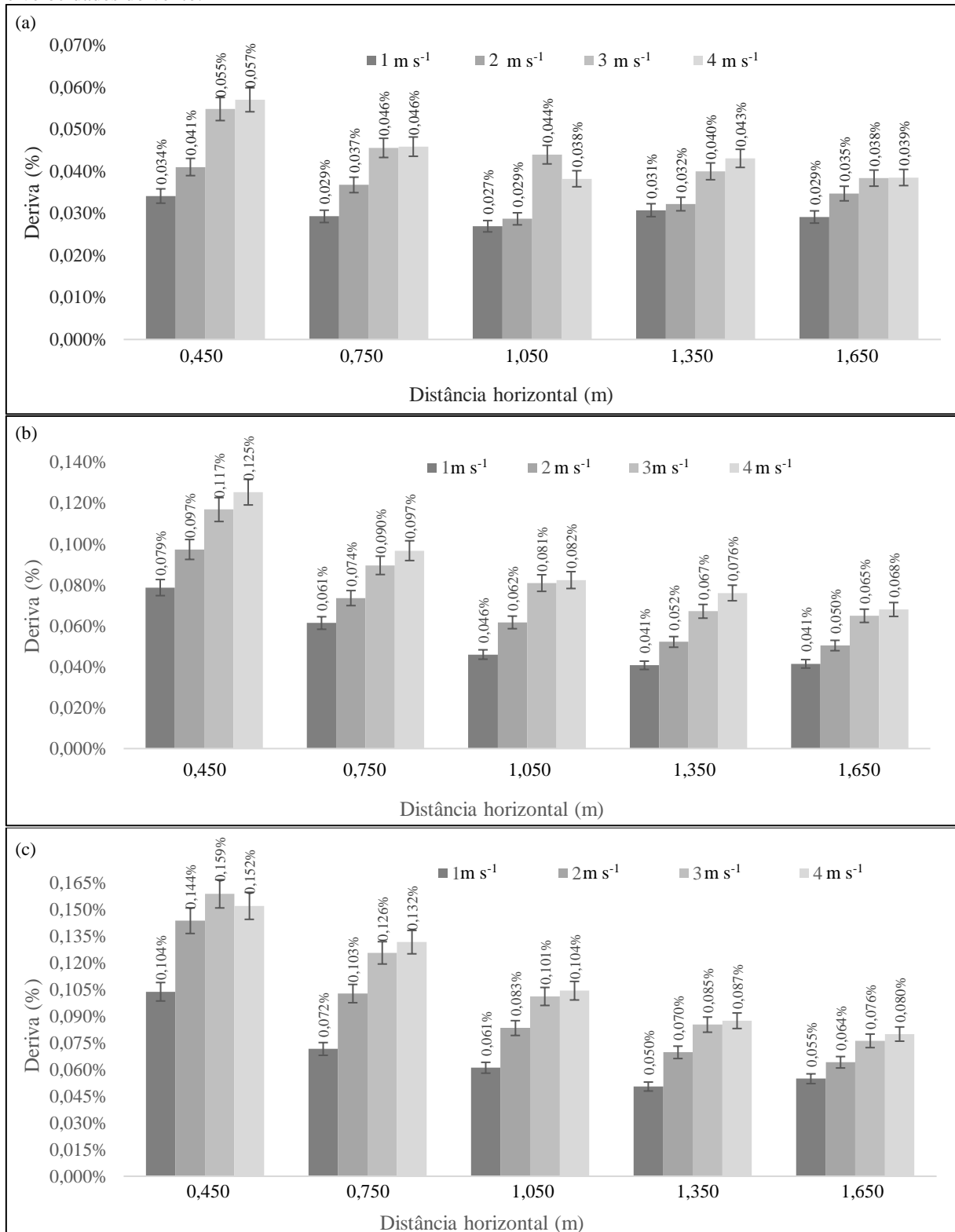
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 13(b) é apresentada a análise de regressão para os depósitos de deriva em relação as distâncias horizontais dos alvos em relação à ponta de pulverização e a favor do vento. Nota-se que a deriva é comportamento inverso à distância, isto é, quanto maior for a distância horizontal a favor do vento, menor quantidade de calda será coletada, ou seja, as gotas, ao serem arrastadas para além do alvo, tendem a se depositar em regiões mais próximas.

Crause et al. (2020) avaliando a deriva gerada pela pulverização hidropneumática na cultura do cafeeiro conilon, constatou que em menores distâncias ocorreu uma maior deposição, fato semelhante ao observado neste estudo. Cunha et al. (2008) ressaltam que é de suma importância a determinação da distância horizontal devido esta possibilitar a análise do risco de deriva durante as aplicações.

Na Figura 14 observa-se os volumes médios depositados, isto é, a deriva coletada nos alvos artificiais transformados em porcentagem em relação ao volume total de calda pulverizada e em função das velocidades do vento simuladas no interior da seção de testes, em m s^{-1} , e das distâncias horizontais de em relação a ponta de pulverização. Para fins de comparação, as colunas correspondem aos valores médios e as barras verticais representam os valores máximos e mínimos de acordo com o intervalo de confiança de 95%.

Figura 14 - Valores médios de deriva expressos em percentagem de deriva (médias \pm IC95%) para o Terço superior (a), Terço médio (b), e Terço inferior (c) em função das diferentes distâncias horizontais a favor do vento e velocidades do vento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para o terço superior, nota-se que os valores médios de deriva (%) variam entre 0,027% e 0,057%. O percentual de deriva, exceto para a distância de 1,05 m, para as velocidades de 3

m s^{-1} e 4 m s^{-1} , foram iguais dentro do intervalo de confiança. Com base no mesmo intervalo, tem-se que nas distâncias de 1,05 m e 1,35 m, a deriva coletada nas velocidades de 1 m s^{-1} e 2 m s^{-1} não se diferem. No terço médio, os valores percentuais variam entre 0,041% e 0,125%. Em relação ao terço inferior, números oscilam entre 0,050% e 0,159%. Além do mais, para todas as velocidades e nos terços médio e inferior, a porcentagem de deriva não se diferem dentro do intervalo de confiança.

Os resultados encontrados nas pesquisas de Cunha et al. (2008), onde foi verificado que a velocidade do vento influenciou na deriva, e Gandolfo et al. (2013), na qual foi constatada que a porcentagem de deriva é menor para maiores distâncias horizontais em relação à ponta de pulverização, foram similares aos observados nesse estudo.

12. CONCLUSÃO

O uso do túnel de vento possibilitou a replicabilidade da experimentação no estudo dos depósitos de deriva de pulverização em ambientes com velocidade controlada.

A velocidade do vento influenciou de forma significativa no fenômeno da deriva, sendo que na velocidade de 4 m s^{-1} , independente do terço analisado, foram obtidos os maiores depósitos.

A velocidade do vento é fator primordial para arraste de gotas, isto é, maiores velocidades tendem deslocar maior quantidade de gotas pulverizadas, representando maior risco potencial de deriva.

Os depósitos de deriva foram maiores para distâncias mais próximas ao ponto de pulverização.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIO, F.H.R.; ANTUNIASSI, U.R.; CASTILHO, B.R.; TEODORO, P.E.; SILVA, E.E. DA. Correction: Factors affecting aerial spray drift in the Brazilian Cerrado. **Plos One**, v.14, n.2, p. 1-16, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217957>. Acesso em: 12 out. 2023.

BUENO, M.R.; CUNHA, J.P.A.R DA; SANTANA, D.G. DE. Assessment of spray drift from pesticide applications in soybean crops. **Biosystems Engineering**, v.154, n.1, p. 35-45, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.017>. Acesso em: 12 out. 2023.

COSTA, A.G.F.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI, C.A.; ROSSI, C.V.S.; CORRÊA, M.R.; SILVA, F.M.L. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000100023>. Acesso em: 10 set. 2023.

CRAUSE, D. H., VITÓRIA, E. L. DA; SOELA, D. M., OLIVEIRA, D. A. DE, BATISTA, A. G., LACERDA, E. DAS G. Estimativa de deriva na aplicação de defensivos agrícolas no café Conilon. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n. 4, p. 85-94, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/31167>. Acesso em: 10 set. 2023.

CUNHA; J.P.A.R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes métodos de aplicação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 39, n. 4, p. 487-493, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500039>. Acesso em: 10 set. 2023.

GANDOLFO, M.A.; CHECHETTO, R.G.; CARVALHO, F.K.; GANDOLFO, U.D.; MORAES, E.D. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas com glyphosate. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 474-480, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000300008>. Acesso em: 10 set. 2023.

GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E.; CHUECA, P. Spray pesticide applications in mediterranean citrus orchards: Canopy deposition and off-target losses. **Science of the Total Environment**, v.599, n.1, p.1344-1362, 2017. Disponível em: [10.1016/j.scitotenv.2017.05.029](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.029). Acesso em: 10 set. 2023.

HILZ, E.; VERMEER, A.W.P. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. **Crop Protection**, v.44, n.1, p.75-83, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.020>. Acesso em: 10 set. 2023.

LIMA, F.V.; SILVINO, G.S.; MELO, R.S.S.; LIRA, E.C.; RIBEIRO, T.S. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n.4, p.53-63, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n406rc>. Acesso em: 10 set. 2023.

MADUREIRA; R.P; RAETANO, C.G; CAVALIERI, J.D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.19, n.2, p.180-185, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p180-185>. Acesso em: 10 set. 2023.

MORAES, E.D. DE; SAAB, O.J.G.A.; GANDOLFO, M.A.; MARUBAYASHI, R.Y.P.; GANDOLFO, U.D. Potential risk of drift from inclined fan nozzles. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.3, p.229-233, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n3p229-233>. Acesso em: 10 set. 2023.

PALLADINI, L.A.; RAETANO, C.G.; VELINI, E.D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Science agriculture**. Piracicaba-SP, v. 62, n. 5, p. 440-445. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000500005>. Acesso em: 02 fev. 2023.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2015.

SEOL, J.; KIM, J.; SON, H.I. Spray Drift Segmentation for Intelligent Spraying System Using 3D Point Cloud Deep Learning Framework. **IEEE Access**, v.10, n.1, p. 77263–77271, 2022. Disponível em: [10.1109/ACCESS.2022.3192028](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3192028). Acesso em: 10 set. 2023.

ZHANG, B.; TANG, Q.; CHEN, L.; ZHANG, R.; XU, M. Numerical simulation of spray drift and deposition from a crop spraying aircraft using a CFD approach. **Biosystems Engineering**, [S.l.], v. 166, n.1, p. 184-199, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.017>. Acesso em: 02 jan. 2023.

CAPÍTULO 3

MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DA INFLUÊNCIA DE ADJUVANTES E VELOCIDADES DO VENTO NA DERIVA EM APLICAÇÕES DE BIOINSETICIDA EM TÚNEL DE VENTO

RESUMO

A maioria das pesquisas na área da tecnologia de aplicação avaliam a interação entre adjuvantes e agroquímicos, tornando necessário estudos para avaliar o comportamento de adjuvantes em associação com outras classes de defensivos agrícolas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a influência de adjuvantes e intensidade da velocidade do vento na deposição de calda e deriva em aplicações simuladas com bioinseticida a base de *Bacillus thuringiensis*. O experimento foi realizado em túnel de vento de circuito aberto, do tipo soprador, instalado no laboratório de Máquinas agrícolas da Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Central. A pesquisa foi conduzida em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 4 x 4, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por cinco distâncias horizontais em relação ao ponto de pulverização (0,45m; 0,75m; 1,05m; 1,35m e 1,65m), quatro velocidades do vento no interior do túnel (1 m s^{-1} , 2 m s^{-1} , 3 m s^{-1} e 4 m s^{-1}) e quatro formulações da calda de pulverização (Água, Dipel[®], Dipel[®] + Veget'Oil[®] Dipel[®] + Break Thru[®]). Para a coleta da deposição foram utilizados alvos artificiais posicionados transversalmente ao fluxo do ar e, em seguida à pulverização, foram particionados em terço inferior, médio e superior em relação à altura da seção de testes. Os dados obtidos por espectrofotometria, após verificação dos pressupostos da anova, foram submetidos à análise de variância ($P < 0,05$) e quando significativos as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey e para os fatores quantitativos foi aplicada a análise de regressão, ambos a 5% de probabilidade. Para as análises da estatística clássica foi utilizado o programa computacional R. Os valores médios dos depósitos foram transformados em porcentagem de deriva em função do volume total pulverizado. Os dados experimentais foram submetidos à análise geoestatística, utilizando o software GS+ Versão 7[®], e comprovada a dependência espacial os mapas de contorno foram gerados pela Krigagem. Maiores velocidades implicaram um incremento no percentual da deriva. O uso do adjuvante Break Thru[®] reduziu a deriva nos terços superior e médio. Para o terço inferior, na velocidade de 1 m s^{-1} , a adição do adjuvante Break Thru[®] reduziu a deriva, mas a 4 m s^{-1} o uso de adjuvantes não promoveu a redução da deposição em relação a calda preparada com o inseticida biológico. A variável analisada apresentou alto grau de dependência espacial para todos os tratamentos.

Palavras-chave: inseticida biológico; deriva; surfactante; óleo vegetal; krigagem.

CHAPTER 3

GEOSTATISTICAL MODELING OF THE INFLUENCE OF ADJUVANTS AND WIND SPEEDS ON DRIFT DEPOSITION IN BIOINSECTICIDE APPLICATIONS IN WIND TUNNEL

ABSTRACT

Most research in the area of application technology evaluates the interaction between adjuvants and agrochemicals, making studies necessary to evaluate the behavior of adjuvants in association with other classes of pesticides. In this context, the objective was to evaluate the influence of adjuvants and wind speed intensity on spray deposition and drift in simulated applications with bioinsecticide based on *Bacillus thuringiensis*. The experiment was carried out in an open circuit wind tunnel, of the blower type, installed in the agricultural machinery laboratory of the State University of Goiás – Central Campus. The research was conducted in a completely randomized design, in a 5 x 4 x 4 factorial scheme, with three replications. The treatments consisted of five horizontal distances in relation to the spraying point (0.45m; 0.75m; 1.05m; 1.35m and 1.65m), four wind speeds inside the tunnel (1 m s⁻¹, 2 m s⁻¹, 3 m s⁻¹ and 4 m s⁻¹) and four spray solution formulations (Water, Dipel®, Dipel® + Veget'Oil®, Dipel® + Break Thru®). To collect deposition, artificial targets were used positioned transversely to the air flow and, following spraying, they were partitioned into lower, middle and upper thirds in relation to the height of the test section. The data obtained by spectrophotometry, after checking the anova assumptions, were subjected to analysis of variance (P<0.05) and when significant, the means were compared using the Tukey test and regression analysis was applied to quantitative factors, both at 5% probability. For the analyzes of classical statistics, the computer program R was used. The average values of the deposits were transformed into a percentage of drift depending on the total volume sprayed. The experimental data were subjected to geostatistical analysis, using the GS+ Version 7[®] software, and the spatial dependence was proven and the contour maps were generated by Kriging. Higher speeds resulted in an increase in the percentage of drift. The use of Break Thru® adjuvant impairs drift in the upper and middle thirds. For the lower third, at a speed of 1 m s⁻¹, the addition of Break Thru® adjuvant reduced drift, but at 4 m s⁻¹ the use of adjuvants did not promote a reduction in deposition in relation to the mixture prepared with the insecticide. biological. The analyzed variable showed a high degree of spatial dependence for all treatments.

Keywords: biological insecticide; drift; surfactant; vegetable oil; kriging.

14. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa atualmente posição de destaque quando o assunto é produção agrícola. O modelo agrícola adotado no País, entretanto, está fortemente vinculado ao uso de agrotóxicos. Em meio a esse cenário, o uso desses produtos químicos têm sido alvo de crescente preocupação e debates, devido seus efeitos adversos na segurança dos alimentos e no meio ambiente, possibilitando que os produtos de base biológica sejam uma importante alternativa. Além do mais, pesquisas demonstram o potencial do uso de adjuvantes nas caldas de pulverização de modo a minimizar os prejuízos sociais e ambientais provindos de pulverizações agrícolas (ANDRADE et al., 2015; FERREIRA, 2015; PELAEZ e MIZUKAWA, 2017).

Os bioinseticidas, também conhecidos como entomopatógenos, correspondem aos insumos destinados ao controle biológico de insetos, sendo esses constituídos de microorganismos, como a bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt). Essas bactérias são esporulantes, gram-positivas, formadora de esporos, que sintetiza uma extraordinária diversidade de proteínas inseticidas e tem demonstrado seu potencial e segurança como agente de biocontrole ao longo de mais de cinco décadas. Atualmente, o Brasil dispõe de mais de 37 produtos com essa composição (PALMA et al., 2014).

No que diz respeito aos adjuvantes, Cunha et al. (2010) elencam que esses produtos são adicionados à calda de pulverização para aumentar a eficiência biológica dos ingredientes aditivos. A adição desses insumos promove melhoras na aderência, redução de espuma, evaporação e volatilização, no espalhamento da gota, aumento da absorção do ingrediente ativo e dispersão da calda de pulverização. No entanto, é imprescindível estabelecer o efeito final do insumo sem considerar a composição do fitossanitário (BAIO et al., 2015; CUNHA et al., 2017; CUNHA e PERES, 2010; CHECHETTO et al., 2013).

De modo geral, dispor de tecnologias nas práticas agrícolas não é sinônimo de eficiência. Para garantir o tratamento fitossanitário eficaz é preciso o uso de técnicas que garantam a deposição do ingrediente ativo no alvo de forma uniforme, minimizando-se as perdas por deriva e garantindo o controle de agentes patogênicos (MARTINI et al., 2017). Segundo Bellucci et al. (2017), a eficiência de produtos fitossanitários depende da tecnologia adotada e de fatores do momento da aplicação, como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Dentre as condições meteorológicas que influem na eficiência das pulverizações, isto é, nos depósitos de deriva, a intensidade da velocidade do vento merece posição de destaque. Essa variável, em condições adversas, é responsável pelo arraste de gotículas para fora dos alvos de aplicação. Nas diversas literaturas, recomenda-se que a maioria das aplicações ocorra

com valores entre 0,83 e 2,78 m s⁻¹, mas estudos precisos sobre a influência da velocidade no potencial de deriva apresenta como fator limitante a impossibilidade de controlar essa variável em campo. Por essa razão, pesquisas nessa área devem ser realizadas em túneis de vento que possibilitam uma velocidade específica e um padrão de fluxo predeterminado (BONADIO et al., 2015; MADUREIRA, 2015; ZHANG et al., 2018).

Nesse contexto, diante dessa variação dos depósitos de deriva em função do uso de adjuvantes e a velocidade do vento no momento das aplicações, a geoestatística pode ser utilizada para modelagem matemática da distribuição espacial da deriva. Além do mais, uma vez determinado e ajustado, o modelo para dependência espacial nos semivariogramas permite construir mapas interpolados, pela técnica da krigagem, que mostram o padrão de distribuição espacial da variável estudada (GREGO e VIEIRA, 2005).

Portanto, considerando a importância de se conhecer a interação entre adjuvantes, bioinseticida, velocidade do vento e associá-los à geoestatística, foi realizada uma pesquisa objetivando estudar o efeito da intensidade do vento e adjuvantes em calda de pulverização, elaborada com inseticida biológico a base de *Bacillus thuringiensis*, na deposição de deriva em um túnel de vento.

15 MATERIAL E MÉTODOS

15.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL EXPERIMENTAL

O experimento foi em túnel de vento instalado no laboratório de Máquinas agrícolas da Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Central Sede Anápolis. O túnel de vento é de circuito aberto do tipo soprador de seção de testes quadrada, com 0,60 m de aresta e 1,8 m de comprimento, com um sistema de abertura para manuseio das amostras. O sistema de propulsão do túnel é constituído por ventilador axial, acionado por um motor trifásico com 1,5 cv e um inversor de frequência da marca Allen bradley, modelo Power Flex 40.

O sistema de pulverização do túnel foi construído com um reservatório cilíndrico, com capacidade de 5 L no qual a calda de pulverização foi armazenada e pressurizada, e a ponta ADGA 02 (jato leque - Anti-Deriva de Ângulo 120°), acoplada no bico de pulverização que foi instalado na parte superior do túnel, isto é, 0,60 m de altura e 0,15 em relação a entrada da seção de testes. A pressurização foi realizada por um pulverizador costal com injeção de gás carbônico (CO₂), de fabricação da Herbicat, na pressão de 310,3 kPa, o que gera uma vazão de 0,81 L min⁻¹ e gotas classificadas como finas, conforme especificações do fabricante.

Durante a obtenção das amostras as condições meteorológicas apresentaram umidade relativa do ar entre 33,8% e 54,6%, temperatura do ar entre 25,2 °C e 29,4°C, mensuradas por um Termo-higro-anemômetro digital portátil modelo THAR-185 e marca Instrutherm, com coletas em intervalos de tempo tomados aleatoriamente no período de aplicação. Em seguida a coletas, as análises foram realizadas no laboratório de Pós-colheita, do Centro de Pesquisa e Pós-graduação (CPPG).

15.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial de tratamentos 5 x 4 x 4, com três repetições, totalizando 240 parcelas experimentais, foi utilizado para avaliação dos tratamentos. As parcelas foram constituídas por cinco distâncias horizontais a favor do vento e em relação ao ponto de pulverização (0,45m; 0,75m; 1,05m; 1,35m e 1,65m), quatro velocidades do vento no interior do túnel (1 m s⁻¹, 2 m s⁻¹, 3 m s⁻¹ e 4 m s⁻¹) e quatro formulações da calda de pulverização (água + corante, bioinseticida + corante, bioinseticida + óleo vegetal + corante e bioinseticida + surfactante + corante).

15.3 CALDAS DE PULVERIZAÇÃO

Para a composição das caldas foi utilizado o inseticida biológico Dipel[®], produzido pela Sumitomo, e elaborado a base de *Bacillus thuringiensis*, var. *kurstaki* cepa HD-1, acrescido

dos adjuvantes Veget'Oil[®] e Break Thru[®]. A Descrição das caldas que foram utilizadas podem ser verificadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Descrição das caldas utilizadas no experimento, conforme a bula dos produtos.

Composição das caldas (Bioinseticida + adjuvante)	Tipo e composição do adjuvante	Dose/ Concentração
Água (Testemunha)	-	-
Dipel [®]	-	0,1% v v ⁻¹
Dipel [®] + Veget'Oil	Óleo vegetal a base de ésteres de ácidos Graxos de origem vegetal e outros ingredientes	0,1% v v ⁻¹ + 0,1% v v ⁻¹
Dipel [®] + Break Thru	Surfactante a base de óleo vegetal, Borato de monoetanolamina e outros ingredientes	0,1% v v ⁻¹ + 0,1% v v ⁻¹

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As caldas foram preparadas no mesmo dia da utilização, a 25°C, conforme doses dos produtos recomendadas pelos fabricantes, e solução traçadora Azul Brilhante (*FD&C Blue n.1*) catalogado internacionalmente pela “*Food, Drug & Cosmetic*”, na proporção de 3,2 g L⁻¹, conforme metodologia adaptada de Palladini et al. (2005).

15.4 CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS DE DERIVA DE PULVERIZAÇÃO

Para determinação da deposição de calda utilizou-se o método de análise da concentração da solução traçadora Azul Brilhante (*FD&C Blue n.1*), na solução de lavagem dos fios coletores distribuídos no interior do túnel de vento. O tempo de pulverização por repetição foi 10 segundos, determinado com o auxílio de cronômetro digital, o que gerou uma vazão de 0,135 litros.

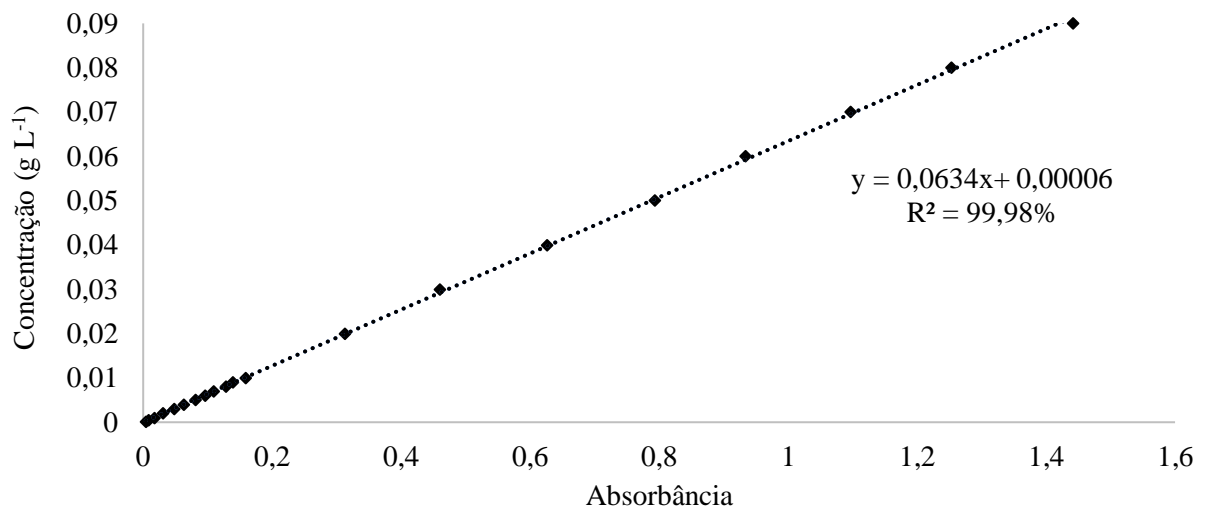
Os fios coletores, sendo esses de lã e com dimensões de 2,0 mm de diâmetro e 0,6 m de comprimento, foram posicionados transversalmente ao fluxo de ar, nas distâncias de 0,45; 0,75; 1,05; 1,35 e 1,65 m de distância em relação à ponta de pulverização e 0,30 m em relação as paredes da seção de testes, conforme metodologia adaptada de Madureira et al. (2015).

Após o término de cada ensaio os alvos artificiais totais foram divididos em três partes de mesmo tamanho, sendo cada de 0,200 m, e identificados, de acordo com a posição em relação ao piso do túnel, em terço inferior, médio e superior. Em seguida, os foram retirados e acondicionados dentro de copos plásticos identificados com o respectivo tratamento e repetição. Para extração da solução traçadora, foram adicionados 30 mL de água destilada e, posteriormente, submetido à agitação manual por 30 segundos. A partir da solução formada, a

quantificação do marcador foi determinada por absorvância em espectrofotometria, utilizando um espectrofotômetro, da marca Tecnal, modelo UV-5100, no comprimento de onda de 630 nm para o azul brilhante, conforme metodologia de Palladini et al. (2005).

Para obtenção do depósito nos alvos, foi feita a curva de calibração do espectrofotômetro, elaborada em planilha eletrônica, a partir de soluções com concentrações entre $0,0001 \text{ g L}^{-1}$ e $0,090 \text{ g L}^{-1}$ de corante, que gerou uma equação de regressão, conforme Figura 15.

Figura 15 - Curva de calibração para concentrações conhecidas do corante Alimentício Azul Brilhante (FD&C nº 1) e equação de regressão da reta obtida.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os dados de absorvância foram transformados em concentração (g L^{-1}) e de posse da concentração inicial (g L^{-1}) e do volume de diluição das amostras (30 mL), foi determinado o volume retido nos terços inferior, médio e no solo, de acordo com a Equação 8.

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f \quad (8)$$

Em que:

C_i é a concentração inicial de solução traçadora na calda de aplicação (mg L^{-1});

V_i é o volume retido pelo alvo (mL);

C_f é a concentração detectada em densidade óptica (mg L^{-1}); e

V_f é o volume de diluição da amostra de cada alvo (mL).

Os valores médios dos depósitos de cada um dos alvos serão transformados em porcentagem de deriva, conforme Equação 9 e em função do volume total pulverizado.

$$D = \left(\frac{v_d}{v_p} \right) \cdot 100 \quad (9)$$

Em que:

D é a porcentagem de deriva;

v_d é o volume dos depósitos; e

v_p é o volume total pulverizado.

15.5 ANÁLISE DOS DADOS

15.5.1 Estatística clássica

Os dados serão submetidos aos testes de Bartlett e Lilliefors para verificar, respectivamente, as condições de homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos. Para que os pressupostos fossem atendidos foi necessário realizar a transformação logarítmica. Após verificação foi realizada a análise de variância aplicando-se o teste F, a 5% de probabilidade. Quando significativas, as médias serão comparadas pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para o estudo do efeito dos fatores velocidade do vento e distância horizontal foi empregada a análise de regressão. Para as análises estatísticas foi utilizado o software R (R CORE TEAM 2015).

15.5.2 Análise Geoestatística

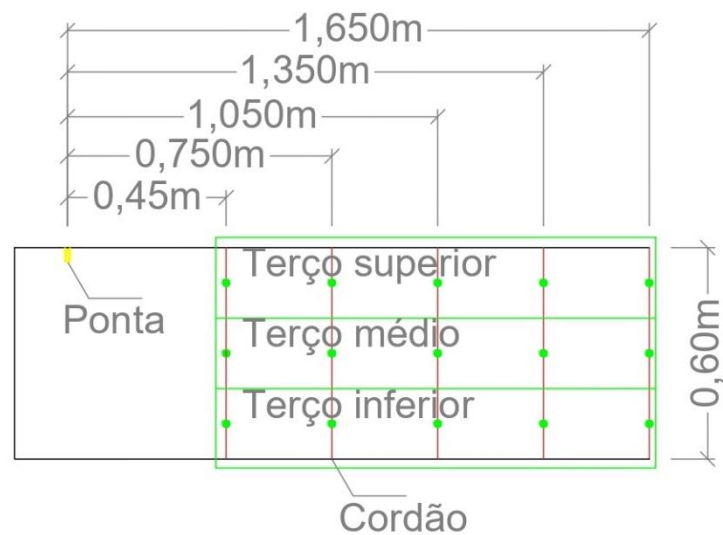
No primeiro momento, foi realizada a estatística descritiva com o propósito de avaliar a dispersão e distribuição dos dados para a deposição de calda em função da velocidade do vento e constituição de calda no interior da seção de teste do túnel de vento. Foram calculadas as seguintes medidas descritivas: média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, curtose, assimetria e coeficiente de variação. Os critérios adotados para classificação dos coeficientes de variação (CV) das variáveis, seguiram as classes de magnitudes para baixo ($CV \leq 12\%$); médios ($12\% \leq CV \leq 62\%$) e altos ($CV \geq 62\%$), conforme classificação adaptada por Lima et al. (2015).

Para caracterização da variabilidade espacial, utilizou-se a análise geoestatística, onde cada um dos tratamentos foi analisado de forma individual, identificando a sua dependência espacial pelo cálculo dos semivariogramas. A seleção do modelo matemático dos semivariogramas ajustados, seguiu os critérios de seleção da menor soma dos quadrados dos resíduos (RSS); maior coeficiente de determinação (R^2) e maior grau de dependência espacial (GDE), conforme Monteiro et al. (2017). Os modelos dos semivariogramas foram ajustados utilizando o software GS+, versão 7. Comprovada a dependência espacial das variáveis

estudadas, utilizou-se o método de interpolação da Krigagem ordinária para estimar os valores em locais não medidos.

Para essa finalidade, o comprimento e a altura da seção de teste foram considerados, respectivamente, como eixo das abscissas e ordenadas. Para modelagem, o volume de calda depositado foi considerado no ponto médio do terço inferior, médio e superior, ou seja, a 0,100 m; 0,300 e 0,500 em relação ao piso do túnel e nas distâncias horizontais 0,45m; 0,75m; 1,05m; 1,35m e 1,65m, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Malha amostral para modelagem de semivariogramas da deposição de calda em túnel de vento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

16 RESULTADOS E DISCUSSÃO

16.1 ESTATÍSTICA CLÁSSICA

Os valores dos quadrados médios e as respectivas significâncias estatísticas relativas aos depósitos de deriva no Terço superior, médio e inferior são apresentados na Tabela 6. Pela análise verifica-se que houve efeitos dos tratamentos sobre a deriva nos terços superior, médio e inferior. Além do mais, é possível constatar a interação entre os fatores velocidade do vento na seção de teste e calda de pulverização para o terço inferior.

Tabela 6 - Síntese da análise de variância para os depósitos de deriva no Terço superior (TS), Terço médio (TM) e Terço inferior (TI) em função das diferentes velocidades, distâncias horizontais e caldas de pulverização.

Fonte de variação	Quadrado médio das variáveis analisadas			
	GL	TS	TM**	TI**
V	3	3680,77*	0,8038*	1,099*
D	4	2428,47*	0,5914*	0,913*
C	3	5329,3*	0,0785*	0,040*
V*D	12	96,37 ^{ns}	0,0023 ^{ns}	0,007 ^{ns}
V*C	9	79,21 ^{ns}	0,0048 ^{ns}	0,029*
D*C	12	18,46 ^{ns}	0,0031 ^{ns}	0,003 ^{ns}
V*D*C	36	27,87 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Resíduo	160	74,44	0,0021	0,005
Total	239			
CV(%)		14,81	2,43	3,42

(* signficativo e (^{ns}) não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F; CV: coeficiente de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio;

**Os dados foram transformados em log de x para análise estatística.

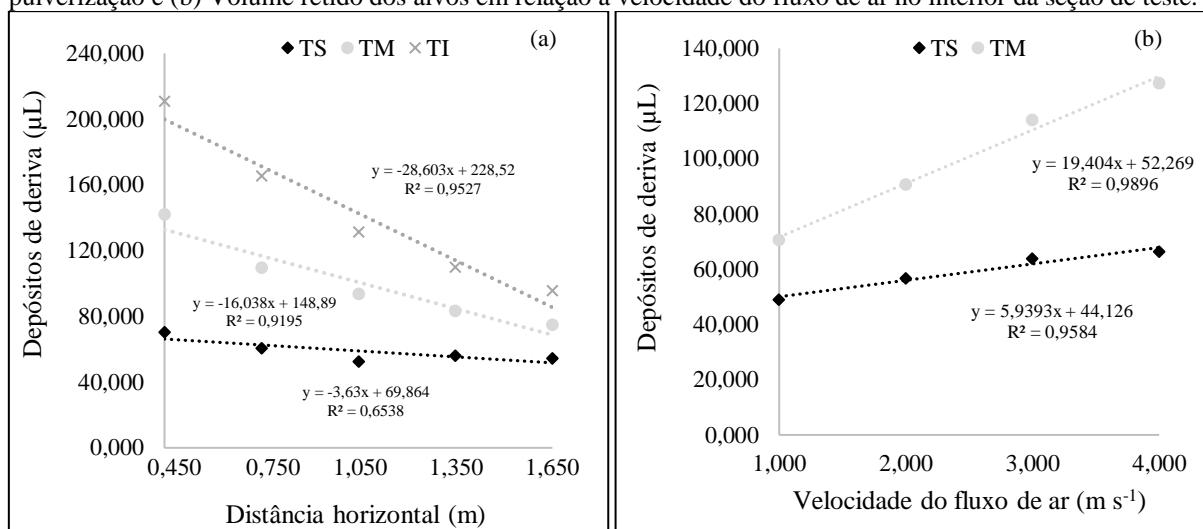
Velocidade (V), Distância (D), Calda (C).

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Por apresentar diferença significativa de forma isolada, a 5% de probabilidade pelo teste de F, os fatores velocidade do vento na seção de testes e distância horizontal dos alvos em relação ao ponto de pulverização foram analisados separadamente. Os depósitos retidos nos terços superior, médio e inferior, em μL , em função das distâncias estão apresentados na Figura 17(a) e em função da velocidade do ar na Figura 17(b).

É possível observar na Figura 17(a) que os depósitos retidos nos alvos, independente da distância horizontal, sempre foi maior para o terço inferior, seguido pelo terço médio e superior, respectivamente. Segundo Moreira Junior e Antuniassi (2010), esse comportamento dos depósitos mostra que, apesar das gotas serem carregadas pelo vento, o efeito da gravidade é significativo no processo, concentrando as gotas na parte mais baixa de alvos coletores. Além disso, quanto maior for a distância horizontal, menores são os valores de deposição de calda.

Figura 17 - (a) Depósitos de deriva retidos nos alvos em função das distâncias dos alvos em relação ao ponto de pulverização e (b) Volume retido dos alvos em relação a velocidade do fluxo de ar no interior da seção de teste.



Nota: Terço superior (TS), Terço médio (TM) e Terço inferior (TI)

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Conforme ilustrado na Figura 17(b), a velocidade é fator determinante para o arraste de gotas. Dessa maneira, independente do terço analisado, a velocidade de 1 m s^{-1} é responsável por gerar menores depósitos nos alvos coletores e esses valores são incrementados para cenários de maior velocidade do vento. Para todos os cenários simulados, nota-se que os volumes retidos nos alvos em função da velocidade são maiores no terço médio.

Conforme a Tabela 7, verifica-se que foi encontrado diferença para a deposição de deriva nos terços superior e médio. Para o terço superior, a calda formulada com o inseticida biológico e Veget'Oil[®] apresentou maior deposição média, mas não se diferiu estatisticamente da calda preparada apenas com o Dipel[®]. Em contrapartida, a calda com o adjuvante Break Thru[®] apresentou resultados estatisticamente similares a calda sem ingrediente ativo. Para o terço médio, nota-se que a calda de Dipel[®] apresentou maior deposição de gotas e se diferiu das demais constituições de calda. Assim, como no terço superior, a combinação entre Dipel[®] + Break Thru[®] retornou menores depósitos retidos nos alvos.

Tabela 7 – Depósitos de deriva no Terço superior (TS) e Terço médio (TM), em µL, para as diferentes constituições de calda.

Calda de pulverização	TS	TM
Água	51,912b	99,353b
Dipel [®]	67,009a	108,387a
Dipel [®] + Veget'Oil [®]	67,192a	103,870b
Dipel [®] + Break Thru [®]	49,782b	91,507c

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

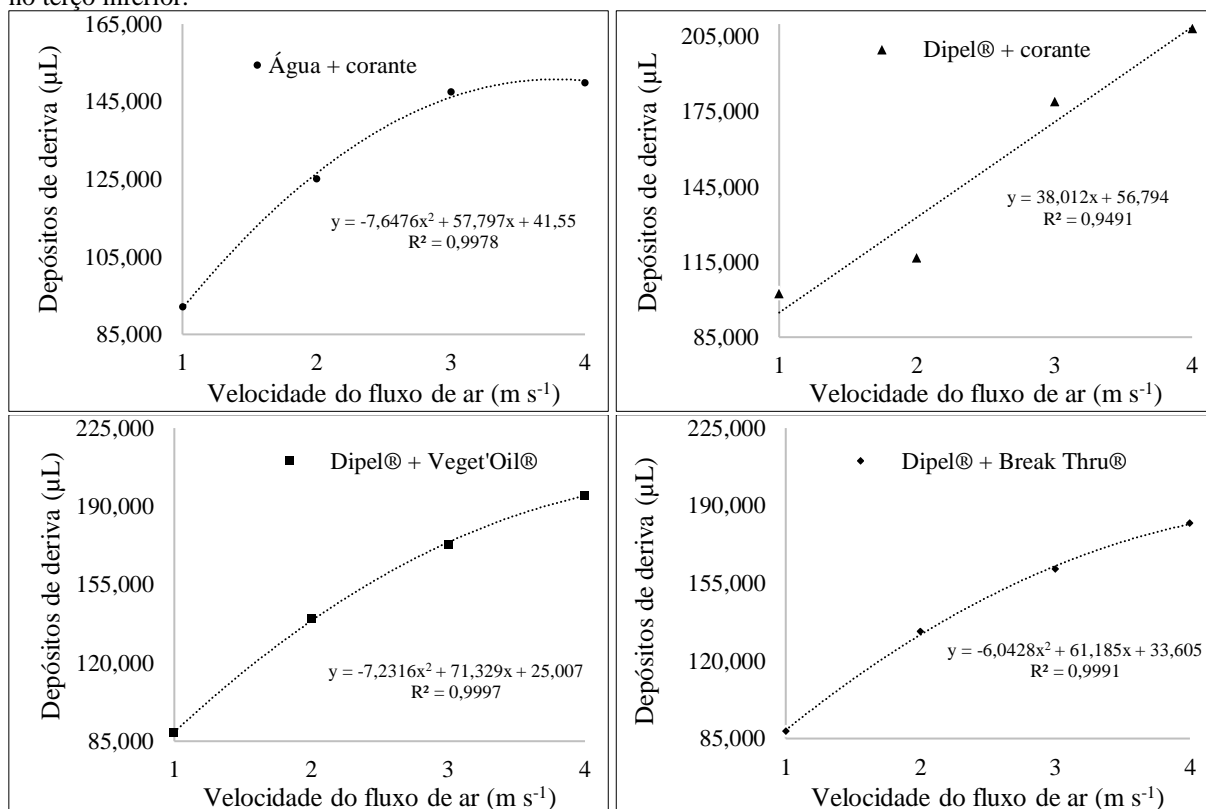
Pela análise do volume médio dos depósitos em alvos localizados no terço superior e médio não a interação entre os fatores velocidade e calda não foi significativo. Todavia, nos alvos posicionados na parte inferior da seção de testes do túnel de vento foi observada significância, a 5% de probabilidade, conforme Tabela 6. O desdobramento da interação velocidade do fluxo de ar e caldas de pulverização para a deposição de calda no terço inferior está apresentado na Tabela 8 e Figura 18.

Tabela 8 - Desdobramento da interação velocidade do fluxo de ar e caldas de pulverização para a deposição de deriva no terço inferior.

Velocidade (m s ⁻¹)	Calda de pulverização			
	Água	Dipel®	Dipel® + Veget'Oil®	Dipel® + Break Thru®
1,000	92,191 ab	102,600 a	88,783 ab	88,268 b
2,000	125,079 ab	116,877 b	139,701 a	133,242 ab
3,000	147,586 b	179,326 a	172,946 ab	161,336 ab
4,000	149,885 b	208,490 a	194,938 a	182,139 a

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 18 - Análise de regressão da velocidade do fluxo de ar e caldas de pulverização para os depósitos de deriva no terço inferior.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

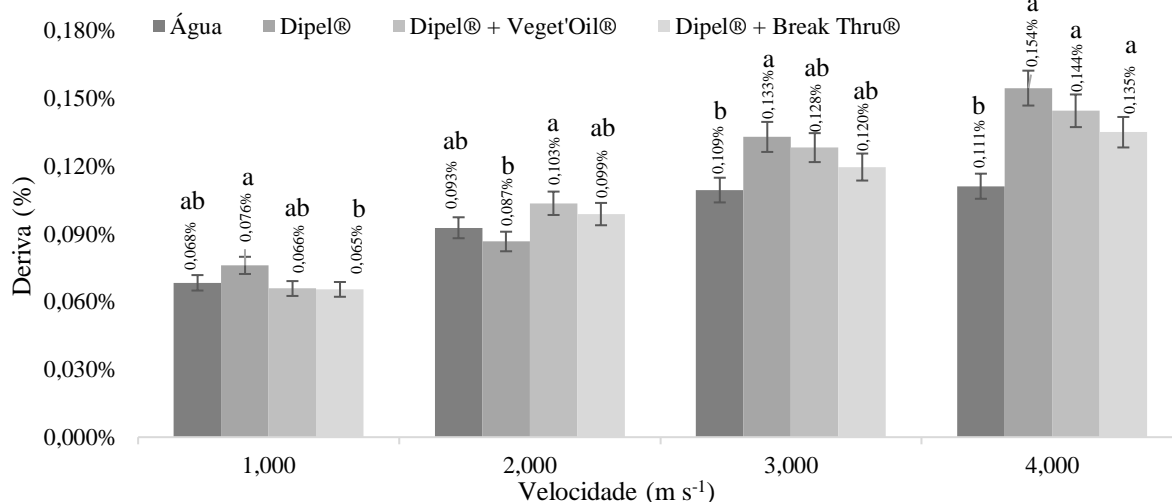
Constata-se que para a velocidade de 1 m s⁻¹ a calda constituída apenas com o Dipel® possibilitou obter maior depósito de gotas enquanto o menor quantitativo foi obtido na mistura

entre Dipel® e Break Thru®. Para a velocidade simulada de 2 m s⁻¹, a calda apenas com bioinseticida diferiu estatisticamente da preparada com o óleo vegetal Veget'Oil®, sendo que o maior volume médio retido, cujo valor é 139,701 µL, foi verificado na pulverização da calda com o adjuvante. Na velocidade de 3 m s⁻¹, a calda com o Dipel® se diferiu da pulverização com água, visto que a diferença entre os depósitos é superior a 17%.

Para a velocidade de 4 m s⁻¹, a pulverização com água proporcionou o menor volume médio de depósito, sendo estatisticamente diferente das caldas compostas de bioinsetida e adjuvantes. Além do mais, apesar do adjuvante Break Thru® ter possibilitado o menor volume depositado no terço inferior, a adição do produto não diferiu estatisticamente da calda contendo Dipel® + Veget'Oil® e Dipel®. Em estudo sobre influência de adjuvantes sobre o espalhamento de gotas, Baio et al. (2015) verificaram que o adjuvante Break-Thru foi o que proporcionou a redução mais significativa da tensão superficial, o que é uma característica desejável sob o ponto de vista da Tecnologia de Aplicação.

Na Figura 19, observa-se os volumes depositados nos alvos transformados em porcentagem de deriva, em função da constituição da calda de pulverização e velocidade do fluxo de ar.

Figura 19 - Valores médios de porcentagem de deposição de calda de pulverização nos alvos artificiais, posicionados no terço inferior, expressos em porcentagem de deriva (médias ± IC95%) para as diferentes caldas de pulverização em ambiente controlado com diferentes velocidades do vento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os valores médios de deriva (%) para os tratamentos analisados variam entre 0,065% e 0,154%. Observa-se que, independente da constituição da calda, pulverizações realizadas com velocidade do vento maior implicam um incremento no percentual da deriva. Fato semelhante foi obtido por Vieira et al. (2019), que estudando a interação entre adjuvantes e pontas de

pulverização em ambiente com velocidade simulada, constatou que ao dobrar a velocidade do vento, a porcentagem de deriva aumentou para todas as soluções de aplicação.

Além disso, ao analisar as médias de deriva, verifica-se que a calda acrescida de adjuvantes, na velocidade de 1 m s^{-1} , foi menos propensa a ação do vento, mas esse fato não foi observado para as demais velocidades. Para a velocidade de 3 m s^{-1} e 4 m s^{-1} , a solução de água e Dipel® apresentaram o maior percentual de deriva.

16.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA DERIVA

No estudo da análise descritiva da deposição de calda para os tratamentos foram realizados cálculos de medidas, apresentados na Tabela 9. Verifica-se que o coeficiente de variação (CV) varia entre 32,40% e 59,04% e são classificados como média variação, conforme metodologia de Lima et al. (2015).

Tabela 9 - Estatística descritiva da deposição de deriva (μL), no interior do túnel de vento, em função da calda de pulverização e velocidade do vento.

Tratamentos		Medidas descritivas							
Velocidade (m s^{-1})	Calda	Média	Med.	Mín.	Máx.	D.P.	Curt.	Assim.	CV (%)
1,00	Água	68,40	62,12	36,36	139,98	29,39	0,99	1,08	42,96%
	Dipel®	71,81	64,69	51,81	138,59	23,26	4,17	1,97	32,40%
	Dipel® + Veget'Oil®	63,41	52,21	35,57	164,55	33,88	5,30	2,15	53,44%
	Dipel® + Break Thru	68,40	62,12	36,36	139,98	29,39	0,99	1,08	42,96%
2,00	Água	94,26	84,70	58,55	178,42	33,15	1,71	1,30	35,16%
	Dipel®	100,51	82,72	57,76	216,85	43,84	2,41	1,56	43,61%
	Dipel® + Veget'Oil®	86,09	70,24	40,92	210,31	50,83	1,61	1,49	59,04%
	Dipel® + Break Thru®	87,48	83,32	38,74	193,87	42,91	1,24	1,12	49,06%
3,00	Água	122,00	111,45	59,94	264,01	59,84	0,84	1,14	49,05%
	Dipel®	121,19	107,88	62,91	263,01	55,55	1,74	1,30	45,84%
	Dipel® + Veget'Oil®	107,48	96,39	48,25	239,04	56,66	0,53	1,06	52,72%
	Dipel® + Break Thru®	107,00	102,73	51,81	214,28	47,11	0,32	0,85	44,03%
4,00	Água	140,24	130,27	65,88	269,95	65,62	0,40	0,72	46,79%
	Dipel®	133,36	120,56	59,74	286,79	64,19	0,90	1,10	48,13%
	Dipel® + Veget'Oil®	119,73	116,60	47,06	234,48	59,91	0,82	0,49	50,04%
	Dipel® + Break Thru®	110,39	107,88	51,62	205,16	47,68	0,54	0,53	43,19%

Med. – Mediana; Min. – Mínimo; Máx. – Máximo; D.Pad. – Desvio Padrão; Curt. – Curtose; Assim. – Assimetria; CV (%) – Coeficiente de Variação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Essa variabilidade pode ser atribuída ao comportamento da deposição de calda em relação a distâncias horizontais de coleta e distâncias verticais, isto, é, alturas a partir do piso da seção de teste, que apresentam, para ambos os casos, a tendência de redução dos depósitos com o incremento das respectivas distâncias. Além do mais, verifica-se que os valores médios são sempre superiores às medianas, logo, constata-se que os dados estão concentrados abaixo do valor médio, o que configura valores positivos, variando entre 0,49 e 2,45, para a assimetria. Os resultados da curtose evidenciam que os dados não seguem distribuição normal.

Assim como verificado nesse estudo, Corado Neto (2015) obteve coeficientes de assimetria e curtose com distribuições assimétricas, mas verificou que os valores médios e mediana das variáveis estudadas se evidenciaram similares e se aproximaram de uma distribuição normal. Para Assumpção e Hadlich (2017), caso a distribuição dos dados não seja normal, mas seja razoavelmente simétrica, pode-se admitir as hipóteses necessárias à construção do semivariograma. Por outro lado, Vieira e Lombardi Neto (1995) elencam que as análises geoestatísticas não requerem o conhecimento da distribuição de frequências da variável analisada.

Na Tabela 10 estão apresentados os parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados para os valores de deposição de deriva (μL) em função de sua constituição e velocidade do vento no momento das aplicações.

Com base nos resultados, verifica-se que o parâmetro analisado, para todos os tratamentos, apresentou dependência espacial muito alta, conforme classificação de Dalchiavon e Carvalho (2012), visto que os valores do grau de dependência sempre foram superiores a 80%. Quanto aos semivariogramas, para velocidades de até 3 m s^{-1} , o modelo matemático Gaussiano apresentou, independente da calda pulverizada, melhores ajustes. Entretanto, para a velocidade de 4 m s^{-1} , o modelo linear manifestou melhor desempenho, conforme metodologia de Monteiro et al. (2017).

Rodrigues et al. (2016), avaliando a deposição pulverização pneumática realizada por equipamento tipo canhão na copa de cafeeiros da variedade Conilon, selecionaram os modelos esférico e gaussiano para ajuste dos semivariogramas. Lacerda (2014), estudando a dependência espacial da deposição de gotas na aplicação de solução aquosa com o uso de adjuvantes agrícolas, obteve ajuste ao modelo matemático gaussiano para a variável analisada.

Para Ferraz et al. (2014), outro parâmetro de suma importância na modelagem geoestatística é o alcance (A) de semivariogramas, visto que esses valores determinam o limite da dependência espacial, ou seja, é a distância que as amostras apresentam correlacionadas espacialmente, por isso é conveniente que os valores sejam superiores ao intervalo adotado em

experimentos, fato esse verificado nesse estudo. Conforme a Tabela 10, constata-se que o menor alcance foi de 0,550 m, obtido na velocidade de 3 m s⁻¹ e utilizando as caldas com Dipel® e Dipel® + Veget'Oil®, é superior aos intervalos adotados na amostragem.

Tabela 10 - Modelos e parâmetros dos semivariogramas da deposição de deriva (µL) no interior do túnel de vento em função da calda de pulverização e velocidade vento.

Velocidade (m s ⁻¹)	Tratamentos		Parâmetros do ajuste					
	Calda	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	A (m)	R ²	RSS	GDE (%)
1,00	Água	GAUS	173	3417,76	0,53	0,64	8,99.10 ⁶	94,90%
	Dipel®	GAUS	61	3528,125	0,59	0,74	1,03.10 ⁷	98,30%
	Dipel® + Veget'Oil®	GAUS	42	2228,7	0,62	0,73	4,45.10 ⁶	98,10%
	Dipel® + Break Thru	GAUS	63	4935,47	0,60	0,73	2,12.10 ⁷	98,70%
2,00	Água	GAUS	314	8072,13	0,53	0,68	5,37.10 ⁷	96,10%
	Dipel®	GAUS	96	4717,27	0,63	0,74	1,87.10 ⁷	98,00%
	Dipel® + Veget'Oil®	GAUS	259	8460,85	0,57	0,71	5,95.10 ⁷	96,90%
	Dipel® + Break Thru®	GAUS	600	11826,59	0,57	0,69	1,15.10 ⁸	94,90%
3,00	Água	GAUS	412	10298,96	0,55	0,69	8,38.10 ⁷	96,00%
	Dipel®	GAUS	690	16884,86	0,55	0,71	2,32.10 ⁸	95,90%
	Dipel® + Veget'Oil®	GAUS	550	14381,8	0,55	0,7	1,73.10 ⁸	96,20%
	Dipel® + Break Thru®	GAUS	660	14772,94	1,42	0,71	1,80.10 ⁸	95,50%
4,00	Água	LIN	1	9449,45	0,91	0,64	8,16.10 ⁸	100,00%
	Dipel®	LIN	10	17864,71	0,79	0,67	3,07.10 ⁸	99,90%
	Dipel® + Veget'Oil®	LIN	10	17735,95	0,90	0,7	3,00.10 ⁸	99,90%
	Dipel® + Break Thru®	LIN	10	14122,5	0,74	0,65	2,04.10 ⁸	99,90%

C₀ – Efeito pepita; C₀+C₁ – Patamar; A – Alcance; R² - Coeficiente de determinação; RSS – Grau de Dependência Espacial; GAUSS – Gaussiano; LIN – Linear.

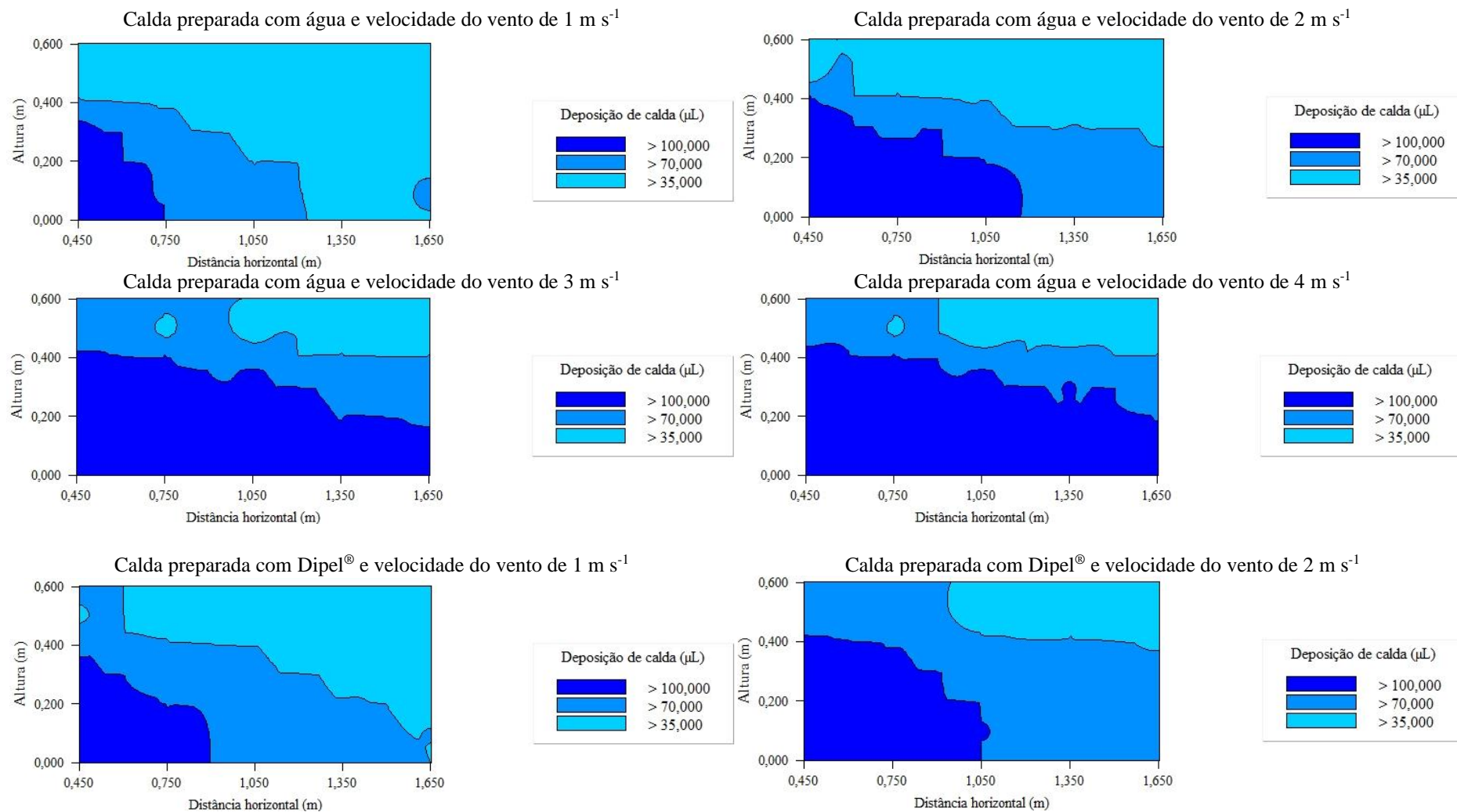
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Pita (2015), buscando avaliar e mapear a distribuição espacial na cultura da laranja em diferentes condições meteorológicas e pressões de trabalho, verificaram a ocorrência de deriva nas condições avaliadas, sendo que os mapas de interpolação foram a metodologia utilizada para quantificar esse fenômeno dentro da área amostrada. Para o autor, as condições meteorológicas exercem influência direta na deriva, sendo a velocidade e sentido do vento os principais fatores responsáveis pela deriva na área experimental.

Quando analisados os mapas de deposição, nota-se comportamento similar para todos os tratamentos, isto é, os maiores volumes depositados foram verificados na parte inicial da região amostral e entre os terços inferior e médio e esses depósitos tendem a reduzir com

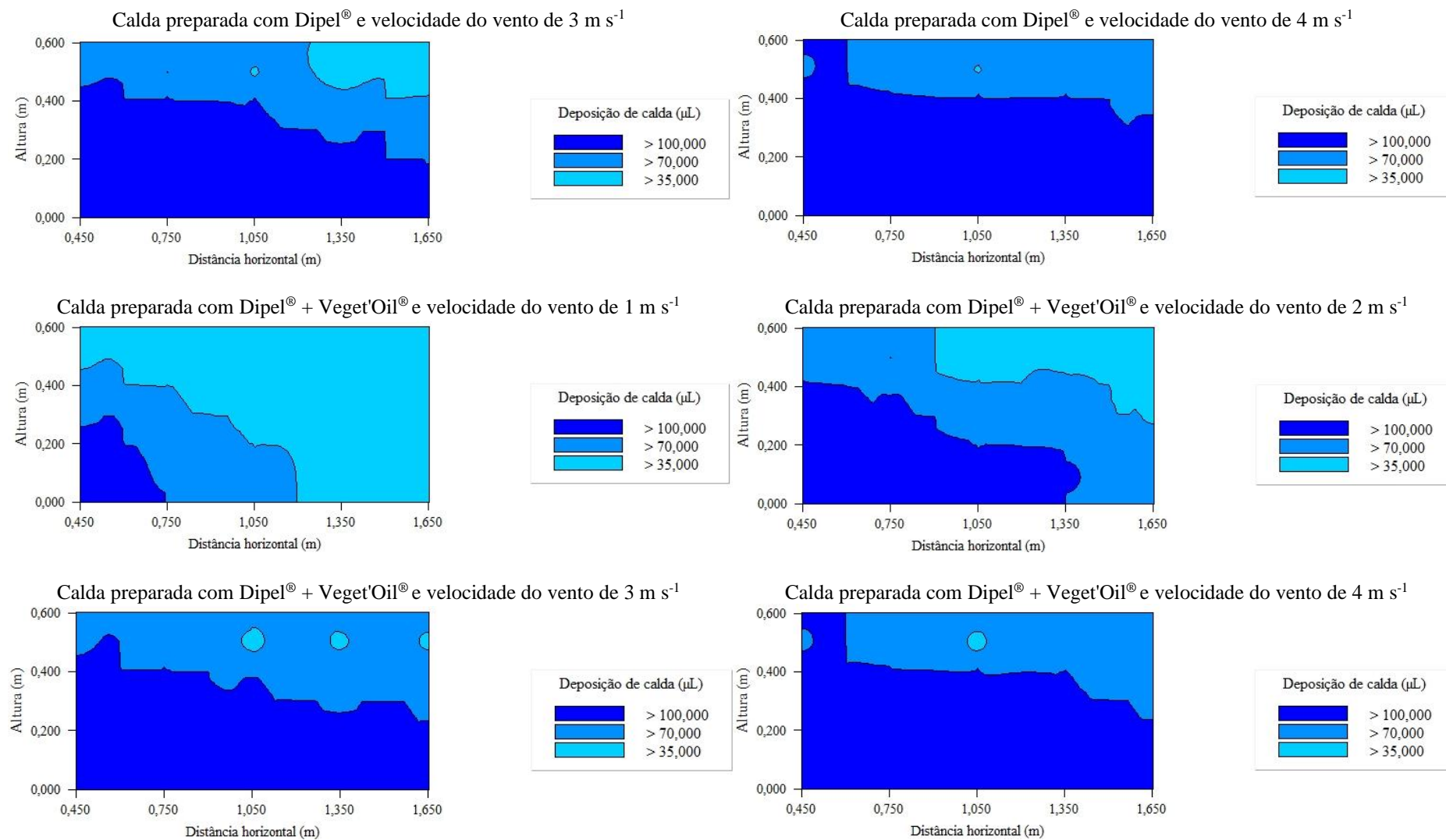
aumento da distância horizontal considerada e altura em relação ao piso da seção de testes. Os mapas da distribuição espacial da deposição de calda, gerados pelo método de interpolação de Krigagem ordinária, estão apresentados nas Figura 20, Figura 21 e Figura 22.

Figura 20 - Mapas de depósitos de deriva (μL) gerados pelo método de interpolação da Krigagem ordinária.



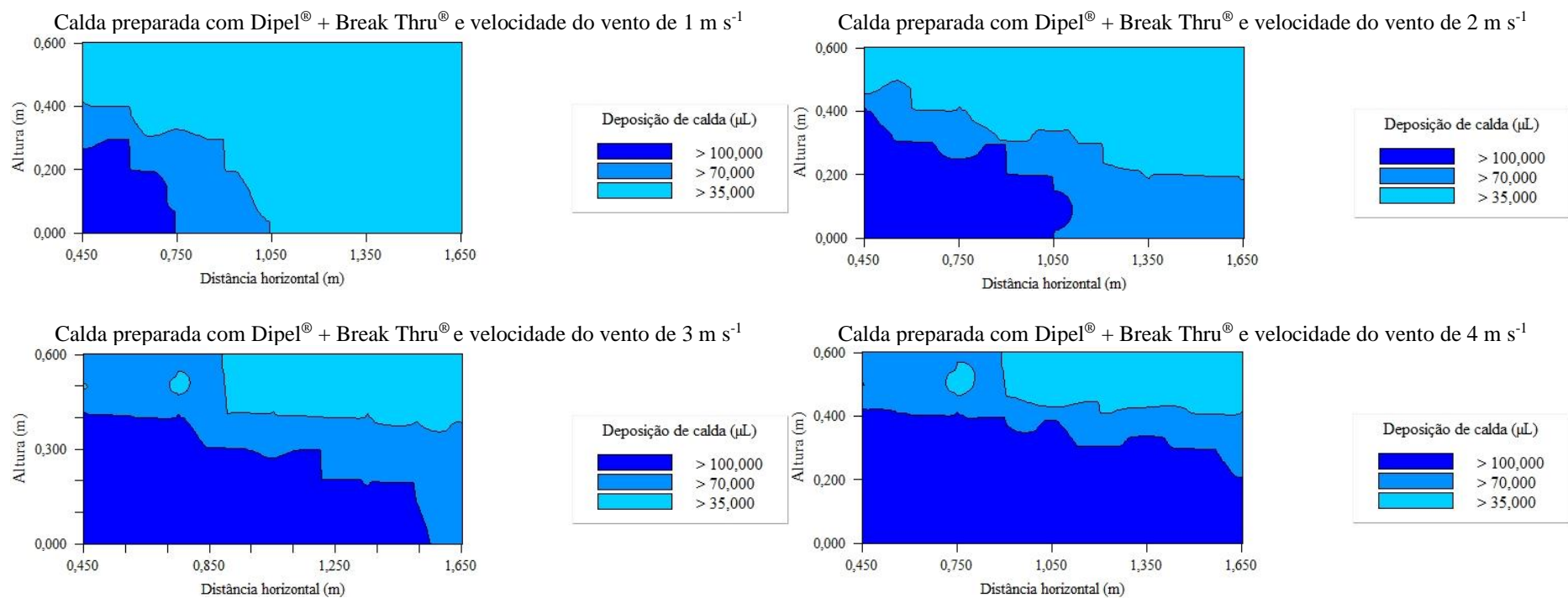
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 21 - Mapas de depósitos de deriva (μL) gerados pelo método de interpolação da Krigagem ordinária.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 22 - Mapas de depósitos de deriva (μL) gerados pelo método de interpolação da Krigagem ordinária.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

17 CONCLUSÃO

A velocidade do vento influenciou de forma significativa na deposição de calda, sendo que as pulverizações realizadas em ambientes com maiores velocidades implicaram um incremento no percentual da deriva.

No terço superior, o uso do adjuvante Veget'Oil[®] não promoveu a redução dos depósitos de deriva em relação a calda preparada com o inseticida biológico Dipel[®], contudo, a mistura a utilização do adjuvante Break Thru[®] favoreceu menos perda por deriva.

A deposição de deriva, no terço superior, utilizando o adjuvante Veget'Oil[®] não promoveu a redução dos depósitos em relação a calda apenas com o inseticida biológico Dipel[®], contudo, a mistura entre Dipel[®] e o adjuvante Break Thru[®] retornou os menores depósitos, isto é, menos perda por deriva.

No terço médio, a calda contendo apenas Dipel[®] permitiu obter maiores depósitos de deriva. Além do mais, o uso de adjuvantes reduziu os volumes depositados, sendo que a calda Dipel[®] + Veget'Oil[®] e a com apenas água (Testemunha) não se diferiram. A combinação entre Dipel[®] + Break Thru[®] favoreceu menor perda por deriva.

Para o terço inferior, na velocidade de 1 m s^{-1} , a adição do adjuvante Break Thru[®] permitiu obter menor deposição quando comparada com a calda contendo Dipel[®]. Na velocidade de 4 m s^{-1} o uso de adjuvantes não promoveu a redução da deposição em relação a calda preparada com o inseticida biológico, não se diferenciando estatisticamente, e sendo superior à testemunha.

A deriva de pulverização pode ser analisada pela geoestatística, de modo que a variável apresentou alto grau de variabilidade espacial para todos os tratamentos estudados.

Os mapas de depósitos de deriva representam uma importante ferramenta para a tecnologia de aplicação pois permitem visualizar a distribuição espacial da deriva e quantificar seu alcance dentro da área experimental.

18 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J.N.; COSTA NETO, E.M.; BRANDÃO, H. Using ichthyotoxic plants as bioinsecticide: A literature review. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas-SP, v. 17, n. 4, 649-656, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-084X/13_105. Acesso em: 08 set. 2023.
- ASSUMPÇÃO, H.C.P.; HADLICH, G.M. Estatística descritiva e estacionaridade em variáveis geoquímicas ambientais. **Engenharia Ambiental e Sanitária**, v.22, n.4, p.671-677, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017142739>. Acesso em: 14 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.
- BAIO, F.H.R.; GABRIEL, R.R.F.; CAMOLESE, H.S. Alteração das propriedades físico-químicas na aplicação contendo adjuvantes. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v.9, n.2, p.151-161, 2015. Disponível em: [10.18011/bioeng2015v9n2p151-161](https://doi.org/10.18011/bioeng2015v9n2p151-161). Acesso em: 08 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.
- BELUCCI, E.R.B.; OLIVEIRO, B.G.M. DE; CARMARGO, L.C.M. DE; GRIGOLI, O.J.; SAAB, A. Efeito de adjuvantes na vazão e porcentagem de cobertura em pulverizações. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 05, n.01, p. 117-123, 2017. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/variascientiaagraria/article/view/9957>. Acesso em: 08 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.
- BONADIO, J.A.B; ARCURI NETO, R.; COSTA, N.V.; RAMELLA, J.R.P. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas: inovações. In: **Ciências agrárias: tecnologias e perspectivas**. Oeste do Paraná: Unioeste, 2015. Cap.11, p. 207-225.
- CUNHA, J.P.A.R.; ALVES, G.S.; MARQUES, R.S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170030>. Acesso em: 08 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.
- CUNHA, J.P.A.R.; PERES, T.C.M. Influência de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.32, n.4, p.597-602, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.2502>. Acesso em: 08 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.
- CHECHETTO, R.G.; ANTUNIASSI, U.R.; MOTA, A.A.B.; CARVALHO, F.K.; SILVA, A.C.A.; VILELA C.M. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.1, p.37-46, 2013. Disponível em: [10.5433/1679-0359.2013v34n1p37](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n1p37). Acesso em: 08 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.
- CORADO NETO, F.C.; SAMPAIO, F.M.T.; VELOSO, E.C.; MATIAS, S.S.R.; ANDRADE, F.R.; LOBATO, M.G.R. Variabilidade espacial da resistência à penetração em neossolo litólico degradado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.39, p.1353- 1361, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140692>. Acesso em: 08 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.

- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.2, p.541-552, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p541>. Acesso em: 08 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.
- FERRAZ, G.A.E.F.; SILVA, F.M. DA; OLIVEIRA, M.S. DE; SILVA, F.C. DA; BUENO, R. DE L. Variabilidade espacial da força de desprendimento de frutos do cafeeiro. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.6, p. 1210–1223, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000600016>. Acesso em: 08 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- FERREIRA, M.L.P.C. A pulverização aérea de agrotóxicos no Brasil: cenário atual e desafios. **Revista de Direito sanitário**, São Paulo, v.15, n.3, p. 18-45, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v15i3p18-45>. Acesso em: 08 set. 2023.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, , v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200002>. Acesso em: 08 set. 2023.
- LACERDA, S. C. **Aplicação de calda de pulverização em um atomizador costal motorizado**. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2014. Disponível em: https://www.bdt.ueg.br/bitstream/tede/205/2/SANCHEZ_DE_CASTRO_LACERDA_M_E_A.pdf. Acesso em: 08 set. 2023.
- LIMA, F.V.; SILVINO, G.S.; MELO, R.S.S.; LIRA, E.C.; RIBEIRO, T.S. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n.4, p.53-63, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n406rc>. Acesso em: 10 set. 2023.
- MADUREIRA; R.P; RAETANO, C.G; CAVALIERI, J.D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.19, n.2, p.180–185, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000500023>. Acesso em: 08 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.
- MARTINI, A.T.; SCHLOSSER, J.F.; BARBIERI, J.P.; BERTOLLO, G.M.; NEGRI, G.M.; BERTINATTO, R. Aspectos relevantes da inspeção de pulverizados agrícolas: impactos na precisão das pulverizações de agrotóxicos. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.6, n.4, p. 72-82, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v6i4.16479>. Acesso em: 08 set. 2023. Acesso em: 08 set. 2023.
- MONTEIRO, A.; MENEZES, R.; SILVA, M.E. Modelling spatio-temporal data with multiple seasonalities: The NO₂ Portuguese case. **Spatial Statistics**, Amsterdam, v.22, n.2, p.371-387, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2017.04.005>. Acesso em: 08 set. 2023.

- MOREIRA JUNIOR, O.; ANTUNIASSI, U. R. Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.25, n.3, p.118-136, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2010v25n3p118-136>. Acesso em: 02 jan. 2023.
- PALLADINI, L.A.; RAETANO, C.G.; VELINI, E.D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Science agriculture**. Piracicaba-SP, v. 62, n. 5, p. 440-445. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000500005>. Acesso em: 02 fev. 2023.
- PALMA, L.; MUNÓZ, D.; BERRY, C. MURILLO, J.; CABARELLO, P. Bacillus thuringiensis. **Toxins: An Overview of Their Biocidal Activity**, v. 6, n.12, p. 3296-3325, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins6123296>. Acesso em: 08 set. 2023.
- PELAEZ, V; MIZUKAWA, G. Diversification strategies in the pesticide industry: from seeds to biopesticides. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria – MG, v. 47, n. 2, p. 1-7, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160007>. Acesso em: 08 set. 2023.
- PITA, J.D. **Distribuição espacial da deriva de produtos fitossanitários em pulverizações na cultura da laranja**. 2015. 63 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/cathedra/09-12-2015/000855287.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2023.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2015.
- RODRIGUES, T. F.; CANAL, L.; DA VITÓRIA, E. L.; REAL, D. L.; SIMON, C. DA P.; CRAUSE, D. H. Caracterização espacial da pulverização pneumática no interior do dossel do cafeeiro conilon. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 480-486, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.1068>. Acesso em: 08 set. 2023.
- VIEIRA, L.C.; GODINHO JUNIOR, J. DE D.; RUAS, R.A.A.; FARIA, V.R.; CARVALHO FILHO, A. Interações entre adjuvante e pontas hidráulicas no controle da deriva de Glifosato. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.34, n.3, p. 331-340, jul.-set, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2019v34n3p331-340>. Acesso em: 26 dez. 2022.
- VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, n.2, p. 405-412, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051995000200019>. Acesso em: 14 set. 2023.
- ZHANG, B.; TANG, Q.; CHEN, L.; ZHANG, R.; XU, M. Numerical simulation of spray drift and deposition from a crop spraying aircraft using a CFD approach. **Biosystems Engineering**, [S.l.], v. 166, n.1, p. 184-199, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.017>. Acesso em: 02 jan. 2023.