

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**APLICAÇÃO DE SOLUÇÃO AQUOSA NA PULVERIZAÇÃO COM  
ATOMIZADOR COSTAL MOTORIZADO**

Sanchez de Castro Lacerda

ANÁPOLIS – GO  
JULHO 2014

# **APLICAÇÃO DE SOLUÇÃO AQUOSA NA PULVERIZAÇÃO COM ATOMIZADOR COSTAL MOTORIZADO**

**SANCHEZ DE CASTRO LACERDA**

**ORIENTADOR: Professor Dr. ELTON FIALHO DOS REIS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas de Anápolis como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais, para obtenção do título de MESTRE.

ANÁPOLIS – GO  
JULHO 2014

Lacerda, Sanchez de Castro Lacerda.

Aplicação de solução aquosa na pulverização com atomizador costal motorizado / Sanchez de Castro Lacerda - 2014.

64 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Elton Fialho dos Reis.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Goiás. Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2014.

Bibliografia.

1. Adjuvante. 2. Assistência de ar. 3. Deriva. 4. Tecnologia de aplicação. 5. Variabilidade espacial. I. Título.

**APLICAÇÃO DE SOLUÇÃO AQUOSA NA PULVERIZAÇÃO COM  
ATOMIZADOR COSTAL MOTORIZADO**

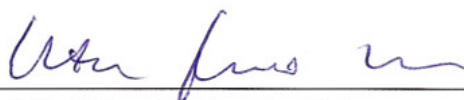
Por

Sanchez de Castro Lacerda

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de

**MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Aprovado em 22/08/2014



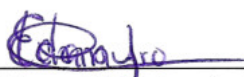
---

Prof. Dr. Elton Fialho dos Reis  
Orientador  
UEG/UnUCET



---

Profa. Dra. Sueli Martins de Freitas Alves  
Membro  
UEG/UnUCET



---

Prof. Dr. Edney Leandro da Vitória  
Membro  
UFES / CEUNES

"O impossível existe até quando alguém duvide dele e prove o contrário."

*Albert Einstein*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha sorte, ou destino, pela oportunidade e incrível experiência de vida que obtive ao conhecer o professor Elton Fialho dos Reis, exemplo de ética, visão e sabedoria. Ainda o agradeço pelos ensinamentos e críticas, pela paciência, humor e amizade em minha orientação, e claro, pelas majestosas conversas sobre a sociedade e ciência.

À minha mãe, Cleusa de Castro Messias, pelo amparo e confiança em toda minha vida, meu estandarte que me manteve firme e certo que meus objetivos seriam alcançados.

À minha amada namorada, Michelle Ribeiro Silva, pela compreensão, ajuda e compartilhamento dos momentos vividos dentro e fora da pesquisa.

Ao meu amigo Gustavo Henrique Mendes Brito pelo companheirismo e presença, pela ajuda durante os experimentos e pela amizade que, desde a graduação, espero que dure para sempre e se torne cada vez mais forte.

À professora Sueli Martins de Freitas Alves, pela prontidão na ajuda com os problemas, e não poucos, de estatística e geoestatística. Sinto-me lisonjeado por presenciar a sua virtude em associar bom humor com os cálculos da estatística, sua ajuda foi fundamental no meu desenvolvimento intelectual e pessoal, obrigado.

Aos professores Itamar Rosa Teixeira, Roberta Passini e Francisco Ramos de Melo pelos ensinamentos passados pela disciplina, e claro, pela amizade irrefutável.

Ao sr. Valdeir pela ajuda e construção da nossa plataforma e pela disposição em solucionar os problemas experimentais encontrados.

À nossa querida secretária, Eliete, pelo café e bom humor de sempre, pela amizade e por atender o telefone, nota 5 (muito satisfeito) no levantamento da UEG.

À Universidade Estadual de Goiás e o Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola (PMEA) por permitir que a pesquisa fosse possível, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES) por tornar possível a pesquisa.

À Deus e todos os amigos e pessoas que ajudaram direta/indiretamente na pesquisa, muito obrigado.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO .....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1. Tecnologia de aplicação de agroquímicos .....	12
2.2. Características de uma população de gotas.....	14
2.3. Adjuvantes de uso agrícola .....	15
2.4. Características dos pulverizadores hidropneumáticos .....	16
2.5. Perdas no processo de aplicação de calda de pulverização .....	17
2.6. Uso da geoestatística na agricultura.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	25
3.1. Caracterização da área do experimento .....	25
3.2. Caracterização da aplicação.....	26
3.3. Determinação do espectro de gotas e deposição de calda de pulverização .....	27
3.3.1. Avaliação do espectro de gotas.....	28
3.3.2. Avaliação da deposição de calda de pulverização .....	28
3.4. Análise dos dados .....	30
3.4.1. Análise descritiva dos dados.....	30
3.4.2. Variabilidade espacial do espectro de gotas e deposição de calda de pulverização .....	31
3.4.3. Delineamento estatístico .....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1. Análise descritiva dos dados.....	34
4.2. Verificação de dependência espacial e modelos teóricos .....	36
4.3. Estatística clássica.....	46
5. CONCLUSÃO .....	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
ANEXO.....	54

**LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1-</b> Dados de temperatura, umidade relativa e velocidade de vento aferidos durante as pulverizações para água e os adjuvantes óleo mineral, polímero siliconado e nonilfenol etoxilado.....	25
<b>TABELA 2-</b> Análise descritiva dos dados de deposição de calda, DMV, AR e cobertura para água e os adjuvantes polímero siliconado, óleo vegetal e nonilfenol etoxilado.....	33
<b>TABELA 3-</b> Modelos teóricos de semivariância ajustados para deposição e características do espectro de gotas e pulverização para água e os diferentes tipos de formulação de adjuvantes agrícolas.....	34
<b>TABELA 4-</b> ANOVA para deposição de calda de pulverização, dados transformados em $(X + 0.5)^{0.21}$ .....	42
<b>TABELA 5-</b> Valores médios de deposição de calda em diferentes sentidos.....	43
<b>TABELA 6-</b> Valores médios de deposição em cada distância com pulverização com bocal do atomizador à 45° em relação ao solo.....	44



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> - Variograma experimental, modelo teórico e seus parâmetros (adaptado de LANDIM e STURARO, 2002).....	20
<b>FIGURA 2</b> - Ilustração da área de deposição esperada pelo atomizador (azul) dentro da área de estudo (diagonais vermelha).....	24
<b>FIGURA 3</b> - Distribuição dos coletores de deriva sobre a área de estudo, espaçados de 3 em 3 metros, nos sentidos norte, nordeste, oeste, sudoeste, sul, sudeste, leste e nordeste.....	26
<b>FIGURA 4</b> - Gráfico e equação de ajuste para concentrações conhecidas do corante Alimentício Azul Brilhante (FD&C n° 1) em espectrofotometria com comprimento de onda de 630 nm.....	28
<b>FIGURA 5</b> - Esquema de delineamento experimental e disposição dos coletores. N - norte; NO - noroeste; O - oeste; SO - sudoeste; S - sul; SE - sudeste; L - leste; NE - nordeste.....	31
<b>FIGURA 6</b> - Mapa de deposição de calda de pulverização com o uso de atomizador costal e (a) água, e com a adição dos adjuvantes (b) polímero siliconado, (c) óleo mineral e (d) nonilfenol etoxilado, para aplicação de volume de calda de $0,4 \mu\text{L cm}^{-2}$ .....	36
<b>FIGURA 7</b> - Mapa da variabilidade espacial do DMV de pulverização com o uso de atomizador costal e (a) água, e com a adição dos adjuvantes (b) polímero siliconado, (c) óleo mineral e (d) nonilfenol etoxilado, para aplicação de volume de calda de $0,4 \mu\text{L cm}^{-2}$ .....	38
<b>FIGURA 8</b> - Mapa da variabilidade espacial da amplitude relativa de pulverização com o uso de atomizador costal e (a) água, e com a adição dos adjuvantes (b) polímero siliconado, (c) óleo mineral e (d) nonilfenol etoxilado, para aplicação de volume de calda de $0,4 \mu\text{L cm}^{-2}$ .....	39
<b>FIGURA 9</b> - Mapa da variabilidade espacial da amplitude relativa de pulverização com o uso de atomizador costal e (a) água, e com a adição dos adjuvantes (b) polímero siliconado, (c) óleo mineral e (d) nonilfenol etoxilado, para aplicação de volume de calda de $0,4 \mu\text{L cm}^{-2}$ .....	40

## RESUMO

A grande dificuldade de detecção e quantificação de deriva compõem um dos desafios na tecnologia de aplicação, principalmente em equipamentos hidropneumáticos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência espacial da deposição de pulverização, o espectro e a deriva de gotas de um atomizador costal motorizado. Foi utilizado a geoestatística como ferramenta de análise de variabilidade espacial, sendo escolhido o melhor modelo pela menor Soma de Quadrados de Resíduo (SQR) e maior Coeficiente de correlação ( $R^2$ ). Para uma análise complementar, foi realizada estatística clássica em delineamento em blocos ao acaso no esquema de parcelas subdivididas, com quatro adjuvantes (parcelas) e sete distâncias (subparcelas), resultando em 28 tratamentos, com oito repetições. Os tratamentos foram constituídos de quatro formulações de adjuvantes (Óleo mineral, polímero siliconado, nonilfenol etoxilado e água) e sete distâncias do centro de pulverização (3,0 m, 6,0 m, 9,0 m, 12,0 m, 15,0 m, 18,0 m e 20,0 m), para condições do bocal de pulverização trabalhando à 45° de inclinação em relação ao solo. Os blocos compreendiam as diferentes direções e sentidos de aplicação (norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste). Utilizou-se de solução aquosa com corante azul brilhante + adjuvante para verificação da deposição por espectrofotômetro em 630 nm. Para detecção, foi utilizado placa de vidro de 0,10 m x 0,10 m x 0,002 m, e para caracterização de gotas, etiquetas de papel hidrossensível. Para verificação de deriva considerou a diferença entre a quantidade pulverizada e a quantidade estimada de deposição. Verificou-se que a pulverização apresentou variabilidade espacial para todas as variáveis, e o vento, mesmo em condições recomendadas para aplicação de agrotóxicos, concentrou a deposição da calda aplicada no sentido noroeste. A dose aplicada ocorre somente até seis metros do centro de pulverização, o Diâmetro da Mediana Volumétrica das gotas foi de 136  $\mu\text{m}$  e ocorreu deriva de 71,50% para o total de volume de calda aplicado.

**Palavras-Chave:** Deriva. Adjuvante. Tecnologia de aplicação. Assistência de ar. Variabilidade espacial.

## ABSTRACT

The difficulty of detection and quantification of drift comprise one of the challenges in application technology, especially in hydropneumatic equipment. The aim of this study was to evaluate the spatial dependence of the deposition of spray drift and the spectrum of drops of a motorized knapsack sprayer. Geostatistical analysis was used as a tool of spatial variability, being chosen the best model by the lower sum of squares Residual (SQR) and higher correlation coefficient ( $R^2$ ). For a further analysis, was performed a classical statistical design in randomized blocks in a split plot with four adjuvants (plots) and seven distances (subplots) scheme, resulting in 28 treatments with eight replications. The treatments consisted of three adjuvant formulations (mineral oil, silicone polymer and nonylphenol ethoxylate) + water and seven distances from the center spray (3.0 m, 6.0 m, 9.0 m, 12.0 m, 15.0 m, 18.0 m and 20.0 m), the conditions for spray nozzle working at a  $45^\circ$  angle to the ground. Blocks were the different directions and senses of application (north, northeast, east, southeast, south, southwest, west and northwest). We used an aqueous solution of brilliant blue dye + adjuvant for checking the deposition by spectrophotometer at 630 nm. For detection, we used glass 0.10 m x 0.10 m x 0.002 m plates, and for characterization of the drops, water sensitive paper labels. The drift was considered by the difference between the amount sprayed and the estimated amount of deposition. It was found the spraying showed spatial variability for all variables, and the wind, even in recommended conditions for pesticide application, focused deposition of spray applied in the northwest direction. The applied dose occurs only up to six meters from the center of spraying, the Median Volumetric Diameter of the droplets was 136  $\mu\text{m}$  and occurred drift from 71.50% to total volume applied.

**Keywords:** Drift. Adjuvant. Application technology. Air assistance. Spatial variability.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da urbanização e crescimento populacional, a demanda por alimentos foi intensificada, exercendo maior pressão sobre a produtividade das terras já cultivadas. A expansão, principalmente de monocultivos para produção de alimentos, favoreceram o surgimento de pragas, e o uso de agrotóxicos surgiu como o grande amenizador de perdas, tornando-se uma necessidade para a produção em larga escala.

No entanto, o uso inadequado dos pesticidas, promovem a poluição ambiental e humana, além de perdas de valor econômico. Segundo Antuniassi e Gandolfo (2002), aproximadamente 50% das propriedades agrícolas no Brasil apresentam no mínimo cinco problemas na tecnologia de aplicação de agrotóxicos (pontas ruins, erro na taxa de aplicação, presença de vazamentos, espaçamentos incorretos e mangueiras mal localizadas) que podem comprometer a eficiência de aplicação de defensivos agrícolas.

A tecnologia de aplicação baseia-se na aplicação de calda de pulverização da maneira mais eficiente e segura, ou seja, prima-se da utilização do menor volume de calda possível para obtenção da maior cobertura, com menor índice de perda por deriva e contaminação humana. Os fatores como a característica da cultura e praga, técnicas de aplicação, condições climáticas e dose aplicada, podem ser vistos como os coeficientes da eficiência na aplicação de defensivos, norteando a seleção de equipamentos pulverizadores.

Em pulverizações com pontas que operam com pressão hidráulica, geralmente ocorre a produção de gotas bastante desuniformes, dificultando a adequada cobertura do alvo e sendo susceptíveis às perdas por deriva e escorrimento. Já os que operam com por meio de ar, as gotas apresentam características ainda maiores de desuniformidade. Estudar a população de gotas produzidas nas aplicações é uma das formas de se avaliar a qualidade da aplicação e permite entender melhor a eficácia biológica de um tratamento (BUENO et al., 2011). A deriva nas aplicações de agrotóxicos é considerada um dos maiores problemas da agricultura (CUNHA, 2008a) e a contaminação do solo é comum nos sistemas convencionais de pulverização, devido ao escorrimento da calda por gotas de grande diâmetro (MAGNO JÚNIOR et al., 2011).

A deriva é definida como a interação entre as gotas pulverizadas e a velocidade do vento local, caracterizada pela quantidade e distância em que as gotas são transportado para fora do alvo (BAETENS et al., 2009). A facilidade com que a gota é transportada pelo vento fundamenta-se no seu tamanho, que por sua vez sofre intempéries pela umidade e temperatura

do ar (CUNHA, 2008a). A aplicação em condições climáticas com umidade relativa do ar abaixo de 50% e temperatura de bulbo úmido acima de 30°C promovem a evaporação precoce das gotas pulverizadas (BOLLER et al., 2011) e ventos acima de 3 m s<sup>-1</sup> promovem o arraste de gotas finas pelo vento, caracterizando a deriva de pulverização (MINGUELA e CUNHA, 2010).

Gotas de maior diâmetro possuem maior massa, logo, sofrem menor arraste pelo vento, sendo importantes em ocasiões em que a aplicação deva ocorrer em condições climáticas críticas. A pulverização de defensivos agrícolas em culturas perenes, onde as gotas têm que ser lançadas do dossel inferior para o superior, torna-se complicada e onerosa quando realizada por equipamentos que utilizam apenas de pressão hidráulica para aplicação. Com isso, foi necessário o desenvolvimento de tecnologias que proporcionassem a produção de gotas mais finas e uniformes, a fim de reduzir a massa das gotas e facilitar o lançamento.

O uso de altas velocidade de vento como auxílio para a quebra das gotas, promovem a formação de gotas menos uniformes e menores, além de transportarem as gotas em alturas maiores. Os atomizadores são equipamentos que apresentam essa característica, e são usados como solução na pulverização de culturas perenes.

O uso de atomizadores, ou equipamentos com assistência de ar, mostram-se favoráveis na deposição de gotas nos dosséis interiores da cultura, mas podem apresentar grande deriva. O grande volume de ar movimentado, produzido por pulverizadores com assistência de ar, implica em um desafio para determinação de perdas por deriva e evaporação das gotas nessa operação. Mesmo com o desenvolvimento de técnicas e equipamentos para redução de perdas, as formas para determinação e quantificação de deriva em campo se mostram bastante complicadas e apresentam alto coeficiente de variação, principalmente quando aplicados em condições climáticas desfavoráveis a pulverização.

A adição de adjuvantes à calda de aplicação promove a minimização dos efeitos das condições climáticas e desuniformidade no padrão de gotas, expandindo os limites climáticos recomendados e aumentando a interação gota-planta-praga por meio de mudanças físico-químicas da calda de pulverização. No entanto, o seu uso deve ser cuidadoso, Antuniassi e Baio, 2008, alertam que o uso indevido dos adjuvantes podem acarretar em efeitos desconhecidos, inclusive a ausência dos efeitos esperados ou piora da deriva de pulverização agrícola.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a dependência espacial da deposição e caracterização do espectro de gotas e deriva na aplicação de solução aquosa na pulverização com atomizador costal motorizado com o uso de adjuvantes agrícolas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Tecnologia de aplicação de agroquímicos

De acordo com o Sistema Nacional de Informações Tóxico Farmacológicas (Sinitox), em 2009 ocorreram 25 acidentes ambientais provenientes do uso de agrotóxicos na agricultura, e em 2010, 111 casos. A redução da contaminação ambiental e humana pode ser obtida através da extensão e informação do agricultor quanto ao uso de EPI e as boas práticas no uso de pesticida (MACHADO e MACHADO, 2013) e/ou aumentando-se a eficiência das operações agrícolas (BOSCHINI et al., 2013).

Gebler, 2011, notou que parte da contaminação do aplicador provém de derramamentos acidentais durante o reabastecimento. Segundo Quirino et al., 2013, para redução de poluição ambiental e redução dos custos operacionais, atualmente, busca-se a redução do volume de calda aplicado, reduzindo, assim, o número de reabastecimentos e diminuindo os riscos de contaminação.

A grande variedade de pulverizadores disponíveis no mercado fornecem uma gama de modelos e características, refinando e especializando sua seleção em relação ao seu uso proposto (KLAVER et al., 2012). A seleção do pulverizador que melhor atende ao uso proposto, as formas e as doses de aplicação, compõem as principais etapas da aplicação de agrotóxicos, e alguns fatores devem ser considerados, como: Característica da cultura (estrutura, estágio vegetativo, variedade, etc.), técnicas de aplicação, condições climáticas, dose aplicada e outros (LLROENS et al., 2010; BUENO et al., 2011). Segundo Minguela e Cunha (2010), os pulverizadores podem ser classificados quanto a sua forma de aplicação, que são: hidráulica, pneumática, centrífuga e termonebulização.

O uso de pesticidas tornou-se inevitável para obter uma produção agrícola em escala, eficiente e econômica, no entanto, o uso irracional desses insumos podem elevar o custo de produção, redução de produtividade, ineficiência no controle de pragas e poluição ambiental (SHARDA et al., 2013). Em razão de notícias de contaminação ambiental e humana, o mal uso de agrotóxicos deixou claro a insatisfação da sociedade quanto a sua utilização (CUNHA, 2008b; QUIRINO et al., 2013).

A aplicação de agrotóxicos na quantidade recomendada, no momento propício e no alvo certo, promovem a eficácia de um tratamento no controle de pragas (RODRIGUES et al.,

2008), com o mínimo de poluição ambiental e custos operacionais (CUNHA et al., 2010; GEBLER, 2011; FERREIRA et al., 2013).

O princípio do fracionamento hidráulico das gotas é a técnica que mais se destaca entre as técnicas de aplicação de agrotóxicos (SASAKI et al., 2013; QUIRINO et al., 2013; RODRIGUES et al., 2012). O uso de água como veículo torna os fatores climáticos (vento, umidade e temperatura) mais ponderantes no manejo da aplicação, pois uma vez perdido a gota por deriva, escoamento ou evaporação, o produto fitossanitário também será perdido (LEE et al., 2011).

Segundo estudo de Antuniassi e Gandolfo (2002), aproximadamente 50% das propriedades agrícolas no Brasil apresentam no mínimo cinco problemas na tecnologia de aplicação de agrotóxicos (Pontas ruins, erro na taxa de aplicação, presença de vazamentos, espaçamentos incorretos e mangueiras mal localizadas) que comprometem a eficiência de aplicação de defensivos agrícolas. A boa manutenção e seleção das pontas de pulverização, assim como o espaçamento entre elas, reduzem a gravidade de problemas provocados por condições climáticas adversas em campo (CUNHA, 2008a). A aplicação em condições climáticas com umidade relativa do ar abaixo de 50% e temperatura de bulbo úmido acima de 30°C promovem a evaporação precoce das gotas pulverizadas (BOLLER et al., 2011) e ventos acima de 3 m/s promovem o arraste de gotas finas pelo vento, caracterizando a deriva de pulverização (MINGUELA e CUNHA, 2010).

A deriva é definida como a interação entre as gotas pulverizadas e a velocidade do vento local, caracterizada pela quantidade e distância em que as gotas são transportadas para fora do alvo (BAETENS et al., 2009). A facilidade com que a gota é transportada pelo vento fundamenta-se no seu tamanho, que por sua vez sofre intempéries pela umidade e temperatura do ar (CUNHA et al., 2008c).

A eficiência da tecnologia de aplicação é determinada, dentre outros fatores, pela adequada deposição e distribuição homogênea do produto fitossanitário no alvo (CUNHA et al., 2010). Para isso, a escolha do método de aplicação, ou melhor, a escolha da ponta de pulverização é fundamental para que se obtenha uma gota de tamanho ideal, onde essa escolha está diretamente associada a fatores como tamanho de gotas desejado, velocidade de distribuição do defensivo, volume de calda, condições ambientais (MILLER e BUTLER ELLIS, 2000), pressão de trabalho, formulação dos produtos químicos e características da calda e do alvo (CUNHA et al., 2010).

## 2.2 Características de uma população de gotas

Segundo Minguela e Cunha, 2010, para realização de um correto planejamento de um tratamento fitossanitário, é fundamental o conhecimento acerca do diâmetro de gotas que espera-se produzir, visando regulagem no pulverizador e seleção de pontas de pulverização.

As principais características que existem em relação ao espectro de gotas são: Diâmetro da Mediana Volumétrica (DMV), Diâmetro da Mediana Numérica (DMN), Amplitude Relativa (AR) e Coeficiente de Homogeneidade (CH).

O Diâmetro da Mediana Volumétrica é o diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido é constituído de gotas menores que esse valor.

A gota representativa de DMV é uma importante definição, mas requer o conhecimento de outros diâmetros volumétricos para uma real caracterização da população de gotas. O  $D_{v0,1}$  é o diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor, analogicamente, o  $D_{v0,9}$  é o diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor.

A amplitude relativa (Span) é determinada utilizando-se da seguinte equação: **Span** =  $(D_{v0,9} - D_{v0,1})/D_{v0,5}$ , onde  $D_{v0,1}$  significa o diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor;  $D_{v0,5}$  (diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor, também conhecido como diâmetro mediano volumétrico (DMV));  $D_{v0,9}$  (diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas menores que esse valor (CUNHA et al., 2007).

Desta forma, a homogeneidade das gotas será maior, quanto menor for o valor de AR, e a simples verificação do DMV não é suficiente para promover conclusões acerca da característica da população de gotas pulverizadas.

Outro indicativo da homogeneidade da pulverização de gotas é o Coeficiente de Homogeneidade (CH), que é obtido pela relação entre o DMV e o Diâmetro da Mediana Numérica (DMN). O DMN é o diâmetro tal que o número de gotas de diâmetro inferior ou superior é o mesmo, e se a relação DMV/DMN for igual a um, temos que todas as gotas serão do mesmo tamanho.

Estudar a população de gotas produzidas nas aplicações é uma das formas de se avaliar a qualidade da aplicação e permite entender melhor a eficácia biológica de um tratamento (BUENO et al., 2011). A deriva nas aplicações de agrotóxicos é considerada um dos maiores problemas da agricultura (CUNHA, 2008) e a contaminação do solo é comum nos sistemas



convencionais de pulverização, devido ao escorrimento da calda por gotas de grande diâmetro (MAGNO JÚNIOR et al., 2011).

### **2.3 Adjuvantes de uso agrícola**

Durante as aplicações de defensivos agrícolas, o ideal é que o espectro de gotas seja o mais homogêneo possível, ou seja, que se produzam gotas aproximadamente do mesmo tamanho para o fim desejado. Requer cuidado para não se produzir gotas muito grossas, susceptíveis ao escorrimento, e nem gotas muito finas, favoráveis a deriva. Neste contexto, é preciso conhecer as características técnicas das pontas, visando à sua correta seleção e, com isso, aplicações eficientes e seguras ambientalmente (CUNHA et al., 2010). Para isso, é necessário o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem a produção de gotas mais uniformes (CUNHA et al., 2007). Uma alternativa é a adição de adjuvantes à calda de pulverização, conferindo características importantes à calda como aumento do espalhamento, melhor retenção e penetração do ingrediente ativo, redução do período mínimo sem chuva (VILELA et al., 2013; CONTIERO et al., 2013; RAMOS et al., 2013) e diminuição da perda de defensivo pela chuva (JESUS et al., 2013; FERREIRA et al., 2013).

Cunha e Alves, 2009, verificaram que tanto a dose quanto a formulação químicas dos adjuvantes interferem nos parâmetros físico-químicos da água como: pH, tensão superficial e viscosidade, mas ressaltam que até mesmas formulações podem apresentar diferentes efeitos sobre esses parâmetros.

Montório et al., 2005, ao analisarem diferentes adjuvantes, concluíram que, dentre os adjuvantes estudados, os adjuvantes Silwet-77 e Break Thru foram os que apresentaram melhores resultados para redução da tensão superficial dentro da classe de siliconados, e, os adjuvantes Fixade, Herbitensil, Iharaguem, Extravon, Energic, Agral, Gotafix, Haiten e Aterbane, foram os que se mostraram mais eficientes na redução de tensão superficial na classe não-siliconados.

Chechetto et al., 2013, em ensaios com túnel de vento utilizando diferentes tipos de pontas de pulverização e diferentes adjuvantes, relataram que ambos os fatores interferem diretamente sobre o potencial de deriva, e que a associação da ponta com indução de ar mais o adjuvante a base de nonil fenol etoxilado apresenta o menor potencial de deriva. Cunha et al., 2010, verificaram que o efeito dos adjuvantes no espectro de gotas é dependente da ponta de pulverização e do produto químico empregado. Barbosa et al., 2012, observaram que a utilização de adjuvantes a base de óleo mineral diminui a quantidade máxima de líquido que

as folhas podem reter, contribuindo para a redução no volume de calda aplicado na cultura do citros.

Ainda existem divergências quanto ao uso de diferentes tipos de adjuvantes. Nascimento et al., 2012, concluíram que baseado nas quantidades de depósitos encontrados, considera-se que o uso do adjuvante ‘antideriva+cobre’ adicionado à calda de glifosato, pouco influenciou no aumento da deposição para diferentes pontas de pulverização e horários de aplicação de maneira que possa se justificar seu uso. Cunha et al, 2010, ressaltam que a adição dos adjuvantes à calda não altera o risco de potencial de deriva, expresso pela porcentagem do volume em gotas com diâmetro inferior a 100 µm.

A utilização de adjuvantes deve ser cuidadosamente estudada, pois a adição dos mesmos a calda de pulverização implica em custos e maior complexidade no manejo da calda, podendo não apresentar claros benefícios se mal utilizado (NASCIMENTO et al., 2012). Cunha et al., 2010, ressaltam que o uso de adjuvante deve ser acompanhado do uso de ponta correta, pois existe interação entre adjuvante e tipo de ponta nos efeitos esperados.

#### **2.4 Características dos pulverizadores hidropneumáticos**

Em pulverizações com pontas que operam com pressão hidráulica, geralmente ocorre a produção de gotas bastante desuniformes, dificultando a adequada cobertura do alvo e susceptíveis às perdas por deriva e escorrimento. Com isso, é necessário o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem a produção de gotas mais uniformes, a fim de reduzir a presença de gotas muito pequenas ou de gotas muito grandes (CUNHA, et al. 2007). A utilização de equipamentos de pulverização que utilizam como sistema de pulverização de gotas os atomizadores rotativos é uma opção (BUENO et al., 2011).

Os bicos nos atomizadores estão localizados ao redor de uma turbina com saída periférica de ar. Esta constituição melhora a eficiência da aplicação, em que o ar expelido pela turbina desloca a atmosfera inerte, localizada no interior da planta, facilitando a penetração do defensivo (RUAS, et al. 2011).

O conhecimento das condições de trabalho e, principalmente, do funcionamento das pontas de pulverização é necessário para promover a eficiência da pulverização (RODRIGUES et al., 2012a). Em 2002, Farooq e Salyani em um trabalho com pulverizador atomizador em forma de torre com fluxo transversal, concluíram que no exterior do dossel das plantas houve maior deposição em todos os volumes de pulverização estudados e também que

ao se utilizar menor volume de pulverização, houve aumento relativo de deposição nas folhas internas.

Rodrigues et al., 2012b, estudando formas de controle do bicho-mineiro em café notaram que o tamanho das gotas influenciaram diretamente no controle da praga. Alvarenga et al., 2013, trabalhando em diferentes pressões de vapor de água no ar utilizando um pulverizador hidropneumático concluíram que a maior deposição de gotas foram na faixa de menor déficit de pressão de vapor, indicando a importância da pulverização em condições favoráveis. Nascimento et al., 2012, verificaram que a aplicação, quando realizada pela manhã, apresenta melhor deposição quando comparado no horário da tarde em virtude das condições climáticas.

Rodrigues et al., 2008, avaliando um pulverizador hidropneumático, concluíram que existe diferença da velocidade de ar, na seção de saída do ventilador, de acordo com a posição em relação ao rotor, atingindo valores maiores nas seções mais distantes.

## **2.5 Perdas no processo de aplicação de calda de pulverização**

Mesmo com o desenvolvimento de técnicas e equipamentos para redução de perdas, as formas para determinação e quantificação de deriva em campo se mostram bastante complicadas e apresentam alto coeficiente de variação. Várias metodologias são citadas e adotadas para este fim, mas ainda demandam de pesquisas na área. Abi Saab (2004), consolidou a metodologia de avaliação da distribuição da calda nas diferentes partes da planta, usando como traçador uma solução de cloreto de potássio seguido de análise de resíduo em espectrofotômetro. Posteriormente, Palladini et al., 2005, substituíram o sal traçador por corante alimentício, mostrando-se melhor na determinação de deriva sem interferência nas propriedades físico-químicas da calda de pulverização.

Sumner e Sumner (1999) e Wolf e Frogberg (2002), apresentaram uma metodologia em que utilizavam etiquetas hidrossensíveis capazes de detectar tanto o espectro de gotas como, se colocado fora do alvo, a detecção de deriva. Atualmente muitos pesquisadores utilizam dessa metodologia em conjunta com a de Palladini et al., 2005, para avaliação de qualidade utilizando o espectro de gotas ou quantidade utilizando a deposição de calda de pulverização, tanto dentro do dossel da planta como na área exterior a cultura.

Em desenvolvimento de melhor metodologia para detecção e determinação de deriva, existem outros trabalhos, entre eles, o túnel de vento proposto por Gorecki (1988), na qual fundamentava-se na simulação da velocidade de vento durante as pulverizações.

Costa et al., 2012, utilizaram de um túnel de vento, como proposto por Gorecki (1988), e fitas de algodão para determinação de deriva com o uso de diferentes pontas de pulverização, pressão de trabalho e adjuvantes. Gandolfo et al., 2013, também utilizaram de túnel de vento em seu trabalho para determinação de deriva de glyphosate, no entanto, realizou a captura da pulverização de deriva com fios de polietileno. Já Bauer e Raetano (2000), utilizaram fios de limpadores de cachimbo para captura das gotas, desta vez, em ambiente aberto.

## **2.6 Princípios da Geoestatística**

A idealização de criação da geoestatística iniciou-se pelo professor Georges Matheron, inspirado nos trabalhos de pioneiros de H. J. Wijs nos anos de 1951-1953, professor da Universidade de Delft, na Holanda e Daniel G. Krige também em 1951, Engenheiro de Minas que trabalhou nas minas de ouro do Rand, na África do Sul, e em 1960 apresentou uma série de publicações que contribuíram para desenvolvimento da teoria das variáveis regionalizadas. Essa metodologia inicialmente foi utilizada em estudos de minas de exploração de petróleo onde boa parte dos custos com pesquisas, desenvolvimento de softwares, e até mesmo criações de Institutos de pesquisas foram pagas por empresas que atuavam nesse seguimento (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Yamamoto e Landim (2013), adicionam que a partir de 1980, a metodologia geoestatística expandiu-se, pois, além da prospecção mineira, passou a ser utilizada em agricultura de precisão, análise espacial de crimes, cartografia, epidemiologia, geologia ambiental, climatologia, ecologia da paisagem, engenharia florestal, geologia de petróleo, geotécnica, hidrogeologia e pedologia.

A expansão da utilização da geoestatística por diversas áreas das ciências explica-se por considerar que os fenômenos naturais são mais facilmente entendidos quando é possível a visualização da distribuição espacial e/ou temporal. Com a geoestatística é possível verificar a existência da dependência espacial e/ou temporal das variáveis e, quando dependentes, pode ser realizado mapeamento por técnicas de estimação ou de simulação (SILVA et al., 2013).

Esta técnica, além de considerar o valor de cada ponto amostral, também associa a coordenada geográfica em que se encontra, possibilitando que dados coletados próximos tenham valores mais semelhantes e sejam melhores correlacionados do que amostras mais distante do ponto de referência (SILVA et al., 2004).

Para entender a variação espacial do processo aleatório subjacente, deve-se levar em consideração a possibilidade de que o valor de cada ponto no espaço está relacionado, de algum modo, com valores obtidos de pontos situados a certa distância, sendo razoável supor que a influência é tanto maior quanto menor for a distância entre os pontos (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

O variograma é a função chave da geoestatística que caracteriza a variabilidade do padrão espacial e temporal de um determinado fenômeno. O variograma experimental ou variograma das amostras  $\gamma(h)$  é calculado a partir da diferença média quadrada entre pares de dados que pertencem a uma certa classe de distância através da Equação 1:

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

Em que:

$\gamma(h)$  = variância experimental;

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

$Z(x_i+h)$  = Valor da variável medida na posição  $x(i+h)$ ;

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

$I$  = Posição da amostra;

$h$  = Distância que separa duas amostras, (m).

A Figura 1 representa o ajuste do variograma experimental a um teórico, bem como os parâmetros do modelo. Na teoria temos que a variância  $\gamma(h)$  cresce com o incremento de  $h$ , até atingir um valor constante para  $\gamma(h)$  que corresponde às variações aleatórias, ou seja, variações que não são justificadas pela semelhança de um ponto com outro. Para o ajuste de um modelo matemático aos valores estimados de  $\gamma(h)$  são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita  $C_0$ , patamar  $C_0 + C_1$ , e o alcance  $a$ ), (SILVA et al., 2013).

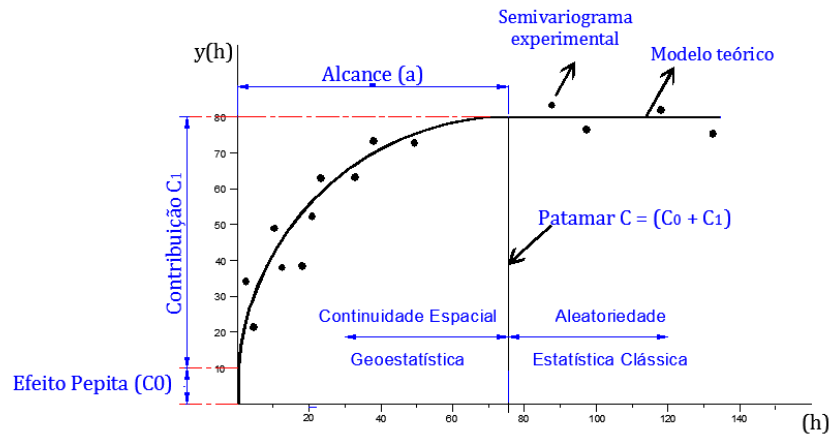


FIGURA 1 – Variograma experimental, modelo teórico e seus parâmetros (adaptado de LANDIM e STURARO, 2002).

Landim e Sturaro (2002), descrevem que: a amplitude ou alcance ( $a$ ), indica a distância a partir da qual as amostras passam a não possuir correlação espacial e a relação entre elas torna-se aleatória; toda amostra cuja distância ao ponto a ser estimado for menor ou igual a amplitude fornece informações sobre o ponto; o patamar  $C = (C_1 + C_0)$ , indica o valor segundo o qual a função estabiliza-se no campo aleatório, corresponde à distância “a”; mostra a variabilidade máxima entre pares de valores, isto é, a variância dos dados e, conseqüentemente, covariância nula; a continuidade ou efeito pepita  $C_0$ , pela forma do variograma, em que para  $h \cong 0$ ,  $y(h)$  apresenta algum valor. Esta situação pode ser atribuído a erros de medição ou ao fato de que os dados não foram coletados a intervalos suficientemente pequenos, para mostrar o comportamento espacial subjacente do fenômeno em estudo, isto é, não é capturado um fenômeno numa escala maior.

Estimativas geoestatísticas são, em geral, superiores aos demais métodos de interpolação numérica, pois fazem uso da função do semivariograma, que não é simplesmente uma função da distância entre pontos, mas depende: (a) da existência ou não do efeito pepita (dependência espacial), (b) da amplitude (distância a partir da qual as amostras passam a não possuir correlação espacial e a relação entre elas torna-se aleatória), e (c) da presença da anisotropia (quando os semivariogramas mostram parâmetros diferentes para diferentes direções de amostragem).

### 2.6.1 Krigagem

O termo krigagem (tradução do francês *krigeage* e do inglês *kriging*) vem do nome de Daniel G. Krige, engenheiro de minas sul-africano, que em 1951 introduziu o uso da técnica

em avaliação de lavras mineiras. O desenvolvimento formal da teoria deve-se a Matheron em 1963, para a qual a krigagem é um processo de obtenção do melhor preditor linear não viciado de uma variável desconhecida (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Landim e Sturaro (2002) e Yamamoto e Landim (2013) classificam a técnica de krigagem como uma família de algoritmo sendo as formas mais usuais: a krigagem simples, a krigagem ordinária e a krigagem indicativa. A krigagem simples é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área. A krigagem ordinária considera a média flutuante ou móvel por toda área. E a krigagem indicativa pode ser considerada basicamente uma ramificação da técnica de krigagem ordinária, porém trabalha com o conceito de pontos de corte/*cutoff* (codificação ou transformação dos valores que estão abaixo ou acima de um determinado valor de referência).

A krigagem ordinária, é um método de interpolação de dados, que usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa por meio de um modelo denominado de semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do espaço analisado, ao qual o modelo do semivariograma é ajustado, sem tendência e com variância mínima (MOTOMIYA et al., 2006).

Segundo Bagnara et al., 2012, na krigagem ordinária, a estimativa de uma variável em local não amostrado ( $Z^*$ ) é obtida a partir da combinação linear dos  $n$  dados amostrados ( $Z_i$ ) disponíveis na vizinhança do ponto analisado, de acordo com a expressão geral:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \gamma_i * Z_i$$

onde  $\gamma_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) são os pesos atribuídos a cada valor amostral.

Yamamoto e Landim (2013), ressaltam que os pesos ótimos são calculados sob duas condições de restrição: a) que o estimador não seja enviesado; e b) que a variância de estimativa seja mínima. O não viés da estimativa é obtido quando o erro, diferença entre o valor real  $Z_{OK}^*(x_0)$  e o valor calculado  $Z(x_0)$ , é igual a zero, em média:

$$E[Z_{OK}^*(x_0) - Z(x_0)] = 0$$

Desenvolvendo a expressão da esperança do erro, chega-se à condição de não viés:

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1$$

A variância de estimativa ou a variância do erro de estimativa é calculado como:

$$\sigma_E^2 = Var[Z(x_0) - Z_{OK}^*(x_0)]$$

O valor  $Z(x_0)$  apresenta-se como uma variável desconhecida que representa um valor real em um ponto não amostrado. E para solucionar esse problema, é baseado um modelo probabilístico, de tal forma que os valores desconhecidos são considerados realizações de um processo aleatório, assim como são os valores da variável aleatória  $\{Z(X_i), i=1,n\}$ .

Então, para encontrar os pesos ótimos, deve-se minimizar a variância do erro de estimativa sob a condição de não viés ou de restrição. Para encontrar o ponto mínimo, utiliza-se a técnica dos multiplicadores de Lagrange, da qual se obtém a *lagrangiana*, isto é, a função das coordenadas generalizadas:

$$L(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n, \mu) = C(0) - 2 \sum_i \gamma_i C(x_0 - x_i) + \sum_i \sum_j \gamma_i \gamma_j C(x_i - x_j) - 2\mu \left( \sum_j \gamma_j - 1 \right)$$

em que  $L(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n, \mu)$  é a langrangiana e  $\mu$  é o multiplicador de Lagrange.

Conduzindo a dedução de um sistema de equações da krigagem ordinária (BAGNARA et al., 2012):

$$\sum_{j=1}^n \gamma_j \alpha_{ij} - \mu = \alpha_{i0} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1$$

onde  $\alpha_{ij}$  e  $\alpha_{i0}$  são obtidos no semivariograma teórico e representam, respectivamente, às semivariâncias calculadas entre pares de pontos amostrais e entre pontos amostrais e o ponto estimado. E, a variância da estimativa pode ser calculada pela expressão:

$$\sigma_R^2 = \sum_{i=1}^n \gamma_i \alpha_{i0} + \mu$$



A geoestatística possibilita fazer uma estimativa média de bloco de cubagem por meio da discretização do bloco em pontos, que podem ser avaliados individualmente e depois compostos para o bloco ou então diretamente, calculando-se os vetores médios dos sistemas de equações (YAMAMOTO e LANDIM, 2013). Bagnara et al., 2012, salientam que os pesos calculados pela krigagem ordinária são fortemente influenciados pelo modelo de continuidade espacial utilizado, o qual é representado pelo variograma teórico, resultando em um esquema de ponderação que considera tanto o efeito da distancia entre os pontos amostrais e o ponto estimado, de forma que aos pontos mais próximos são atribuídos pesos maiores, e minimiza os efeitos do agrupamento ou redundância dos dados.

## **2.7 Geoestatística na agricultura**

A crescente intensificação da produção agropecuária levou a agricultura convencional a tratar o campo de maneira uniforme, com base em valores médios, ignorando as variações espaciais e temporais dos diversos fatores envolvidos no processo de produção agrícola, tais como: o teor de nutrientes, o teor de matéria orgânica, a umidade, a variabilidade do solo e do clima, etc. O embasamento da agricultura de precisão está na análise dessas variações espaciais e temporais dos fatores de produção, especialmente do solo. A partir dessa análise, o agricultor define como aplicar, no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola (SILVA et al., 2013).

A adoção de técnicas de agricultura de precisão e o conhecimento da variabilidade da produção das culturas tem sido estudado há vários anos (REIS et al., 2013), e a geoestatística é uma ferramenta importante para análise de dados, no âmbito da agricultura de precisão (FERRAZ et al., 2012). Segundo Vieira (2000), o objetivo da geoestatística aplicada à agricultura de precisão é caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas e fazer estimativa, utilizando o princípio da variabilidade espacial a fim de se identificar inter-relações desses atributos no espaço e no tempo, além de permitir estudar padrões de amostragem adequada.

As propriedades físico-químicas do solo (textura, teor de matéria orgânica, a concentração de sais, pH do solo, etc), podem influenciar o crescimento, desenvolvimento da cultura (SILVA et al., 2013). Os atributos químicos do solo são alguns dos possíveis responsáveis pela influência na oscilação da produtividade em áreas consideradas homogêneas (BARRETO et al., 2012).

Segundo Barreto et al., 2012, O potencial hidrogeniônico (pH) é um importante indicador das condições química do solo, por possuir capacidade de interferir na disposição de vários elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal, favorecendo ou não suas liberações. Já a condutividade elétrica (CE) é usada para medir a quantidade de sais presente em solução do solo. Quanto maior a quantidade de sais presente na solução, maior será o valor de CE obtido.

O conhecimento dos níveis de condutividade elétrica do solo, determinada sem limitação de densidade amostral, permite correlação com outros fatores do solo onde sua variação espacial e temporal pode ser atribuída às variações nos teores de água, de argila, de sais dissolvidos no solo, servindo para classificar o solo quanto a sua capacidade de produção (GREGO et al., 2012).

A agricultura de precisão, com o uso da geoestatística, permite, pelo uso de delimitação por coordenadas georreferenciadas, um planejamento mais racional do manejo de nutrientes, controle de pragas, umidade do solo, controle de plantas daninhas, além de seleção de cultivares em função de sua adaptabilidade às diferentes condições identificadas nas áreas cultivadas (SILVA et al., 2013). Entender como a distribuição espacial desses atributos funciona é importante para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas, não somente à otimização da produtividade agrícola, mas também para a minimização de possíveis danos ambientais (REIS et al., 2013).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área do experimento

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas – UnUCET, situada na cidade de Anápolis - GO, coordenadas geográficas 16°19'36" latitude Sul e 48°57'10" longitude Oeste. A região apresenta clima Aw pela classificação de Köppen-Geigerr, altitude média do município de 980 m, precipitação e temperatura média anual de 1400 mm e 29°C, respectivamente (SEPIN, 2009).

A área de estudo compreendia um círculo de raio de 20 m, em sem vegetação, onde tomou-se como base o alcance máximo de pulverização horizontal do atomizador, 18m, descrito no manual do fabricante, como raio do círculo base de deposição esperado. Desta forma, a área estimada de deposição (1017,88 m<sup>2</sup>) situa-se dentro da área total do experimento (1256,64 m<sup>2</sup>).

Durante os ensaios, foram monitorados aleatoriamente a velocidade do vento e a temperatura por um termo-anemômetro digital Minipa, modelo MDA-11, umidade relativa por termo-higrômetro Minipa MT-240, e a direção do vento foi monitorado por um sensor de vento, acoplado em estação meteorológica TX63U-IT. Os experimentos foram realizados às 6:45 horas da manhã em dias subsequentes para garantia de melhores condições climáticas locais. Os parâmetros climáticos são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - Dados de temperatura, umidade relativa e velocidade de vento monitorados durante as pulverizações para água e os adjuvantes óleo mineral, polímero siliconado e nonilfenol etoxilado.

Adjuvante	Temperatura, °C	U.R., %	Vento, m/s
Testemunha	20.3 ±0.6	68.2 ±2.2	1.35 ±1.01
Óleo mineral	20.0 ±0.5	72.0 ±0.0	1.12 ±0.22
Polímero Siliconado	16.5 ±0.2	63.3 ±3.6	1.00 ±0.25
Nonilfenol etoxilado	22.8 ±0.2	62.2 ±0.5	1.03 ±0.31

### 3.2 Caracterização da aplicação

Foi utilizado um Atomizador Costal Motorizado de 18 L, modelo ACM 18L-AT75 com motor do pulverizador de 3,48 KW, modelo TK065D - AT75E, monocilíndrico de dois tempos, para as pulverizações.

Para aplicação, utilizou-se de ponta de pulverizador atomizador com vazão de 2,5 L min<sup>-1</sup>. Manteve-se a opção para agitação de calda na tampa do atomizador na posição 2, conforme catálogo do fabricante, conferindo maior agitação dentro do reservatório, no entanto, reduziu-se a vazão máxima para 1,33 L min<sup>-1</sup>. Em todos os adjuvantes o atomizador foi carregado com 10 litros de calda de pulverização e após cada aplicação o restante foi descartado.

A obtenção das formulações propostas para os adjuvantes foi feita pelo uso dos produtos comerciais: BreakThru<sup>®</sup> (Polímero siliconado - 100%), Assist<sup>®</sup> (Óleo mineral - 75,6%) e Haiten<sup>®</sup> (Nonilfenol etoxilado - 20%), utilizando a dose recomendada pelo fabricante para aplicação terrestre.

O atomizador foi fixado sobre uma plataforma giratória a uma altura de 0,60 m do solo, sendo alimentada por motor WEG 0,5 cv, 1700 rpm, trifásico, controlado por um inversor de frequência PowerFlex, series A, trifásico até 3 cv com saída de 0 à 240 Hz. Utilizou-se um redutor e um jogo de polias, na qual, quando usado a frequência de 1 Hz sobre o motor, a plataforma obteve um giro completo em 3 minutos, ou velocidade angular de 0,011 rad/s, e o atomizador aplicou 4 litros de calda sobre a área.

Foi criado um suporte metálico, fixo à plataforma, para manter o bocal do atomizador à uma altura de um metro do solo e formando um ângulo de aspensão de 45° em relação ao nível do solo, obtido pela rotação do bocal na ponta do braço do equipamento e um esquadro.

Um *grid* com direções norte, nordeste, oeste, sudoeste, sul, sudeste, leste e nordeste, com o atomizador no centro, foi utilizado como disposição dos coletores de deposição e avaliação do espectro de gotas. Esses foram distribuídos e espaçados de 3 em 3 metros em cada sentido, até 18 metros, e um coletor extra aos 20 metros, conforme Figura 2.

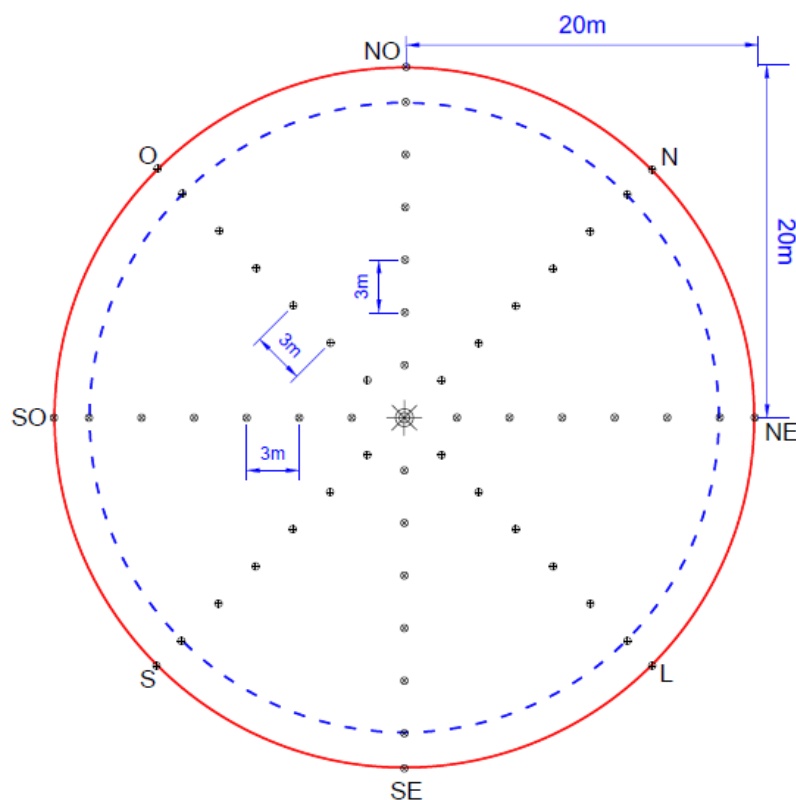


FIGURA 2 - Distribuição dos coletores de deriva sobre a área de estudo, espaçados de 3 em 3 metros, nos sentidos norte, nordeste, oeste, sudoeste, sul, sudeste, leste e nordeste.

### 3.3 Determinação do espectro de gotas e deposição de calda de pulverização

Em cada ponto de coleta foi colocado uma etiqueta de papel hidrossensível (SUMNER e SUMNER, 1999; WOLF e FROGBERG, 2002) e uma placa de vidro de 0,10 m x 0,10 m x 0,002 m (BAUER e RAETANO, 2000), ambos situadas à 0,20 m de altura em relação ao solo.

Em cada ponto de coleta nas distâncias de 20 metros foi fixado uma haste metálica de 1,20 m para suporte de uma etiqueta extra na altura de 1,0 m do solo.

Toda deposição de calda de pulverização nas placas de vidro, encontrada no raio de 20 metros do centro, foi caracterizada como deriva para o intervalo de 18 à 20 metros. As etiquetas de papel hidrossensível localizadas nas hastes de 20 metros, que apresentaram deposição, foram consideradas como indicadores de deriva naquele sentido.

Após cada pulverização, foi aguardado um período de um minuto para secagem e melhor fixação do traçante nas placas de vidro e etiquetas hidrossensíveis. Em seguida, as etiquetas foram armazenadas em envelopes de papel e as placas de vidro dentro de sacos

plásticos de 0,20 m x 0,35 m, ambos devidamente identificados e transportados até o laboratório de Engenharia Agrícola.

### 3.3.1 Avaliação do espectro de gotas

A metodologia proposta por Wolf e Forberg (2002), com o uso de etiquetas hidrossensíveis (76 x 26 mm), fornece dados que habilita a verificação e análise do espectro de gotas da deposição. Após a pulverização, as etiquetas foram devidamente identificadas, armazenadas e levadas para laboratório, onde foram escaneadas por um *scanner*, modelo HP DeskJet F4180, utilizando uma resolução de 600 dpi e analisadas com o uso do *software* "CIR" (Conteo y tipificación de impactos de pulverización).

A análise das etiquetas hidrossensíveis caracterizou o espectro de gotas do atomizador costal motorizado, avaliando os seguintes parâmetros:

1.  $D_{V0,5}$  – diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, também conhecido como diâmetro da mediana volumétrica (DMV);
2. AR – amplitude relativa, relação entre a diferença entre o  $D_{V0,9}$  (Diâmetro de gota que constitui 90% do volume do líquido pulverizado) e  $D_{V0,1}$  (Diâmetro de gota que constitui 10% do volume do líquido pulverizado) pelo DMV; e,
3. Cobertura – quantidade, em porcentagem, de cobertura sobre a área total da etiqueta promovida pelas gotas de pulverização.

### 3.3.2 Avaliação da deposição de calda de pulverização

Para o estudo da deposição de calda pulverizada, foi feito a quantificação de um traçador, adicionado à calda. A solução traçadora adicionada à calda foi constituída do corante alimentício azul brilhante (Corante Azul FCF, Duas Rodas Industrial) catalogado internacionalmente pela “Food, Drug&Cosmetic” como FD&C Blue nº 1, na proporção de  $1,6 \text{ g L}^{-1}$ , conforme metodologia descrita por Palladini et al., 2005.

Para a determinação de concentração do traçante via espectrofotometria, foi feito inicialmente a curva de calibração e definido a equação que relacione a absorbância e concentração do corante na solução de amostragem.

O intervalo de análise da curva de calibração foi definido para concentrações de calda de amostragem entre  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$  e  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de corante. O ensaio consistiu na análise dos valores de absorvância de 20 amostras, no comprimento de onda de 630 nm, com concentração conhecida de corante, realizados em triplicatas.

A curva de calibração foi elaborada pelo software Excel<sup>®</sup> 2007 pelas médias das triplicatas de cada amostra de concentração conhecida e seu respectivo valor de absorvância. Na Figura 3 está ilustrado o gráfico e a respectiva equação de ajuste da curva de calibração.

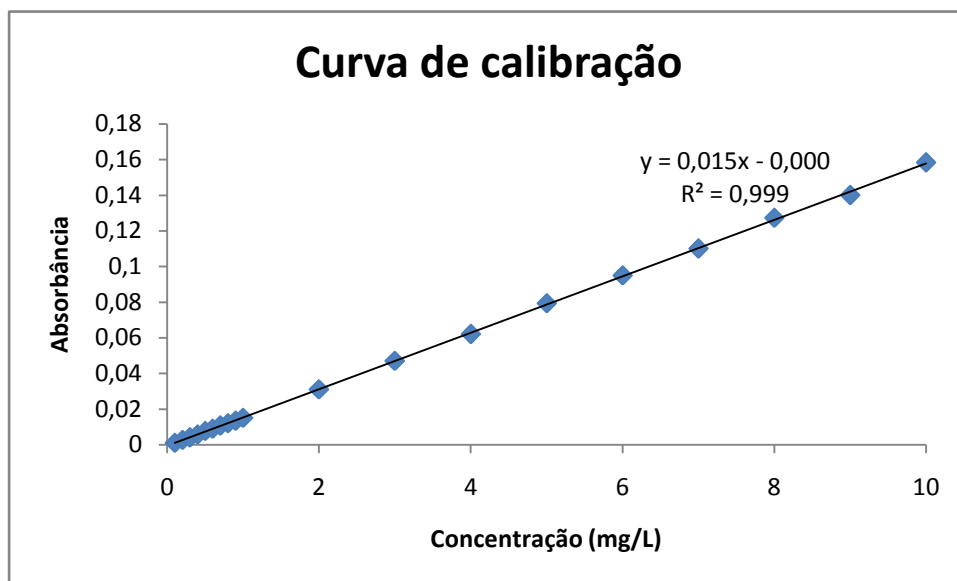


FIGURA 3 - Gráfico e equação de ajuste para concentrações conhecidas do corante Alimentício Azul Brilhante (FD&C n° 1) em espectrofotometria com comprimento de onda de 630 nm.

No laboratório, as placas de vidro de  $0,10 \text{ m} \times 0,10 \text{ m} \times 0,002 \text{ m}$  foram lavadas com 50 mL de água destilada em saco de polietileno, por 30 segundos com agitações leves. Posteriormente, foi determinada a absorvância da água de lavagem, em espectrofotômetro no comprimento de onda de 630 nm, realizado em triplicatas. Os dados obtidos de absorvância foram utilizados para cálculo de retorno da concentração de traçante nas placas, e conseqüente determinação de deposição de calda, para cada ponto de coleta, pela Equação 2:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \quad (2)$$

Em que:

$C_1$  = Concentração inicial na calda de aplicação ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$V_1$  = Volume retido pelo alvo (mL);

$C_2$  = Concentração detectada em densidade óptica ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$V_2$  = Volume de diluição da amostra de cada alvo (mL).

A quantificação da deriva foi realizada pela diferença entre o volume real aplicado e o volume calculado de deposição obtido pelas médias de deposição em cada distância e sua área de influência, conforme Equações 4 e 5.

$$A_i = \pi(D_i^2 - D_a^2) \quad (4)$$

$$P_t = A_i \cdot C_d \cdot 0,01 \quad (5)$$

Em que:

$A_i$  = Área de influência,  $\text{m}^2$ ;

$D_i$  = Distância analisada, m;

$D_a$  = Distância anterior analisada, m;

$C_d$  = Concentração de deposição,  $\mu\text{L cm}^{-2}$ .

$P_t$  = Deposição total, L;

### 3.4 Análise dos dados

A análise dos dados consistiu em uma análise descritiva, verificação de variabilidade espacial e execução de estatística experimental.

Para realização da análise descritiva dos dados, cálculos de krigagem e geração dos semivariogramas e mapas de variabilidade espacial, foi utilizado o *software* GS+ 7.0 (Gamma Design Software®). A hipótese de normalidade dos dados foi verificada pelo teste Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa computacional Excel 2007®. E, a estatística experimental foi executada pelo *software* Sisvar 5.0.

#### 3.4.1 Análise descritiva dos dados

Os dados foram avaliados por meio da estatística descritiva, tomando por base as seguintes medidas: média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente assimetria e curtose e o coeficiente de variação.



A estatística descritiva foi utilizada para analisar a variabilidade dos dados e se o conjunto de dados tem distribuição normal verificando a existência de tendência central e dispersão dos dados.

### 3.4.2 Variabilidade espacial do espectro de gotas e deposição de calda de pulverização

O melhor modelo foi escolhido pela menor soma de quadrados dos resíduos (SQR) e maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos dados de semivariância amostrais, em relação a estimativa da semivariância proposta pelo modelo. Foi utilizado um total de 42 pares de pontos para cálculo do semivariograma, com distância mínima de 3 m e máxima de 20 metros. Para os semivariogramas que apresentaram-se constante e/ou igual ao patamar, foram identificados como efeito pepita puro (ausência total de dependência espacial). A análise do grau de dependência espacial foi determinada pelo Índice de Dependência Espacial (IDE), conforme apresentado na Equação 3. A dependência espacial foi classificada de acordo com Zimback (2001), onde considerada-se fraca para valores até 25%, entre 26% a 75% moderada, e acima de 75% forte dependência espacial.

$$IDE = 100 \frac{C1}{(C0 + C1)} \quad (3)$$

Em que:

IDE = Índice de Dependência Espacial;

C1 = Variância Estrutural;

(C0 + C1) = Patamar.

Uma vez verificada a dependência espacial da deposição, através do uso do modelo para análise dos semivariogramas, foram produzidos os mapas de isolinhas utilizando a técnica de krigagem ordinária, que consiste em um método de interpolação de dados que usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa pelo modelo de semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do espaço analisado, ao qual o modelo do semivariograma é ajustado, sem tendência e com variância mínima.

### 3.4.3 Análise de correlação de Pearson

Com o uso da ferramenta de análise de dados do software Excel 2010, foram executadas as análises de correlação entre os dados obtidos de deposição de calda e cobertura nas placas de vidro, para a água e os diferentes adjuvantes. Segundo Figueiredo Filho e Silva Junior (2009), o coeficiente de correlação Pearson varia de -1 a 1, onde, para valores negativos, indicam correlação inversamente proporcional, para valores positivos, correlação proporcional, e, para valor nulo, a ausência de correlação entre as variáveis estudadas. Assim, Figueiredo Filho e Silva junior (2009), interpretam o índice de correlação linear de Pearson como apresentado na Tabela 2.

TABELA 2 - Grau de correlação interpretado pelo índice de correlação linear (r) de Pearson.

Índice de correlação	Grau de correlação
$0,70 \leq r \leq 1,00$	Correlação forte
$0,40 \leq r \leq 0,69$	Correlação moderada
$0,10 \leq r \leq 0,39$	Correlação fraca
$0,00 \leq r \leq 0,09$	Correlação nula

Fonte: Adaptado de Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009).

### 3.4.4 Delineamento estatístico

Foi aplicado a estatística clássica em delineamento experimental em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro adjuvantes (parcela principal) e sete distâncias (subparcela), resultando em 28 tratamentos, com oito repetições, totalizando duzentos e vinte e quatro parcelas experimentais.

Os tratamentos foram constituídos de quatro formulações de adjuvantes (óleo mineral, polímero siliconado, nonilfenol etoxilado e água) e sete distâncias do centro de pulverização (3,0 m, 6,0 m, 9,0 m, 12,0 m, 15,0 m, 18,0 m e 20,0 m). Os mesmos foram avaliados dentro de cada bloco que compreendia as diferentes direções e sentidos de aplicação (norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste), conforme ilustrado na Figura 4.

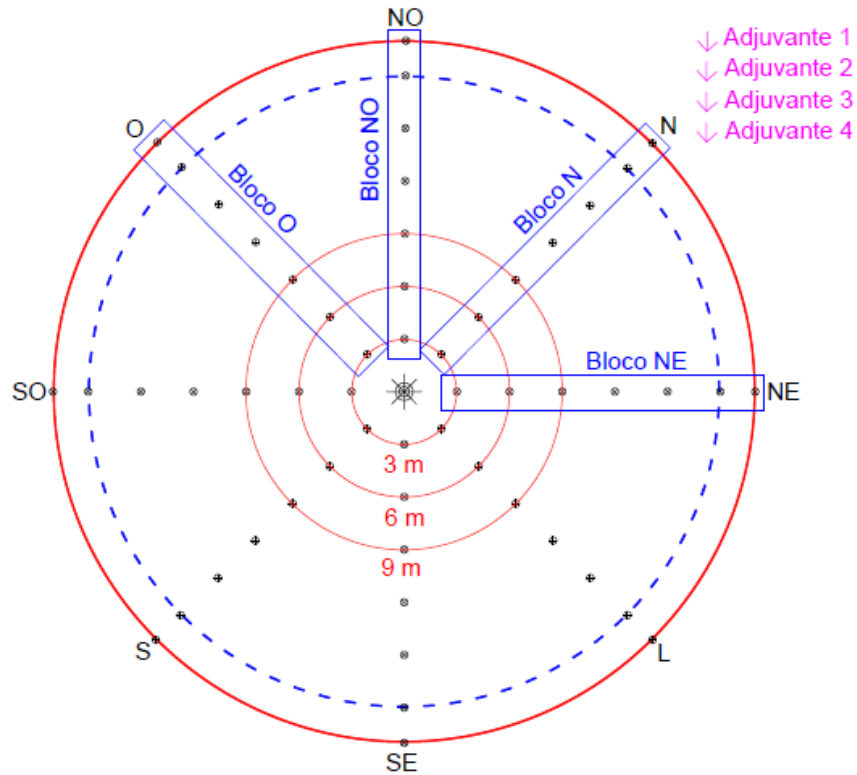


FIGURA 4 - Esquema de delineamento experimental e disposição dos coletores. N - norte; NO - noroeste; O - oeste; SO - sudoeste; S - sul; SE - sudeste; L - leste; NE - nordeste.

Os dados foram submetidos ao teste F na análise de variância, e quando significativos, foi verificada a diferença entre as médias utilizando-se o teste de Tukey à 5% de significância. Todos os cálculos estatísticos foram executados pelo software Sisvar 5.0.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as aplicações, verificou-se que houve predominância do vento no sentido noroeste. A execução do experimento no horário proposto promoveu a manutenção da velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar, conforme tabela 1, dentro dos padrões propostos por Boller et al., 2011, para aplicação de defensivos agrícolas.

### 4.1 Análise descritiva dos dados

A Tabela 2, apresenta a análise descritiva dos dados de deposição de calda, DMV, AR e cobertura para os adjuvantes água, polímero siliconado, óleo vegetal e nonilfenol etoxilado.

O teste de Shapiro-Wilk revelou que não há distribuição normal dos dados para todos as variáveis estudadas, e a análise descritiva mostrou a presença de altos coeficientes de variação, entre 146,15% e 252,46%. Quando analisado a curtose que, segundo Sanquetta et al., 2014, refere-se ao grau de achatamento ou elevação relativa em relação a distribuição normal, podendo ser definida como leptocúrtica quando seu valor é inferior à -0,263, mesocúrtica para valores entre -0,263 e 0,263, e platicúrtica para valores maiores que 0,263; os adjuvantes polímero siliconado, óleo vegetal e nonilfenol etoxilado apresentaram valores de 5,14, 13,42 e 12,97, respectivamente, para deposição de calda, mostrando uma alta elevação dos dados em relação a curva normal, caracterizando um alto contraste na deposição de calda dentro da área de estudo.

Todas as variáveis apresentaram assimetria positiva, ou seja, os dados apresentam-se deslocados para abaixo da média encontrada. Para as variáveis de deposição da água e dos adjuvantes, houve alto índice de assimetria, conforme Figueiredo (2009) e o coeficiente de Pearson. A estimativa de krigagem não exige que os dados apresentem normalidade e baixa assimetria, no entanto, ela é melhor realizada em dados que apresentam normalidade dos dados, pois promovem o melhor ajuste do semivariograma e facilitam o processo de krigagem (PAZ-GONZALEZ et al., 2001; CORÁ e BERBALDO, 2006; MACHADO et al., 2007). Os gráficos com as distribuições de dados das variáveis de deposição para água e os adjuvantes são ilustrados no Anexo A.

Foi encontrado coeficientes de variação superiores à 150% para a variável cobertura, indicando desuniformidade na pulverização, e, quando analisado em conjunto com os valores de curtose e assimetria, sugere que houve regionalização ou concentração da deposição de calda pelo equipamento.

Verificou-se que as médias do DMV para os adjuvantes, compreendiam um intervalo entre 35,76 e 41,12  $\mu\text{m}$  e amplitude relativa de 0,22 a 0,26, indicando que a análise sobre essas características foi comprometida, uma vez que a produção desse diâmetro de gotas esta relacionada à equipamentos de termonebulização, isso ocorreu devido a regionalização das gotas no sentido noroeste, logo, lugares onde não apresentaram gotas foram considerados para o cálculo da média.

A alta quantidade de coletores sem deposição, e alguns pontos, preferencialmente no sentido noroeste, com deposição extra, impossibilitaram a distribuição normal, gerando grandes coeficientes de variação e prejudicaram a avaliação, via análise descritiva, do DMV e AR.

TABELA 2 - Análise descritiva dos dados de deposição de calda, DMV, AR e cobertura para água e os adjuvantes polímero siliconado, óleo vegetal e nonilfenol etoxilado.

Variável	Uni.	M	DP	VAR	Mín.	Máx.	Curt.	Ass.	CV. %
<b>Deposição</b>									
Água		0,26	0,38	0,142	0	1,44	1,40	1,53	146,15
Polímero siliconado	$\mu\text{l}/\text{cm}^2$	0,20	0,49	0,236	0	1,88	5,14	2,56	245,00
Óleo vegetal		0,71	1,75	3,058	0	10,04	13,42	3,41	246,48
Nonilfenol etoxilado		0,61	1,54	2,363	0	8,69	12,97	3,42	252,46
<b>DMV</b>									
Água		35,76	65,9	4249,92	0	243,18	0,95	1,53	184,28
Polímero siliconado	$\mu\text{m}$	37,99	66,5	4424,90	0	204,62	0,07	1,33	175,04
Óleo vegetal		38,85	65,2	4247,19	0	237,35	0,25	1,29	167,82
Nonilfenol etoxilado		41,12	63,5	4031,87	0	204,37	-0,37	1,09	154,43
<b>AR</b>									
Água		0,23	0,41	0,168	0	1,21	-0,12	1,29	178,26
Polímero siliconado	N/A	0,22	0,38	0,144	0	1,20	0,19	1,35	172,73
Óleo vegetal		0,26	0,43	0,187	0	1,57	0,31	1,32	165,38
Nonilfenol etoxilado		0,26	0,40	0,157	0	1,05	-0,96	0,92	153,84
<b>Cobertura</b>									
Água		3,20	6,77	45,83	0	23,30	2,66	2,02	211,56
Polímero siliconado	%	3,38	6,99	48,93	0	23,80	1,95	1,88	218,44
Óleo vegetal		3,95	7,76	60,29	0	24,30	0,80	1,62	196,46
Nonilfenol etoxilado		3,32	6,52	42,57	0	23,50	2,35	1,94	196,39

M – Média; DP - desvio padrão; VAR - variância da amostra; Min - mínimo; Máx. - máximo; Curt. - coeficiente de curtose; Ass. - coeficiente de assimetria; CV - Coeficiente de variação.

A classificação e caracterização do espectro de gotas de a pulverização é realizada mediante a exposição aos métodos de análise, neste caso, às etiquetas de papel hidrossensível. Quando realizado a análise descritiva para o DMV e AR utilizando apenas os pontos que apresentaram deposição positiva, apresentado na Tabela 3, verifica-se que o DMV, para os

diferentes tipos de adjuvantes encontram-se entre 128  $\mu\text{m}$  e 143  $\mu\text{m}$ , caracterizado, conforme classificação de Doble et al., 1985, como gotas finas; e amplitude relativa entre 0,81 e 0,92.

Rodrigues (2005), verificou que, em pulverizadores hidropneumáticos com bicos JA-2, o DMV pode variar entre 187  $\mu\text{m}$  à 476  $\mu\text{m}$ , dependendo da velocidade de ar proporcionada pelo ventilador. Alvarenga et al., 2014, utilizando pulverizadores hidropneumáticos de barra em semi-arco, apresentaram valores de DMV entre 242  $\mu\text{m}$  e 481  $\mu\text{m}$ . Já Reis et al., 2010, estudaram a deposição de calda com o uso de aviação com atomizadores rotativos, encontrando valores de DMV igual a 144,5  $\mu\text{m}$  e amplitude relativa inferior à 1.0 para o dossel superior das plantas, valores próximos aos encontrados nesse estudo, quando utilizado somente as etiquetas que apresentaram deposição.

TABELA 3 - Análise descritiva dos dados de DMV, AR e cobertura para água e os adjuvantes polímero siliconado, óleo vegetal e nonilfenol etoxilado apenas para as etiquetas de papel hidrossensíveis que apresentaram deposição.

Variável	Uni.	M	DP	VAR	Mín.	Máx.	Curt.	Ass.	CV. %
<b>DMV</b>									
Água		143,07	43,26	1871,82	84,42	243,18	0,18	0,68	30,24
Polímero siliconado	$\mu\text{m}$	141,84	40,01	1600,85	73,55	204,62	-1,05	-0,27	28,20
Óleo vegetal		135,96	38,58	1488,47	79,32	237,35	1,08	0,82	28,38
Nonilfenol etoxilado		127,94	35,84	1284,53	81,35	204,37	-0,75	0,48	28,01
<b>AR</b>									
Água		0,92	0,17	0,028	0,66	1,21	-1,13	0,28	18,48
Polímero siliconado	N/A	0,81	0,23	0,054	0,43	1,20	-0,81	-0,07	28,87
Óleo vegetal		0,89	0,27	0,075	0,44	1,57	0,74	0,46	30,50
Nonilfenol etoxilado		0,82	0,16	0,026	0,53	1,05	-1,18	-0,20	19,78
<b>Cobertura</b>									
Água		12,79	7,87	61,87	0,30	23,3	-1,43	0,01	61,53
Polímero siliconado	%	12,62	8,20	67,29	0,30	23,80	-1,49	-0,17	65,00
Óleo vegetal		13,84	8,66	74,99	0,10	24,30	-1,43	-0,54	67,44
Nonilfenol etoxilado		10,33	7,81	61,00	0,30	23,50	-1,42	0,34	75,58

#### 4.2 Verificação de dependência espacial e modelos teóricos

O ajuste dos modelos, realizado a partir da menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), apresentou o modelo Gaussiano como o melhor para todos os tratamentos, caracterizando a variabilidade espacial em todas as

variáveis analisadas. O maior resultado de Alcance da dependência espacial para deposição foi de 5,86 metros, e o menor de 3,49 metros. Um alto valor do alcance significa que o atributo verificado apresenta alta semelhança e estão correlacionados, enquanto que, quando seu valor for menor que aquele utilizado no experimento, indica que não há variabilidade espacial, caracterizado como Efeito Pepita Puro (EPP) (LANDIM e STURARO, 2002). O espaçamento utilizado dentro de cada direção, três metros, ficou contido dentro do intervalo do Alcance da dependência espacial, diferentemente, a relação entre diferentes direções a partir dos seus respectivos pontos de seis metros, apresentam distâncias superiores a oito metros, fora do alcance da dependência espacial.

Na Tabela 4, estão apresentados os resultados que melhor se ajustaram às semivariâncias experimentais para os valores de deposição e características de gotas. Os gráficos dos modelos ajustados, para todos os adjuvantes e variáveis, podem ser visualizados e analisados nas figuras apresentadas no Anexo B.

TABELA 4 - Modelos teóricos de semivariância ajustados para deposição e características do espectro de gotas e pulverização para água e os diferentes tipos de formulação de adjuvantes agrícolas.

Variável	Unid.	Modelo	Ef. Pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance* (Ao)	R <sup>2</sup>	IDE (Co/(Co+C))	Resíduo
<b>Deposição</b>								
Água		Gaus.	0.0001	0.172	5.86	0.887	0.999	0.0044
Polímero siliconado	µl/cm <sup>2</sup>	Gaus.	0.0001	0.283	4.44	0.716	1	0.0339
Óleo vegetal		Gaus.	0.01	3.706	3.49	0.529	0.997	9.44
Nonilfenol etoxilado		Gaus.	0.001	2.877	4.28	0.721	1	3.37
<b>DMV</b>								
Água		Gaus.	10	5080	4.58	0.823	0.998	5176207
Polímero siliconado	µm	Gaus.	10	5178	5.44	0.937	0.998	2110788
Óleo vegetal		Gaus.	10	4971	5.28	0.877	0.998	3390481
Nonilfenol etoxilado		Gaus.	10	4826	5.94	0.874	0.998	3176534
<b>AR</b>								
Água		Gaus.	0.0001	0.201	6.65	0.951	1	0.00251
Polímero siliconado	N/A	Gaus.	0.0001	0.170	6.72	0.956	0.999	0.0017
Óleo vegetal		Gaus.	0.0001	0.218	5.58	0.887	0.998	0.00662
Nonilfenol etoxilado		Gaus.	0.004	0.190	6.80	0.880	0.979	0.00484
<b>Cobertura</b>								
Água		Gaus.	0.1	54.160	4.95	0.811	0.998	747
Polímero siliconado	%	Gaus.	0.1	57.510	5.81	0.916	0.998	399
Óleo vegetal		Gaus.	0.1	70.430	5.60	0.898	0.999	606
Nonilfenol etoxilado		Gaus.	0.1	51.240	4.84	0.791	0.998	761

\* Alcance em metros. IDE - índice de dependência espacial; R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação.

Quando analisados os mapas de deposição (Figura 5) criados a partir do modelo teórico e krigagem ordinária, pode-se notar a predominância de deposição de calda no sentido noroeste. Mesmo dentro das recomendações de condições climáticas para aplicações de defensivos agrícolas, o transporte de gotas de pulverização mostrou-se fortemente afetado pelo vento ambiente. Desta forma, percebe-se que o uso de equipamentos, que utilizam de assistência de ar para propulsão das gotas pulverizadas, são mais sensíveis as variações de velocidade de vento, e que as recomendações de condições climáticas para a aplicação de



pesticidas não se adéquam ao seu uso, sendo necessário maiores estudos para a determinação da melhor ocasião de uso para estes equipamentos.

A Figura 5, ilustra os mapas da variabilidade espacial de deposição de calda de pulverização para os adjuvantes água, polímero siliconado, óleo vegetal e nonilfenol etoxilado, respectivamente.

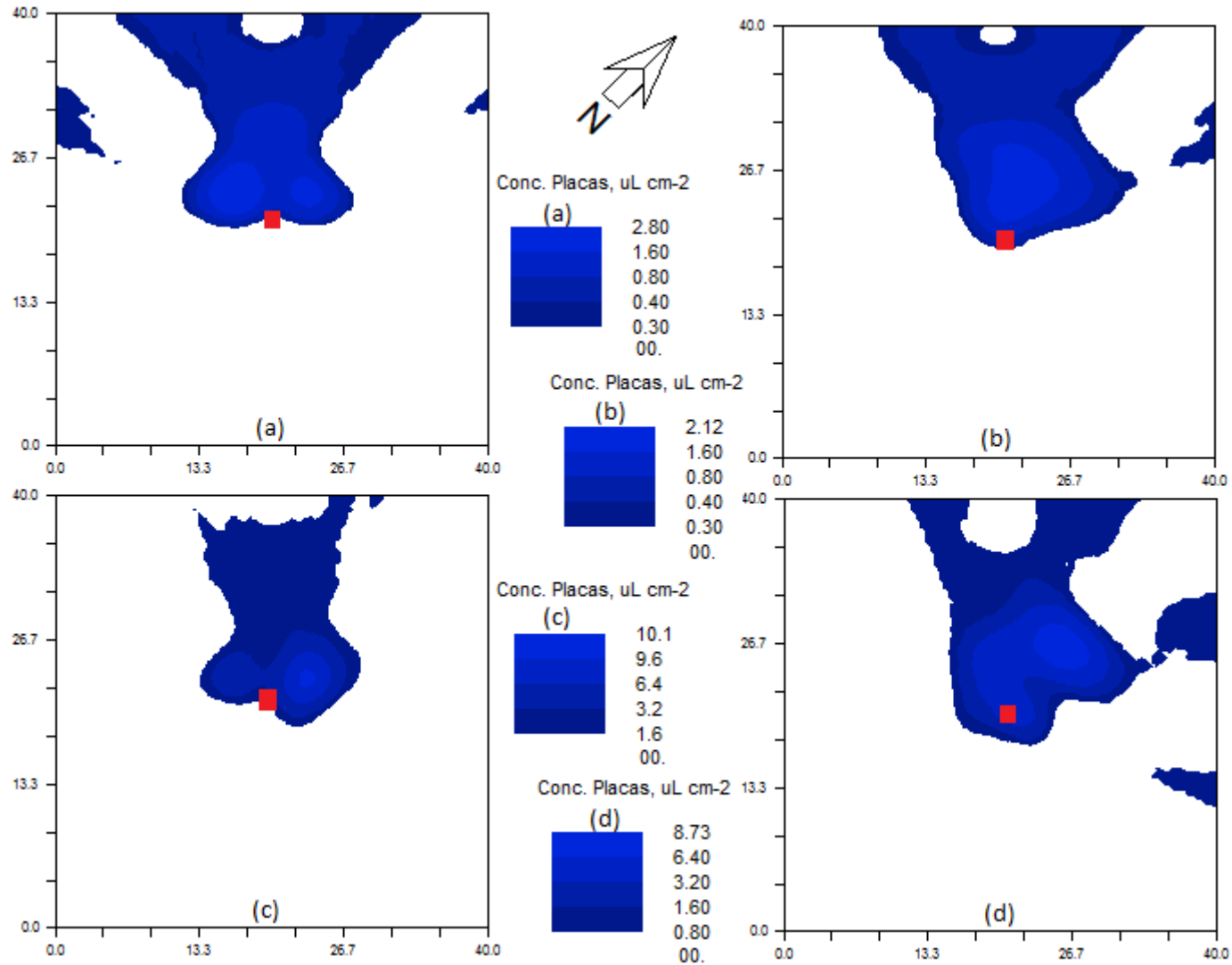


FIGURA 5 - Mapa de deposição de calda de pulverização com o uso de atomizador costal e (a) água, e com a adição dos adjuvantes (a) água, (b) polímero siliconado, (c) óleo mineral e (d) nonilfenol etoxilado, para aplicação de volume de calda de  $0,4 \mu\text{L cm}^{-2}$ .

Jamar et al., 2010, estudando a deposição de diferentes pontas em um pulverizador hidropneumático em pomares, notaram que a deposição no sentido do vento foi significativa em relação aos outros sentidos. Abi Saab, 2004, considera que, pelo menos, 30% de uma pulverização de agrotóxicos sofre deriva pelo vento. Cunha et al., 2008b, verificaram que existe interação significativa entre o tamanho de gota e velocidade do vento no deslocamento horizontal (deriva) de pulverização agrícola.

Reis et al., 2012, verificaram que, durante uma pulverização aérea, não houve variabilidade espacial das gotas com DMV igual à 149  $\mu\text{m}$ , amplitude relativa de 0,79 e deposição mediana de 0,0451  $\mu\text{L cm}^{-2}$ . A análise de outros estudos com características de gotas semelhantes (REIS et al., 2010; 2012), revelam que a pulverização com o atomizadores não apresenta variabilidade espacial em aviação agrícola, caracterizado como efeito pepita puro. Em função do tamanho de gota e a forma de aplicação, a velocidade de vento ambiente produziu a variabilidade espacial encontrada nesse estudo, indicando que a expectativa de deposição de agrotóxicos com o uso de atomizadores terrestres, para essas características de espectro de gotas em ambiente aberto, pode ser analisada através da variabilidade espacial.

Quando analisado os mapas de variabilidade espacial para o DMV, AR e cobertura, Figuras 6, 7 e 8, é facilmente visível que a deposição de gotas maiores que 100  $\mu\text{m}$  se localizam nos primeiros 10 metros de distância do equipamento, assim como, a cobertura apresenta seus maiores índices nessas mesmas áreas. Enquanto que, as áreas com DMV inferior à 100  $\mu\text{m}$  se localizam nas regiões mais distantes do centro de pulverização, comprovando a sucessibilidade dessas gotas ao transporte pelo vento.

Nas Figuras 6, 7 e 8, são ilustrados os mapas, criados pelo software GS+ 7.0, da variabilidade espacial do DMV, cobertura e AR, para os adjuvantes água, polímero siliconado, óleo vegetal e nonilfenol etoxilado, respectivamente.

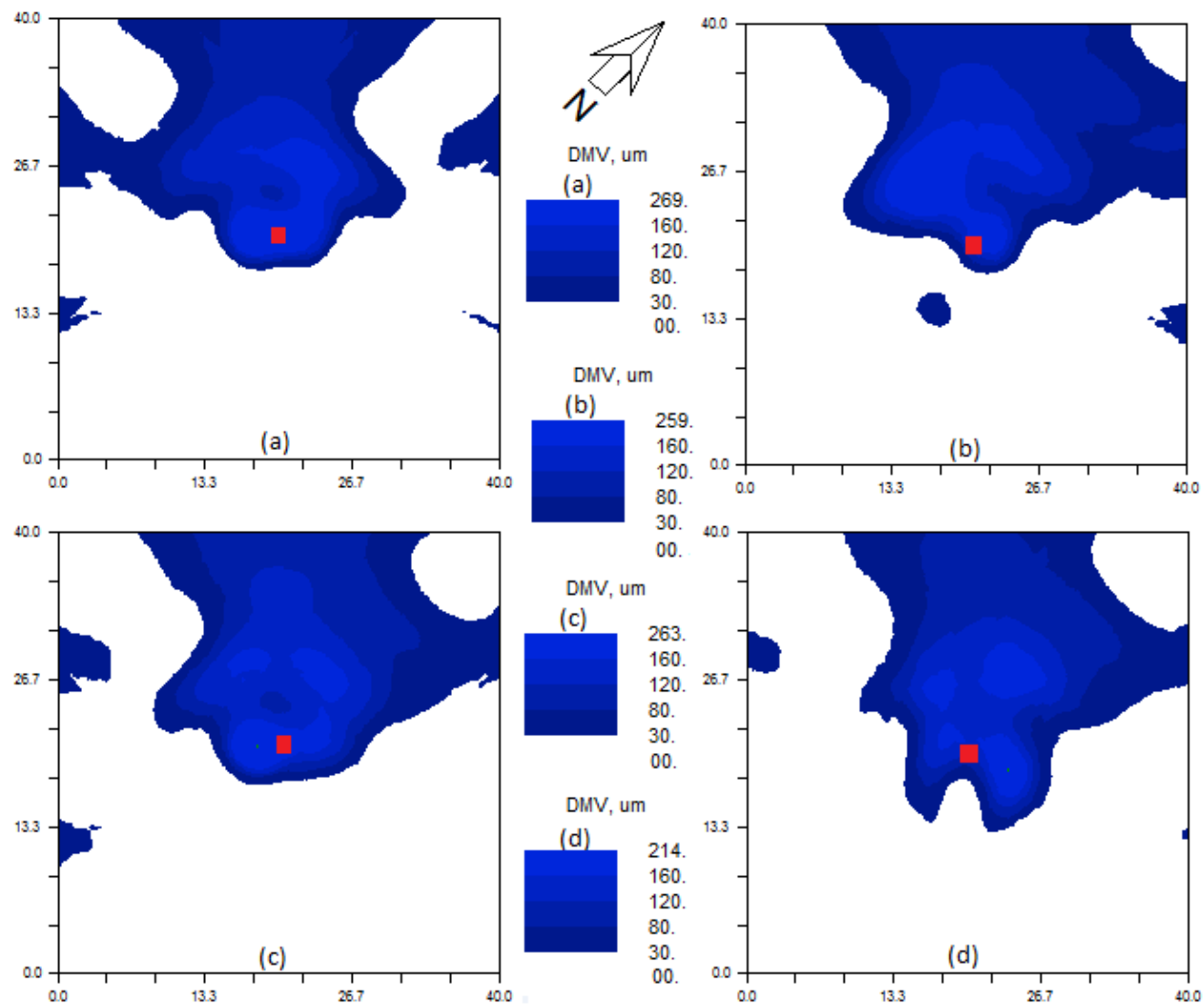


FIGURA 6 - Mapa da variabilidade espacial do DMV de pulverização com o uso de atomizador costal e (a) água, e com a adição dos adjuvantes (a) água, (b) polímero siliconado, (c) óleo mineral e (d) nonilfenol etoxilado, para aplicação de volume de calda de  $0,4 \mu\text{L cm}^{-2}$ .

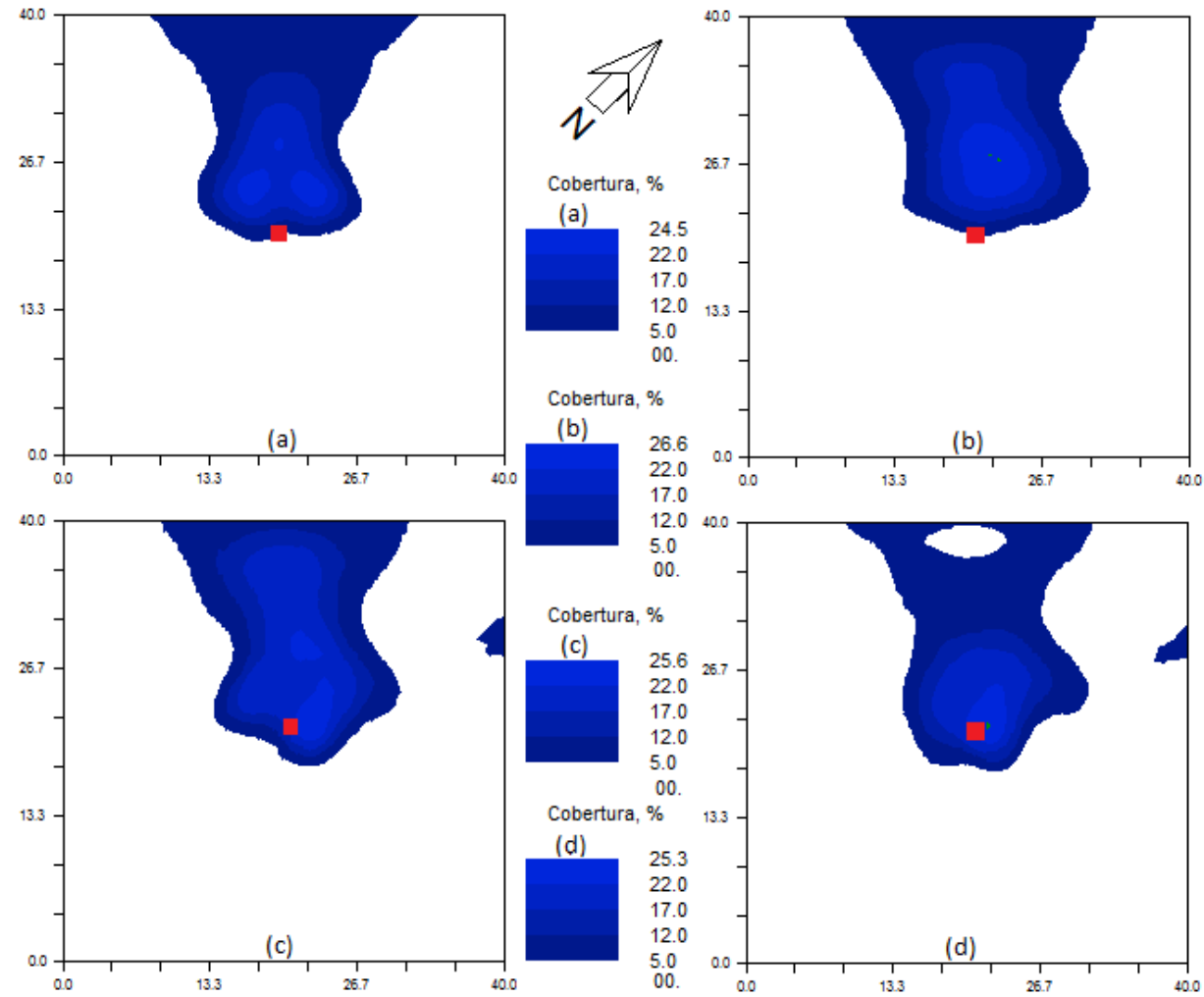


FIGURA 7 - Mapa da variabilidade espacial da cobertura de pulverização com o uso de atomizador costal e (a) água, e com a adição dos adjuvantes (a) água, (b) polímero siliconado, (c) óleo mineral e (d) nonilfenol etoxilado, para aplicação de volume de calda de  $0,4 \mu\text{L cm}^{-2}$ .

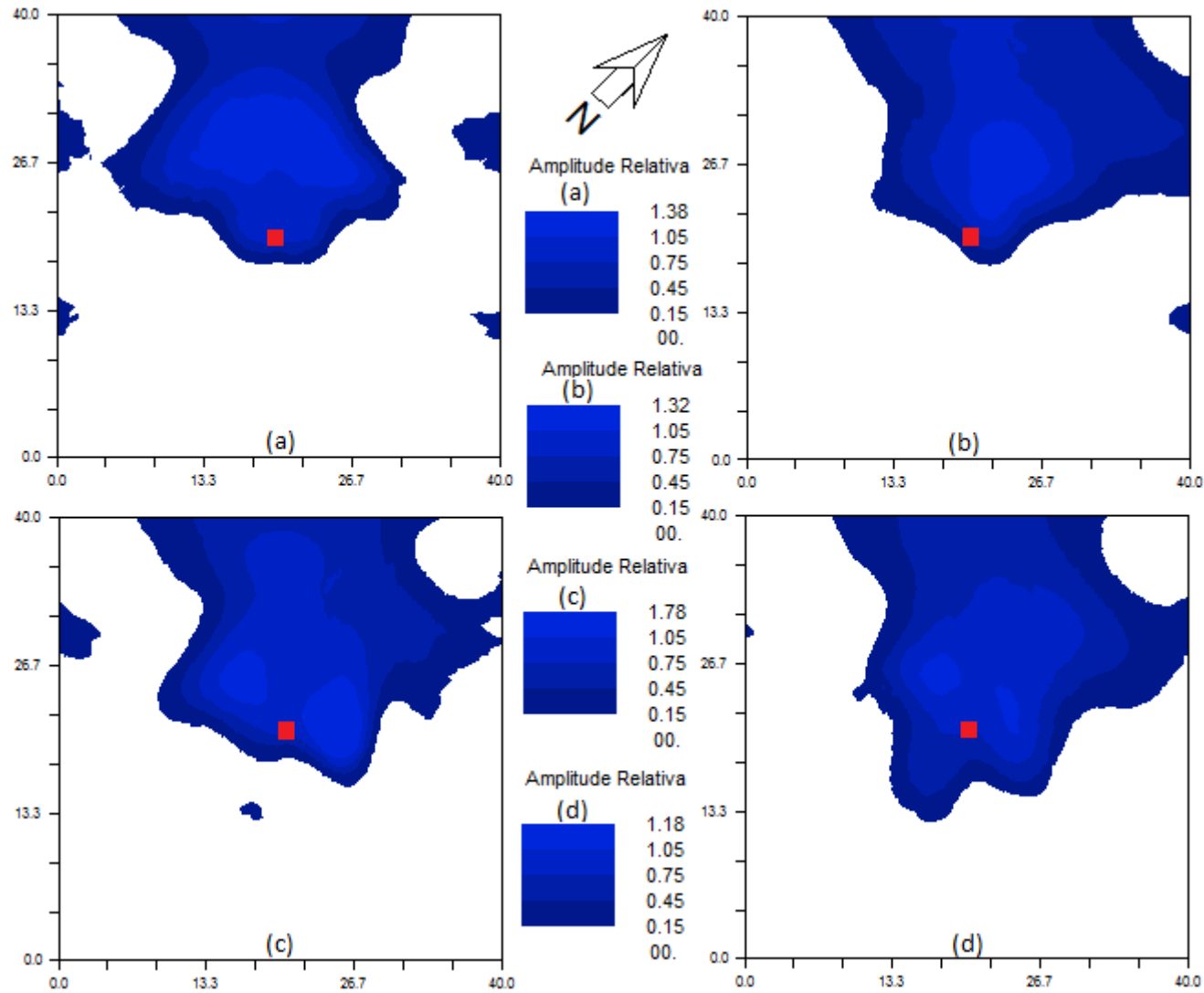


FIGURA 8 - Mapa da variabilidade espacial da amplitude relativa de pulverização com o uso de atomizador costal e (a) água, e com a adição dos adjuvantes (a) água, (b) polímero siliconado, (c) óleo mineral e (d) nonilfenol etoxilado, para aplicação de volume de calda de  $0,4 \mu\text{L cm}^{-2}$ .

Analisando os mapas de amplitude relativa (Figura 8), pode-se notar que os maiores valores ocorrem nas regiões de maior DMV e cobertura, revelando que essas regiões representam a deposição nominal do equipamento. Observando os pontos a partir de dez metros do centro de pulverização, nota-se que, pelo baixo DMV e AR, a deposição encontrada nessa região é composta, predominantemente, por gotas abaixo de 100  $\mu\text{m}$ , que, segundo Cunha et al., 2010, são gotas muito finas e com alto potencial de deriva.

As etiquetas de papel hidrossensível localizadas nos pontos de vinte metros, responsáveis pela indicação do sentido de deriva para fora da área de estudo, apontam que houve deriva de pulverização nos sentidos noroeste e oeste em todos os adjuvantes utilizados. Quando analisado o espectro de gotas das etiquetas de papel hidrossensível dos pontos de vinte metros, foi encontrado DMV médio de 84,35  $\mu\text{m}$  e AR de 0,63, caracterizando gotas de alto potencial de deriva e de difícil controle.

### 4.3 Análise de correlação de Pearson

Foi encontrado, para todos os adjuvantes, forte correlação entre a deposição e cobertura, conforme Tabela 5. Segundo Antuniassi et al., 2004, e Teixeira (1994), quanto menor o tamanho de gota, maior será a cobertura promovida pela pulverização. No entanto, Schneider et al., 2013, ressaltam que, para que isso aconteça, deve-se desconsiderar a evaporação das gotas, pois uma vez evaporada, a gota não será depositada no alvo pretendido. Como houve uma redução do DMV e do índice de correlação ( $r$ ) da água para o Nonilfenol Etoxilado, os resultados corroboram com Scheneider et al., 2013.

TABELA 5 - Interpretação do índice de correlação de Pearson para os dados de deposição de calda e cobertura

Adjuvante	Índice de correlação entre deposição e cobertura ( $r$ )	Interpretação
Água	0.9222	Correlação forte
Polímero Siliconado	0.9205	Correlação forte
Óleo mineral	0.8534	Correlação forte
Nonilfenol Etoxilado	0.8410	Correlação forte

O uso dos adjuvantes adicionaram características físico-químicas à calda de pulverização, reduzindo o seu DMV e a correlação entre a deposição e cobertura em relação a água. A diminuição da correlação pode estar ligada a interferência de fatores aleatórios,

inseridos pela dosagem errada do adjuvante para a aplicação via atomizador (ANTUANISSI E BAILO 2008; DURIGAN E CORREIA, 2008)

#### 4.4 Estatística clássica

Utilizou-se da estatística clássica para avaliar e comparar a quantidade e qualidade da aplicação com os diferentes tipos de adjuvantes, assim como, para criar uma estimativa da quantificação de deriva.

Devido aos altos coeficientes de variação encontrados na estatística descritiva, foi realizado uma análise de homogeneidade dos dados, executada pelo teste de Hartley, que mostrou a necessidade de transformação dos mesmos para realização da análise de variância. Desta forma, os dados foram transformados em  $Y = (X + 0,5)^{0,21}$ , de acordo com a recomendação encontrada pelo teste de Box-Cox.

Para a variável de deposição de calda, verificou-se que, pelo teste de F à 5% de probabilidade, houve diferença significativa apenas para o efeito do bloco e para o fator distância, e que o uso de adjuvantes agrícolas não apresentou diferença significativa em relação ao uso de água.

Alguns autores encontraram que a eficiência no uso de adjuvantes agrícolas é maximizada quando utilizado em diâmetro de gotas médio-alto (MOREIRA JÚNIOR, 2009; CUNHA et al., 2010; OLIVEIRA, 2011) e Cunha et al., 2010, em estudo com pulverizadores de barra, concluíram que para gotas abaixo de 100  $\mu\text{m}$ , o uso de adjuvantes não apresentam efeitos significativos na aplicação. Antuniassi e Baio, 2008, alertaram que o uso indevido dos adjuvantes podem acarretar em efeitos desconhecidos e, Durigan e Correia, 2008, complementam que o processo de criação de gotas pelo pulverizador pode ser alterado pela mudança da característica física da calda, conferindo propriedades positivas ou negativas. A carência de estudos do efeitos desses adjuvantes nos atomizadores dificulta a seleção de dosagem das formulações, onde, normalmente, recorre-se ao uso da dose recomendada para aplicação terrestre em pulverizadores de barra, podendo essa não ser a mais adequada para o uso do atomizador.

A Tabela 6 apresenta o resultado da ANOVA, para os dados transformados, da variável deposição em relação aos fatores adjuvante e distância analisados.



TABELA 6 - ANOVA para deposição de calda de pulverização, dados transformados em  $(X + 0.5)^{0.21}$ 

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	7	0.73699	0.10528	45.262	0.0000
Adjuvante resíduo (a)	3	0.00095	0.00032	0.011	0.9988
Distância	28	0.77753	0.02777		
Adjuvante*Distância resíduo (b)	6	0.41037	0.06839	4430.16	0.0000
	18	0.02467	0.00137	0.589	0.9039
	161	0.38846	0.00233		
Total	223	2.33896			
CV 1 (%)=	18.37				
CV 2 (%)=	5.32				

A significância do bloco revelou que o controle local foi eficiente, e que houve deposição de calda em quantidades diferentes dentro dos sentidos. Quando realizado o teste de Tukey à 5% de probabilidade para o bloco, verificou-se que o bloco no sentido noroeste foi o que apresentou maior deposição, em média  $0,78 \mu\text{L cm}^{-2}$ , seguido do bloco norte,  $0,48 \mu\text{L cm}^{-2}$ , ambos acima do volume aplicado,  $0,39 \mu\text{L cm}^{-2}$ , em 100% e 23,08%, respectivamente, conforme Tabela 5.

Para os demais blocos foi encontrado reduções em relação ao volume de calda aplicado. A deposição média dos blocos no sentido oeste,  $0,23 \mu\text{L cm}^{-2}$ , nordeste,  $0,10 \mu\text{L cm}^{-2}$ , e sudoeste,  $0,03 \mu\text{L cm}^{-2}$ , apresentaram reduções de 41,03%, 74,36% e 92,31%, respectivamente. Enquanto que a deposição nos sentidos sudeste, sul e leste, houve ausência total de deposição, caracterizando deriva de 100% para essas posições.

O uso do bloco foi proposto para análise do efeito do vento sobre a pulverização e os resultados, assim como os mapas de deposição, comprovam o favorecimento, na dispersão da pulverização, para os blocos noroeste e norte, restringindo os demais, especialmente os blocos sudeste, sul e leste.

O conhecimento a respeito da quantidade extra de calda que é depositada com aplicação a favor do vento é crucial para o melhor dimensionamento e uso de pesticidas, reduzindo o tempo de aplicação por área e, portanto, maximizando a capacidade operacional do equipamento. Da mesma forma, as estimativas de perdas de deposição em sentidos opostos ao vento são primordiais no manejo de agrotóxicos, devendo ser evitadas o máximo possível.

A deposição extra no sentido do vento e a redução no sentido contrário estão correlacionadas, a falta de deposição no sentido sudeste foi, em parte, depositado no sentido noroeste. A mudança de sentido na mesma direção das gotas pulverizadas, como do sentido

sudoeste para o sentido noroeste, apresenta em seu caminho o equipamento, ou seja, ocorre deposição sobre o aplicador nesta situação. Vários autores relatam a falta de uso correto de EPI pelos aplicadores, assim como, o índice de contaminação humana e ambiental proveniente da exposição à deriva de aplicação de defensivos agrícolas (CUNHA, 2008; GEBLER, 2011; FERREIRA et al., 2013; QUIRINO et al., 2013; MACHADO e MACHADO, 2013). Desta forma, é importante, além do fator de perda por deriva, evitar ao possível a aplicação contra o vento, no intuito de redução da exposição do aplicador ao agrotóxico utilizado.

Na Tabela 7, está apresentado os valores médios de deposição de calda nos diferentes sentidos, diferidos pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

TABELA 7 - Valores médios de deposição de calda em diferentes sentidos.

Bloco	Noroeste	Norte	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sul	Sudeste	Leste
Média	0.78 a	0.48 b	0.23 c	0.10 d	0.03 e	0.01 f	0.00 f	0.00 f

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey à 5% de probabilidade.

A análise da regressão, Figura 9, que relaciona o efeito da distância na deposição de calda de pulverização mostrou que, para a distância de três metros, houve deposição extra de 79,48% em relação ao volume aplicado e para a distância de seis metros foi encontrado redução de 10%. Para as distâncias de nove, doze, quinze e dezoito metros, houve decréscimo de deposição de 56,41%, 79,48%, 84,61% e 92,31%, respectivamente, em relação a dose aplicada.

De acordo com o catálogo do fabricante, o alcance máximo do atomizador é de dezoito metros, no entanto, a deposição da dose esperada ocorre somente até os seis metros. A deposição média total, encontrada pelo somatório das deposições médias de cada distância e sua respectiva área de influência, revelou deposição de 1,140 L sobre a área de estudo, ou seja, houve deriva de 71,50% do volume de calda aplicado (4,0 L). Entre a faixa de dezoito e vinte metros, houve deriva por deposição no solo de 1,8% do volume aplicado, e as etiquetas de papel hidrossensível, localadas nos pontos de vintes metros, indicaram deriva para os sentidos norte e noroeste.

Segundo Curtanelli et al., 2013, a exposição de corpos d'água em ambientes com altas velocidades de vento, colaboram primariamente para sua evaporação. Cunha (2008), estudando diferentes tamanhos de gotas e diferentes velocidades horizontais, verificou que a distância horizontal percorrida pelas gotas sobre influência da altura de lançamento das gotas. Vários autores já relatam os problemas de deriva com a utilização de equipamentos que

produzem gotas pequenas, principalmente em condições climáticas desfavoráveis (BALAN et al., 2010, CUNHA et al., 2010, BOLLER et al., 2011, RODRIGUES et al., 2012, QUIRINO et al., 2013). A alta velocidade inicial que o equipamento usa para propulsão da pulverização, e o baixo DMV das gotas pulverizadas, promovem a aceleração da evaporação das mesmas, maximizando a deriva e reduzindo o tempo de vida útil durante a aplicação. Desta forma, para minimização das perdas por evaporação, recomenda-se a aplicação direta sobre o alvo, e para atomizadores costais motorizados, com distância máxima do alvo de seis metros.

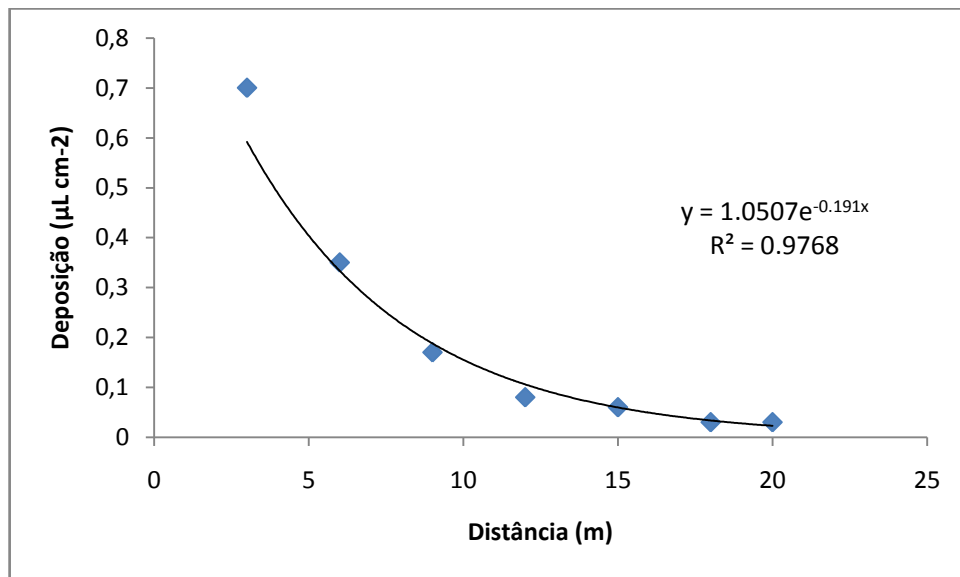


FIGURA 9 - Efeito da distância do centro de aplicação na deposição de calda de pulverização com uso do atomizador costal motorizado.

## 5 CONCLUSÃO

A ferramenta da geoestatística possibilita a análise do espectro de gotas e de deposição pela variabilidade espacial com o uso de atomizador costal motorizado.

O DMV médio para o atomizador foi de 136  $\mu\text{m}$  e a dose aplicada ocorre somente até os seis metros de distância.

Não houve diferença significativa na deposição com o uso dos adjuvantes propostos. Os adjuvantes colaboraram para a redução da correlação entre a deposição e cobertura.

No sentido do vento, houve deposição extra de calda de pulverização, e ausência no sentido contrário, mesmo em condições climáticas favoráveis.

As recomendações climáticas propostas para a aplicação de defensivos agrícolas não se aplicam ao uso de atomizadores costais motorizados.

A aplicação com uso do atomizador costal motorizado para alcance de dezoito metros apresenta deriva de 71,50%.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABI SAAB, O. J. G. Indicador de Velocidade do Vento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 21-26, 2004.
- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; SASAKI, R. S.; RINALDI, P. C. N. Controle automático do espectro de gotas de pulverizador hidro-pneumático em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar. **Pesquisa agropecuária tropical**, Goiânia - GO, v.43, n. 1, p. 26-33, 2013.
- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R.; SIQUEIRA, D. L.; RODRIGUES, D. E.; Efeito da morfometria da laranjeira na pulverização hidropneumática. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista - RR, v. 8, n. 1, p. 49-58, 2014.
- ANTUNIASSI, U.R.; GANDOLFO, M.A. Velhos e sem manutenção. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 2, n. 14, p. 25-27, 2002.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, p. 174-175, 2008.
- BAETENS, K.; HO, Q. T.; NUYTTENS, D.; SCHAMPHELEIRE, M.; ENDALEW, A. M.; HERTOOG, M. L. A. T. M.; NICOLAI, B.; RAMON, H.; VERBOVEN, P. A validated 2-D diffusion-advection model for prediction of drift from ground boom sprayers. **Atmospheric environment**, v. 43, p. 1674-1682, 2009.
- BAGNARA, D.; PRIETTO, P. D. M.; TIMBOLA, R. S. Aplicação da krigagem ordinária na modelagem do pH e da dureza da água subterrânea na área central de Passo Fundo – RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 20, p.15-22, 2012.
- BALAN, M. G.; ABI-SAAB, O. J. G.; SILVA, C. G.; RIO, A. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 293-298, 2008.
- BARBOSA, G. F.; NAIS, J.; FERREIRA, M.C. Estimativa da área e capacidade de retenção foliar de calda em citros. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1226-1231, 2012.
- BARRETO, H. B. F.; JUNIOR, V. P. A.; LIRA, J. F. B.; MAIA, F. E. N.; MIRANDA, N. O. Distribuição espacial do pH e condutividade elétrica em um solo aluvial no Rio Grande do Norte. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.8, n.1, p. 28-33, 2012.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Assistência de ar na deposição e perdas de produtos fitossanitários em pulverizações na cultura da soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 271-276, 2000.
- BOLLER, W.; FERREIRA, M. C.; COSTA, D. I. Condições do ar e angulação das folhas influenciam a qualidade das pulverizações na cultura da soja? **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo - RS, v. 121, p. 33-37, 2011.

BOSCHINI, L.; CONTIERO, R. L.; MACEDO JR., E. K., GUIMARÃES, V. F. Avaliação da deposição da calda de pulverização em volume de calda e do tipo de ponta de pulverização hidráulica na cultura da soja. **Anais... VI SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação**, Londrina - PR, 2013.

BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Estudo do espectro de gotas produzidas nas pulverizações aérea e terrestre na cultura da batata. **Revista de Ciências Agrárias**. Universidade Federal Rural da Amazônia. v. 54, n. 3, p. 225-234, 2011.

CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização. **Revista Engenharia na agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 3, p. 130-142, 2012.

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.

CONTIERO, R.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; BIFFE, D. F. Efeito de adjuvantes e pontas de pulverização no volume e uniformidade da deposição de calda em plantas de *brachiaria*. **Anais... VI SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação**, Londrina - PR, 2013.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.374-387, 2006.

COSTA, A. G. F.; VELINI, E. D.; ROSSI, C. V. S.; CORRÊA, M. R.; NEGRISOLI, E.; FIORINI, M. V.; CORDEIRO, J. G. F.; SILVA, J. R. M. Efeito de pontas e pressões de pulverização na deriva de glyphosate + 2,4-D em condições de campo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Maringá, v. 11, n. 1, p. 62-70, 2012.

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

CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras - MG, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008a.

CUNHA, J. P. A. R. da ; TEIXEIRA, M. M. ; VIEIRA, R. F. ; FERNANDES, H. C. . Eficácia do fungicida clortalonil no controle de doenças do feijoeiro em função de bico de pulverização e de volume de calda. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 31, p. 221-232, 2008b.

CUNHA, J. P.A.R.; MOURA, E. A. C. ; SILVA JUNIOR, J. L. ; ZAGO, F. A. ; JULIATTI, F. C. . Efeitos de pontas de pulverização no controle químico da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 283-291, 2008.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, Caracas, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.

CUNHA, J.P.A.R.; BUENO, M.R.; FERREIRA, M.C. Espectro de gotas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, p. 1153-1158, 2010. Número Especial.

CURTARELLI, M. P.; ALCÂNTARA, E. H.; ARAÚJO, C. A. S.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A. Avaliação da dinâmica temporal da evaporação no reservatório de Itumbiara, GO, utilizando dados obtidos por sensoriamento remoto. **Revista Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 8, n.1, p. 272-289, 2013.

DOBLE, S. J.; MATTHEWS, G. A.; RUTHERFORD, I.; SOUTHCOMBE, E. S. E.. A system for classifying hydraulic nozzles and other atomizers into categories of spray quality. **British Crop Protection Council**, v. 9, n. 1, p. 112-122, 1985.

DURINGAN, J. C.; CORREIA, N. M. Efeito de adjuvantes na aplicação e eficácia de herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa trigo, 2008. p. 134-171.

FAROOQ, M.; SALYANI, M. Spray penetration into the citrus tree canopy from two air-carrier sprayers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 45, n. 5, p. 1287-1293, 2002.

FERRAZ, G. A. S.; SILVA, F. M.; COSTA, P. A. N.; SILVA, A. C.; CARVALHO, F. M. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 59-67, 2012.

FERREIRA, M. C.; LEITE, G. J.; LASMAR, O.; CAMPOS, H. B. N. Deposição de calda inseticida com e sem óleo vegetal sobre mudas de citros em função de chuva artificial. **Conbraf - Congresso Brasileiro de Fitossanidade**, 2, Jaboticabal, p. 722-725, 2013.

FERREIRA, M. C.; LEITE, G. J.; LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, Uberlândia - MG, v. 29, supplement 1, p. 1539-1548, 2013.

FIGUEIREDO, F. **Estatística Descritiva e Probabilidades**. Escolar Editora, 2009.

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 Agrônômica**, v. 44, n. 3, p. 474-480 2013.

GEBLER, L. Pontos de abastecimento de pulverizadores agrícolas: Uma revisão comparando os modelos em uso. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande - PB, v. 15, n. 11, p. 1180-1185, 2011.

GORECKI, J. P. Túneis aerodinâmicos: passado, presente e futuro. ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIAS TÉRMICAS 2. **Anais...**, 1988, Águas de Lindóia-SP, 53p., 1988.

GREGO, C. R.; RABELLO, L. M.; BRANCALIÃO, S. R.; VIEIRA, S. R.; OLIVEIRA, A. Geoestatística aplicada a condutividade elétrica do solo e altitude do solo cultivado com cana-

de-açúcar. **Embrapa Monitoramento por Satélite-Capítulo em livro técnico-científico (ALICE)**, 2012.

JAMAR, L.; MOSTADE, O.; HUYGHEBAERT, B.; PIGEON, O.; LATEUR, M. Comparative performance of recycling tunnel and conventional sprayers using standar and drift-mitigating nozzles in dwarf apple orchards. **Crop protection**, v. 29, p. 561-566, 2010.

JESUS, M. G.; CARVALHO, F. K.; GANDOLFO, U. D.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. Lavagem de produtos pela chuva em caldas contendo fungicidas e adjuvantes baseados em glicerina. **Anais... VI SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação**, Londrina - PR, 2013.

KLAVER, P. P. C.; GARCIA, R. F.; JUNIOR, J. F. S. V.; JUNIOR, D. C. Programa computacional para determinação da capacidade operacional de máquinas agrícolas. **Global science and technology**, Rio Verde - GO, v. 05, n. 01, p. 52-58, 2012.

LEE, S. J.; MEHLER, L. ; BECKMAN, J.; DIEBOLT-BROWN, B.; PRADO, J.; LACKOVIC, M.; WALTZ, J.; MULAY, P.; SCHWARTZ, A.; MITCHELL, Y.; MORAGA-MCHALEY, S.; CALVERT, G. M.; GERGELY, R. Acute pesticide illnesses associated with off-target pesticide drift from agricultural applications: 11 states, 1998-2006. **Environmental health perspectives**, relatório doi: 10.1289/ehp.1002843, online 6, 2011.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R, **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas de probabilidades de riscos**. DGA, IGCE, UNESP / Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 06, 19 p. 2002.

LLORENS, J.; GIL, E.; ESCOLÀ, A. Variable rate dosing in precision viticulture: Use of eletronic devices to improve application efficiency. **Crop protection**, v. 29, p. 239-248, 2010.

NASCIMENTO, A. B.; OLIVEIRA, G.M.; BALAN, M.G.; HIGASHIBARA, L.R.; SAAB, O.J.G.A. Deposição de glifosato e utilização de adjuvantes para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.2, p. 105-116, 2012.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.591-599, 2007.

MACHADO, R. L.; MACHADO, A. L. Agricultura familiar: adequação do EPI utilizado à classe toxicológica do agrotóxico. **Anais... VI SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação**, Londrina - PR, 2013.

MAGNO JÚNIOR, R. G.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, L. B.; FERREIRA, L. R.; ALVARENGA, C. B. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para atração de gotas da aplicação eletrostática em plantas cítricas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 798-804, 2011.

MILLER, P. C. H.; BUTLER ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. **Crop Protection**, v. 19, p. 609-615, 2000.



MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2010. 588p.

MONTÓRIO, G. A.; VELINI, E. D.; MACIEL, C. D. G.; MONTÓRIO, T. Eficiência dos surfactantes de uso agrícola na redução da tensão superficial. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Maringá-PR, v. 4, n. 2, p. 8-22, 2005.

MOREIRA JÚNIOR, O. **Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas**. 2009. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

MOTOMIYA, A.V.A.; CORÁ, J.E.; PEREIRA, G.T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. Parte da dissertação de Mestrado (primeiro autor) – UNESP/Campus de Jaboticabal, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 485-496, 2006.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 2011. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

PALLADINI, L. A.; RAETANO, C. G.; VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Science agriculture**. Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 440-445. 2005.

PAZ-GONZALEZ, A.; CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, v.81, p.469-479, 2001.

QUIRINO, A. L. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; FERREIRA, L. R. Parâmetros da pulverização de defensivos agrícolas visando a redução da contaminação ambiental e do aplicador. **Revista Agrarian**, Dourados - MS, v. 6, n. 20, p. 161-166, 2013.

RAMOS, H. H.; CHUBACI, C. F.; BUCKER, D. C.; SCAPIN M. S.; AGUIAR, V. C. Efeito de diferentes adjuvantes utilizados em pulverizações agrícolas na redução da tensão superficial. **Anais... VI SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação**, Londrina - PR, 2013.

REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, S. M. F. Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (*glycine max* l.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 958-966, 2010.

REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M.; CUNHA, J. P. A. R.; Dependência espacial da deposição de calda promovida por uma aplicação aérea na cultura da soja. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 79-85, 2012.

REIS, J. S.; ALVES, S. M. F.; JUNIOR, J. A.; PESSOA, A. A.; SILVA, R. R. Determinação de zonas de manejo para adubação nitrogenada em lavoura de tomate industrial. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 4, n. 2, p. 68 - 84, 2013.

RODRIGUES, G. J. **Crítérios rastreáveis na aplicação de inseticida no controle do bicho mineiro do cafeeiro**. 2005. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa -MG, 2005.

RODRIGUES, G. J.; TEIXEIRA, M. M.; FILHO, E. I. F.; PICANÇO, M. C. Características do fluxo de ar de um pulverizador hidropneumático para aplicação de agroquímicos em plantas arbustivas. **Engenharia na agricultura**, Viçosa - MG, v. 16, n. 2, p. 199-207, 2008.

RODRIGUES, G. J.; TEIXEIRA, M. M.; ALVARENGA, C. B. Desempenho operacional de pontas hidráulicas na determinação de parâmetros da pulverização hidropneumática. **Bioscience Journal**, Uberlândia - MG, v. 28, n. 1, p. 8-15, 2012a.

RODRIGUES, G. J.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; ALVARENGA, C. B. Otimização da pulverização de inseticidas visando o controle do bicho-mineiro do cafeeiro. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v.3, n.1, p.70-80, 2012b.

RUAS, J. M. F.; BALAN, R.; ABI SAAB, O. J. G. Comparação da cobertura de pulverizadores costais de acionamento manual e motorizado. **Semina: Ciências agrárias**, Londrina - PR, v. 32, n. 4, p. 1417-1422, 2011.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. P. D.; RUZA, M. S.; SIMON, A.; SÃO JOSÉ, J. F. B. Relação hipsométrica em inventários pré-corte em povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild. **Científica**, Jaboticabal - SP, v. 42, n. 1, p. 80-90, 2014.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; NOGUEIRA, L. E.; ALVARENGA, C. B.; OLIVEIRA, M. V. M. Desempenho operacional de um pulverizador costal elétrico. **Pesquisa agropecuária tropical**, Goiânia - GO, v. 43, n. 3, p. 339-342, 2013.

SASAKI, R. S.; TEIXEIRA, M. M.; NOGUEIRA, L. E.; ALVARENGA, C. B.; OLIVEIRA, M. V. M. Desempenho operacional de um pulverizador costal elétrico. **Pesquisa agropecuária tropical**, Goiânia - GO, v. 43, n. 3, p. 339-342, 2013.

SCHNEIDER, J. L.; OLIVEIRA, G. M.; BALAN, R. E.; CANTERI, M. G.; ABI SAAB, O. J. G. Cobertura de gotas de pulverização obtida com diferentes pontas e taxas de aplicação na parte aérea da cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 797-802, 2013.

SEPIN – **Superintendência de Estatística, Pesquisa e Informação**, 2009. Disponível em: <[http://www.seplan.go.gov.br/sepin/perfilweb/Estatistica\\_bde.asp](http://www.seplan.go.gov.br/sepin/perfilweb/Estatistica_bde.asp)>. Acesso em: 15 abr. 2014.

SHARDA, A.; LUCK, J. D.; FULTON, J. P.; MCDONALD, T. P.; SHEARER, S. A. Field application systems with automatic section capabilities on agricultural sprayers. **Precision agric**, v. 14, p. 307-322, 2013.

**SINITOX - Sistema Nacional de Informações Tóxico Farmacológicas**. 2010. Brasília: Ministério da Saúde - Fundação Oswaldo Cruz. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/sinitox/media/Tabela%2010%20-%202009.pdf>>. Acesso em 21 mai. 2014.

SILVA, G.; CAPPELLI, N.L.; UMEZU, C.K. Métodos probabilístico e determinístico para diagnóstico da necessidade de subsolagem de solos agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, p. 130-141, 2004.

SILVA, M. Z.; SATO, M. E.; OLIVEIRA, C. A. L.; RAIS, D. S. Toxicidade diferencial de agrotóxicos utilizados em citros para *Neoseiulus californicus*, *Euseius concordis* e *Brevipalpus phoenicis*. **Fitossanidade**. Bragantia, Campinas, v. 70, n. 1, p. 87-95, 2011.

SILVA, J. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, E. F. F.; ANDRADE, C. W. L.; SILVA, J. R. L. Distribuição Espacial da Condutividade Elétrica e Matéria Orgânica em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 764-776, 2013.

SILVA, A. F.; ZIMBACK, C.R.; LANDIM, P.M.B. **Aplicação da Geoestatística em Ciências Agrárias: parte II**. Botucatu, v.1, 2013.

SUMNER, P. E.; SUMNER, S. A. **Comparison of new drift reduction nozzles**. St. Joseph: ASAE, 1999. 17 p. (ASAE Paper n.99-1156).

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G.R. (Eds.). Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, v. 1, p. 1-54, 2000.

VILELA, C. M.; CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, U. D.; JESUS, M. G.; MOTA, A. A. B. Ângulo de contato e tensão superficial de gotas de caldas contendo fungicidas e adjuvantes depositadas em superfície. **Anais... VI SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação**, Londrina - PR, 2013.

WOLF, R. E.; FROHBERG, D. D. **Comparison of drift for four drift-reducing flat-fan nozzle types measured in a wind tunnel and evaluated using dropletscan software**. St. Joseph: ASAE, 2002. 7 p. (ASAE Paper n.02-1101)

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215p.

## ANEXO A

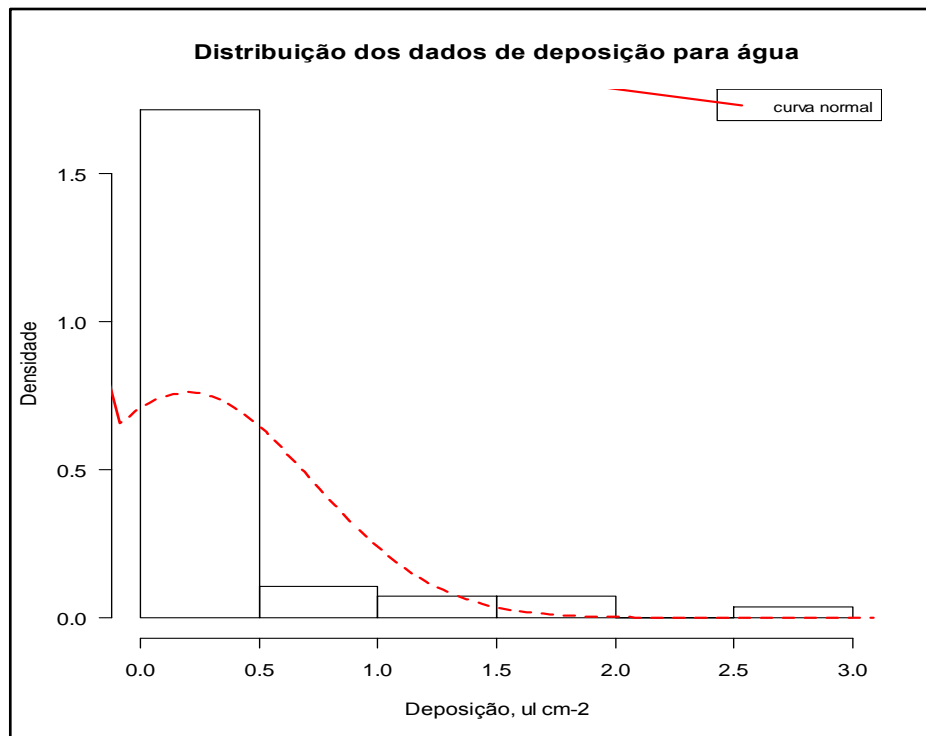


FIGURA A1 - Gráfico da distribuição dos dados de deposição de calda de pulverização para água.

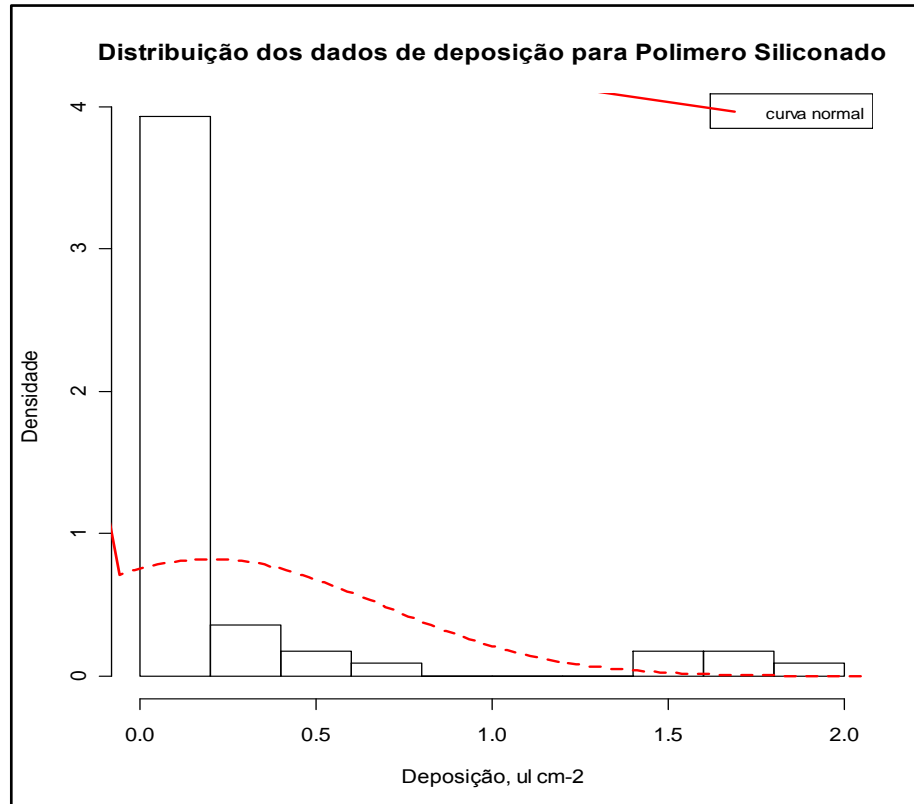


FIGURA A2 - Gráfico da distribuição dos dados de deposição de calda de pulverização para Polímero siliconado.

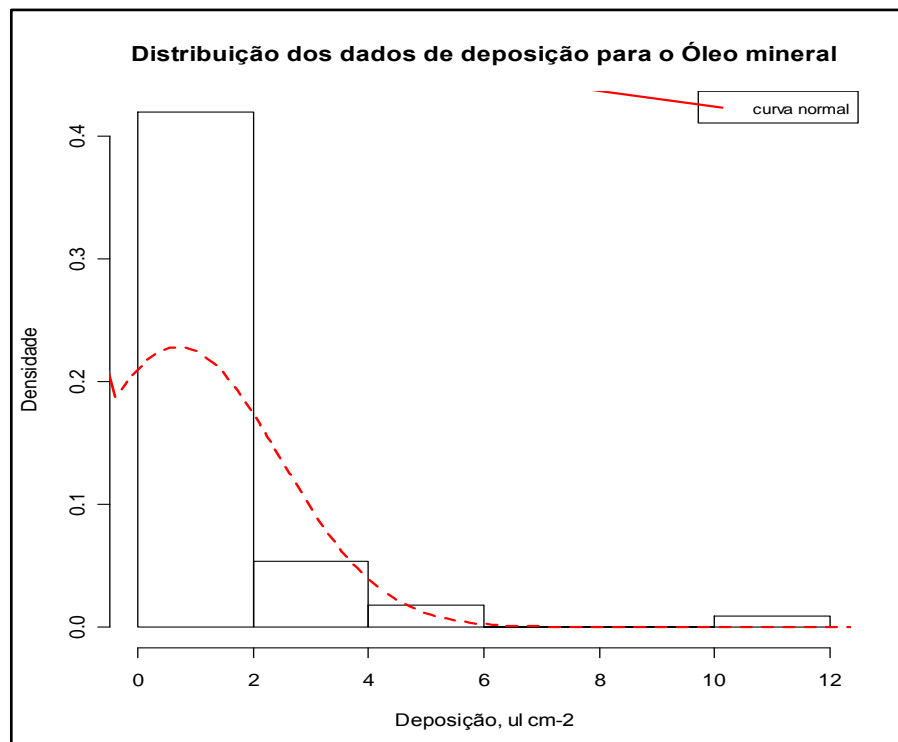


FIGURA A3 - Gráfico da distribuição dos dados de deposição de calda de pulverização para Óleo mineral.

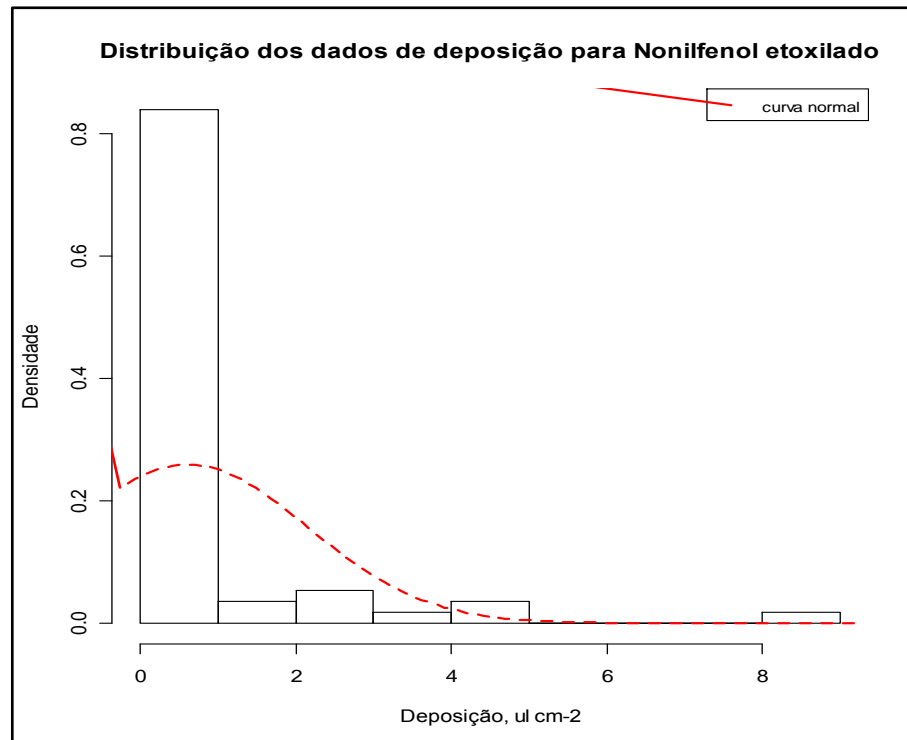
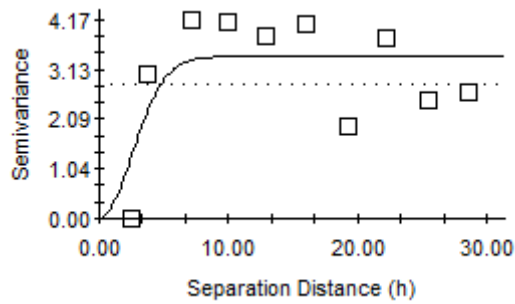
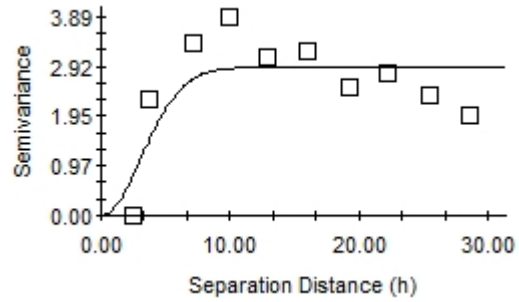


FIGURA A4 - Gráfico da distribuição dos dados de deposição de calda de pulverização para Nonilfenol etoxilado.

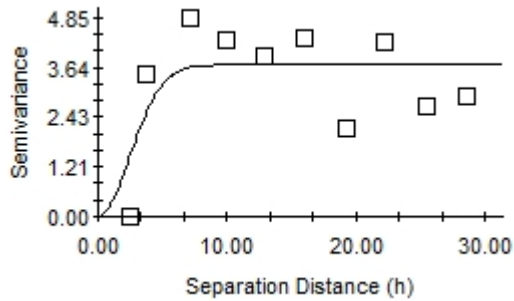
## ANEXO B



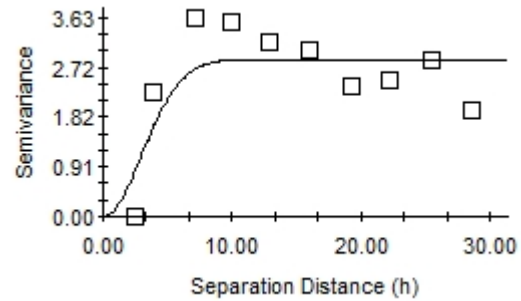
(a)



(b)

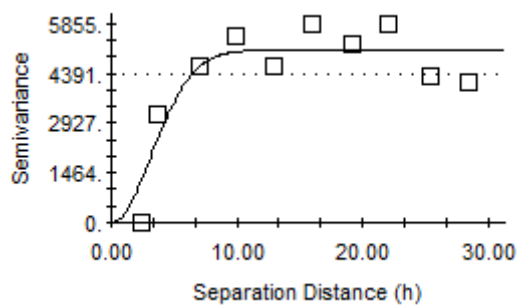


(c)

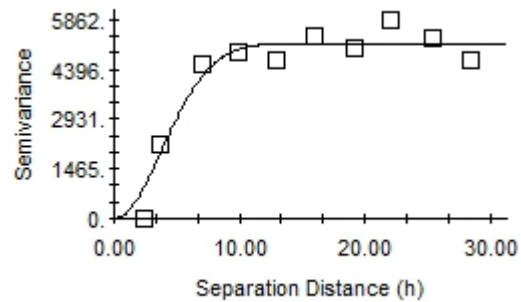


(d)

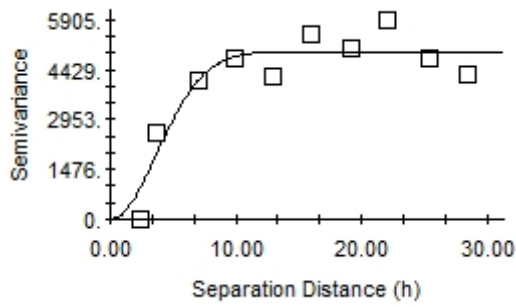
FIGURA A5 - Semivariogramas teóricos das deposições de calda sobre as placas de vidro com o uso dos adjuvantes água (a), polímero siliconado (b), óleo mineral (c) e nonilfenol exotolado (d).



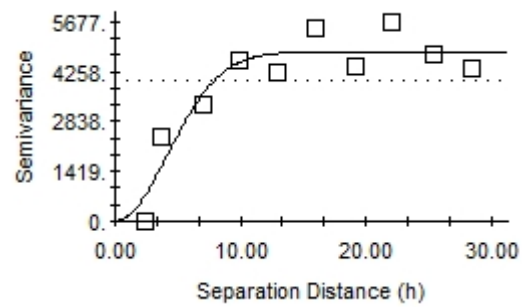
(a)



(b)

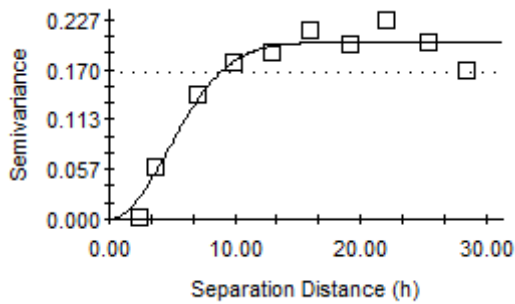


(c)

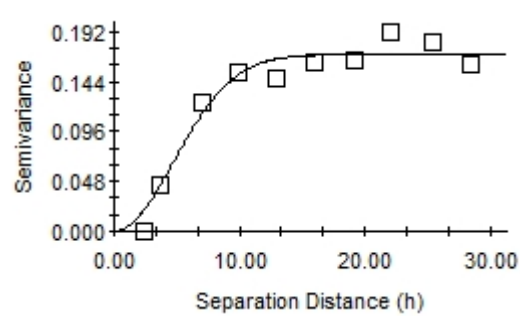


(d)

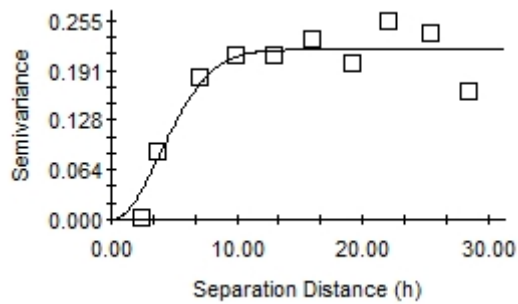
FIGURA A6 - Semivariogramas teóricos do DMV encontrado nas etiquetas de papel hidrossensível com o uso dos adjuvantes água (a), polímero siliconado (b), óleo mineral (c) e nonilfenol exotolado (d).



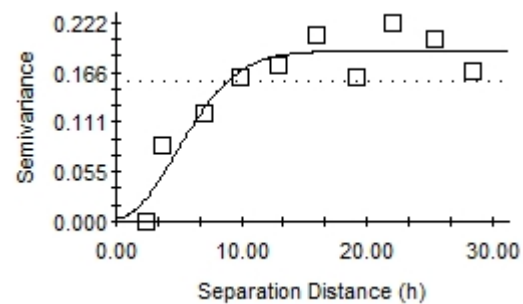
(a)



(b)



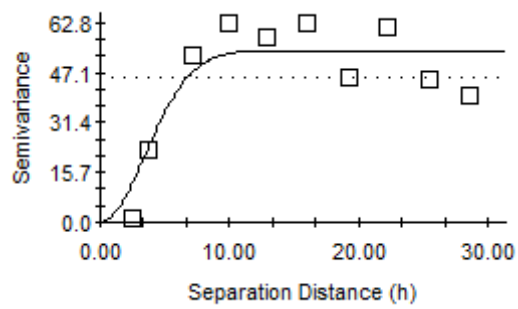
(c)



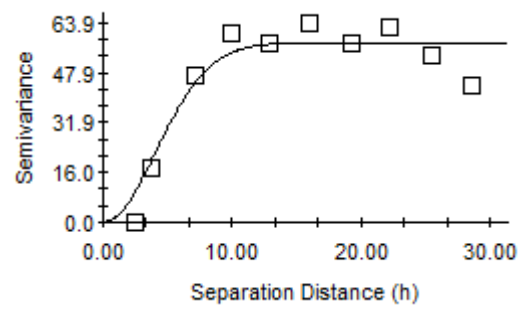
(d)

FIGURA A7 - Semivariogramas teóricos da amplitude relativa encontrada nas etiquetas de papel hidrossensível com o uso dos adjuvantes água (a), polímero siliconado (b), óleo mineral (c) e nonilfenol exotolado (d).

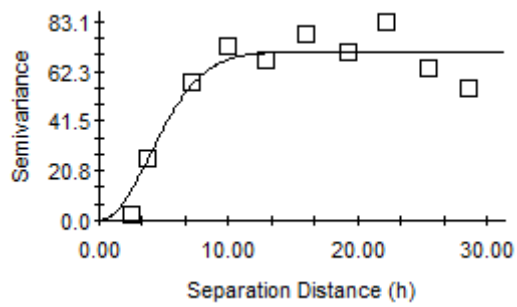




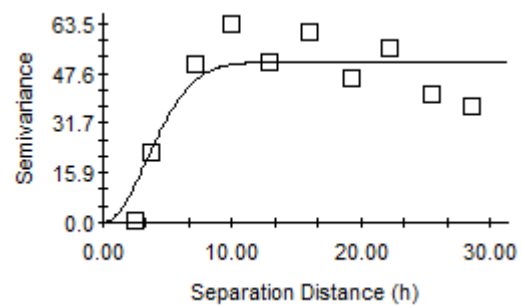
(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA A8 - Semivariogramas teóricos da cobertura encontrada nas etiquetas de papel hidrossensível com o uso dos adjuvantes água (a), polímero siliconado (b), óleo mineral (c) e nonilfenol exotolado (d).