

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO RIO GRANDE DO SUL - CAMPUS BENTO GONÇALVES

INDUÇÃO DE CARGA E COBERTURA DE GOTAS DE UM
PULVERIZADOR ELETROSTÁTICO EM UM VINHEDO
NIÁGARA NA SERRA GAÚCHA

Bento Gonçalves, Dezembro de 2020

Felipe Maggioni Bertuol

INDUÇÃO DE CARGA E COBERTURA DE GOTAS DE UM
PULVERIZADOR ELETROSTÁTICO EM UM VINHEDO
NIÁGARA NA SERRA GAÚCHA

Artigo científico apresentado junto ao curso de Especialização em Viticultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Bento Gonçalves, como requisito para obtenção do título de Especialista em Viticultura.

Orientador: Otávio Dias da Costa Machado

Bento Gonçalves, Dezembro de 2020

INDUÇÃO DE CARGA E COBERTURA DE GOTAS DE UM PULVERIZADOR ELETROSTÁTICO EM UM VINHEDO NIÁGARA NA SERRA GAÚCHA

Felipe Maggioni Bertuol

RESUMO

Na região da Serra Gaúcha, são comuns altas taxas de aplicação de calda na cultura da videira, resultando elevadas perdas por deriva. A pulverização eletrostática se apresenta como uma possível alternativa para este problema, devido à maior deposição de calda que pode proporcionar. Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da indução de carga nas gotas de pulverização em função da distância e a qualidade de pulverização em um vinhedo. No primeiro experimento foi aferido o decaimento da relação carga/massa (Q/M) em função da distância, com quatro pontas de pulverização eletrostática de diferentes vazões, sendo utilizado o método da Gaiola de Faraday. No segundo experimento foram avaliadas a cobertura de pulverização e a deriva proporcionada pela pulverização eletrostática em um vinhedo, conduzido em sistema latada, cv. Niágara Rosada e espaçamento de 2,5 m entre plantas. Foram utilizados cartões hidrossensíveis para a avaliação, considerando os parâmetros densidade de gotas (gotas cm^{-2}) e índice de impactos. Os cartões foram fixados nas faces adaxial e abaxial das folhas em 10 posições do dossel. Os resultados demonstraram que a relação Q/M foi inversamente proporcional às distâncias e foi influenciada pelas pontas de pulverização. Nenhum dos tratamentos atingiu os valores mínimos de relação Q/M recomendados para uma pulverização eletrostática eficaz. A cobertura de pulverização apresentou desuniformidade na densidade de gotas aferida comparativamente para as faces adaxial e abaxial das folhas e para a posição, verificando-se maior população de gotas nas faces inferiores das folhas. A maioria dos cartões não atingiu os valores mínimos definidos pelo índice de impactos para uma cobertura eficaz dos alvos de pulverização.

Palavras-Chave: Pulverização eletrostática, Deriva, Relação Q/M, Qualidade de pulverização.

INTRODUÇÃO

A vitivinicultura apresenta-se com uma das principais atividades econômicas na região da Serra Gaúcha. A área cultivada é de 32.306 ha, representando 80,09% da área com vinhedos no Rio Grande do Sul. A produção total de uvas estimada é de 660.445 t, sendo a maior região produtora do Brasil (Cadastro Vitícola, 2017).

Para realização desta atividade diversos são os tratamentos culturais praticados nos vinhedos, sendo a pulverização uma peça-chave deste sistema, visando o tratamento fitossanitário. No entanto se esta técnica não for aplicada adequadamente, poderá acarretar em impactos ao meio ambiente devido principalmente às perdas de calda por deriva e evaporação.

A deriva é caracterizada como qualquer desvio da calda de pulverização, durante ou após aplicação, e que não atingirá o alvo pretendido. Esta, pode ser categorizada em endoderiva, que é a perda de calda dentro da área tratada, e a exoderiva, que corresponde às perdas para outras áreas. As perdas de calda também ocorrem por evaporação, que ocorre devido a condições climáticas desfavoráveis (Andef, 2013). A endoderiva pode ser acentuada quando utilizadas gotas grandes, que não penetram no dossel, atingindo somente os pontos mais expostos. O impacto destas gotas com a superfície da folha ocasiona o escoamento para estratos inferiores do dossel e para o solo. A exoderiva é associada às gotas de menores diâmetros, pois são carregadas mais facilmente pelas correntes de vento. Este tipo de gota também é mais propenso ao processo de evaporação, que é acentuada com baixa umidade e alta temperatura do ar (Chaim, 2009).

Diversos autores comprovaram que ocorrem essas perdas no processo de pulverização de diversas culturas. Garcerá, Moltó e Chueca (2017), em um experimento com citros, observaram que apenas 46% do volume total de calda aplicada atingiu as plantas alvo, sendo o restante deste volume representado por endoderiva, exoderiva e evaporação. Pergher e Gubiani (1995), avaliando diferentes taxas de aplicação de pulverização e deposição em vinhedos, registraram perdas da calda para o solo na faixa de 34% a 49%. Chaim, Pessoa e Ferracini (2004), observaram perdas por deriva de 18% a 55%, em um vinhedo conduzido no sistema latada, comparando diferentes pulverizadores e pontas de pulverização.

Na região da Serra Gaúcha as perdas de calda por deriva são altas, sendo um dos motivos o desconhecimento por parte dos produtores da real taxa de aplicação praticada, pois a maioria dos produtores não executa um processo técnico de regulação e calibração. Essa falta de controle induz à utilização de elevados volumes de calda, na faixa de 800 a mais de 1.000 litros a cada hectare. Os desvios entre as taxas de aplicação que o produtor acredita estar aplicando e o volume realmente aplicado são em média de 40%, ainda ocorrendo problemas de sub e superdosagem dos produtos aplicados devido ao processo de diluição ser comprometido quando se desconhece a taxa de aplicação (Machado et al., 2015). Aimi, Machado e Rosa (2019), avaliando diferentes opções de pulverização em um vinhedo conduzido no sistema latada, demonstraram que taxas de aplicação menores, decorrentes de pontas com menores vazões e menores tamanhos de gotas, proporcionaram uma pulverização de maior qualidade, representando um melhor controle de doenças, redução de custos de aplicação e diminuição do impacto ambiental.

Analisando os riscos de perdas de calda por deriva e evaporação e observando a existência destes problemas nas áreas de produção vitícola da Serra Gaúcha, a pulverização eletrostática surge como uma possível alternativa. Law (1995), aponta que esta tecnologia tem alto potencial para redução dos custos de aplicação nos cultivos e diminuição dos danos por deriva aos ecossistemas, isto devido à deposição de calda mais eficiente que esse sistema pode vir a proporcionar.

A pulverização eletrostática é uma tecnologia que atua induzindo cargas elétricas nas gotas e se baseia em dois princípios básicos: da atração entre cargas opostas e repulsão entre cargas iguais. Assim, uma nuvem de gotas carregadas atuará sobre um corpo condutor induzindo cargas elétricas opostas. Quando as gotas de calda recebem cargas elas tenderão e se repelir, devido a possuírem a mesma carga elétrica. Estas se expandirão, formando uma nuvem de partículas que possuirá um mesmo campo elétrico, e serão conduzidas até a superfície do alvo por linhas de fluxo (Chaim, 2006).

O tamanho de gotas é um fator que está diretamente ligado a eficiência deste sistema. Marchant e Green (1982), avaliando um sistema de pulverização eletrostático, notaram que gotas menores tendem a adquirir maior carga elétrica do que gotas maiores, sendo assim mais facilmente atraídas ao alvo pretendido. Chaim et al. (2002), em um experimento que avaliou um bocal eletrostático adaptado a um pulverizador costal, observaram que ocorreu uma redução linear na carga elétrica das gotas em função do

aumento de vazão. Segundo os autores, isto foi atribuído ao aumento do diâmetro das gotas.

Vários estudos vêm sendo realizados com o objetivo de melhor elucidar o modo como esta tecnologia atua sobre os cultivos agrícolas. Stawniczyi e Lima (2018), avaliando a pulverização eletrostática em diferentes cultivares de uva conduzidas em sistema latada, observaram um menor volume de calda aplicado na cv. Niágara Branca, devido ao direcionamento das gotas pelas cargas elétricas, reduzindo perdas. Vitória et al. (2018), comparando um sistema de pulverização convencional com um eletrostático que possuem diferentes taxas de aplicação, registraram menores perdas por endo e exoderiva no sistema eletrostático.

Zignani (2018), em um experimento com um pulverizador eletrostático em um vinhedo conduzido em sistema espaldeira, não observou diferença na deposição de calda comparando o sistema ligado e desligado. Além disso, o sistema não proporcionou carga elétrica suficiente às gotas para uma deposição eficiente, segundo o que é citado na literatura. Sasaki (2011), avaliando a eficiência de um sistema eletrostático de pulverização pelo método da Gaiola de Faraday, concluiu que ocorre uma diminuição da carga elétrica das gotas em função de uma maior distância percorrida. Os valores de carga obtidos até a distância de 2 metros aproximadamente, atingiram a carga elétrica mínima suficiente indicada pela literatura para eficiência deste tipo de sistema.

A relação carga/massa (Q/M) é a razão entre vazão e corrente elétrica, sendo um dos principais parâmetros para a avaliação de sistemas eletrostáticos. Para Sasaki (2011) a relação Q/M mínima para obtenção de resultados satisfatórios foi de $0,6 \text{ mC kg}^{-1}$. Para Law (1995), os valores mínimos devem estar entre 1 e 2 mC kg^{-1} . Laryea e No (2002) definem a relação Q/M de $0,27 \text{ mC kg}^{-1}$ como a mais adequada para este tipo de pulverização.

Atualmente, existem marcas comercializando sistemas eletrostáticos de pulverização no Brasil e na região da Serra Gaúcha. Considerando as elevadas taxas de aplicação praticadas na região, com altos volumes de deriva, que geram impactos tanto ambientais quanto econômicos, a pulverização eletrostática se mostra como uma possível solução diante das evidências apresentadas. No entanto, ainda são poucos os estudos realizados nesta área focados em viticultura.

Considerando estes aspectos, o objetivo deste trabalho foi avaliar um sistema de pulverização eletrostático quanto à indução de carga elétrica nas gotas em função de diferentes pontas e distâncias de pulverização, além da cobertura de gotas em diferentes posições e para as faces das folhas, analisando a densidade de gotas e o índice de impactos de gotas de pulverização.

METODOLOGIA

As atividades foram organizadas em dois experimentos, realizados em uma propriedade de produção vitícola, no município de Farroupilha/RS, em novembro de 2019. O primeiro experimento foi dedicado a descrever o comportamento das cargas induzidas nas gotas, enquanto o segundo avaliou a cobertura de gotas nos alvos. As cargas induzidas foram analisadas pela relação carga/massa (Q/M), comparando-se essa variável para diferentes pontas e distâncias das mesmas em relação ao dispositivo de medição. No segundo experimento foram utilizados cartões hidrossensíveis para avaliar a cobertura de gotas nas folhas da videira, e a deriva, comparando-se as duas faces das folhas do vinhedo e diferentes posições dos alvos.

O pulverizador utilizado foi da marca Pulvimat, modelo PV-400, do tipo hidropneumático com turbina axial e depósito de 400 L (Figura 1). O acionamento deste pulverizador foi realizado por um trator da marca Yanmar, modelo Agritech 1155-4 SE, 4x2 com tração dianteira auxiliar.



Figura 1: Pulverizador utilizados nos experimentos.

O equipamento de indução de carga elétrica de gotas utilizado nos experimentos é comercializado no mercado brasileiro e na região da Serra Gaúcha. A instalação dos mesmos substitui os bicos de pulverização convencionais por bicos próprios do sistema, tendo sido instalado em todas as posições disponíveis nos ramais do pulverizador. Este sistema é composto por uma caixa de controle, cabos, conexões elétricas, bicos para indução de carga e pontas de pulverização. As gotas são eletricamente carregadas devido a anéis de indução posicionados próximos às pontas, que gerarão a carga elétrica no momento de saída da calda (Figura 2).



Figura 2: Ponta de pulverização e anel de indução de carga

Os testes de indução de carga foram conduzidos com 4 pontas de pulverização do mesmo fabricante, sendo 3 novas e uma usada. As pontas novas foram identificadas como Branca, Azul e Cinza 2. A ponta usada, também da cor cinza, foi identificada como Cinza 1, com aproximadamente 400 horas de uso. As taxas de aplicação foram calculadas considerando-se o manejo fitossanitário utilizado para a condução do vinhedo, utilizando-se 8 pontas de pulverização, com marcha quarta reduzida e velocidade de 4,5 Km h⁻¹. O espaçamento entrelinhas considerado foi de 5 m, observando-se que o tratamento é realizado alternando-se fileiras. As vazões das pontas foram aferidas coletando-se o líquido pulverizado com auxílio de uma mangueira e provetas em 1 minuto. A pressão utilizada no pulverizador foi de 7,5 bar em todos os testes. Os respectivos valores de vazão (ml/min⁻¹) e taxa de aplicação (L/ha⁻¹) estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Pontas de pulverização, vazão (ml min^{-1}) e taxas de aplicação (L ha^{-1}).

Pontas de Pulverização	Vazão (ml min^{-1})	Taxa de aplicação (L ha^{-1})
Branca	280	59,73
Azul	386	82,34
Cinza 2	551	117,54
Cinza 1	704	150,18

A cv. utilizada foi Niágara Rosada, enxertada sobre Paulsen 1103, conduzida em sistema latada e com espaçamento de 2,5 m entre plantas. As entrelinhas possuem 2,5 m e são tratadas alternadamente, método conhecido na região por pular fileiras. A captação das gotas da calda de pulverização, para medição da carga elétrica, foi realizada com uma estrutura metálica em formato tubular, seguindo os princípios da Gaiola de Faraday, sendo este método também utilizado por Maski e Durairaj (2010); e Sasaki (2011). O princípio da Gaiola de Faraday demonstra que em uma superfície condutora com um campo elétrico nulo em seu interior, ocorrerá uma distribuição homogênea das cargas elétricas nesta superfície.

A gaiola possui 80 cm de diâmetro e 60 cm de comprimento e é recoberta por uma malha de aço galvanizado. Esta, fica suspensa por fios de nylon, amarrados em uma estrutura de madeira (Figura 3). A quantificação da carga elétrica foi realizada com um multímetro digital da marca Fluke, modelo 15B, com margem de erro de $0,05 \mu\text{A}$, sendo este conectado a gaiola por um eletrodo.



Figura 3: Estrutura metálica tipo Gaiola de Faraday

Para o primeiro experimento, de avaliação da indução de carga, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4 x 11, com fatores pontas de pulverização e distância da ponta à gaiola. O fator pontas de pulverização foi composto pelas pontas Branca, Azul, Cinza 2 e Cinza 1. O fator distância utilizou onze níveis, de distâncias da ponta avaliada ao alvo, nas medidas 0; 50; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 450 e 500 centímetros. Nesse experimento foram utilizadas 5 repetições. As posições da gaiola foram alinhadas horizontalmente, enquanto que no plano vertical a posição da ponta correspondeu ao centro da gaiola, permitindo a coleta adequada com jato de pulverização transportado pela corrente de ar da turbina. O painel de controle do sistema eletrostático foi mantido acionado e em sua tensão máxima.

A partir da determinação dos dados de carga elétrica e vazão das pontas foi possível determinar a relação carga/massa (Q/M) das gotas, representada pela equação:

$$\frac{Q}{M} = \frac{Q/\Delta t}{M/\Delta t} = \frac{i}{m}$$

Onde:

Q/M = Relação carga/massa ($C\ kg^{-1}$)

i = Corrente elétrica ($C\ s^{-1}$)

m = Vazão ($Kg\ s^{-1}$)

A relação Q/M é um dos principais parâmetros considerados para análise de eficiência de sistemas eletrostáticos, sendo utilizada por Marchant e Green (1982); Law (1995); Laryea e No (2003) e Sasaki (2011).

Para análise da curva da relação Q/M em função da distância, considerou-se o decaimento exponencial. Este ocorre toda vez que determinada quantidade, denominada $N(t)$ diminui com o tempo, proporcional ao produto de uma constante λ pela quantidade N_0 presente no instante inicial $t = t_0 = 0$. Dessa forma, em determinado instante t , a equação que descreve o fenômeno é

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

O sinal negativo implica que a quantidade diminui com o tempo. Reagrupando os termos para resolver em N , teremos

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \rightarrow \int_{N_0}^N \frac{1}{N} dN = -\lambda \int_{t=0}^t dt \rightarrow \ln N - \ln N_0 = -\lambda t \rightarrow \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \rightarrow \therefore N = N_0 e^{-\lambda t}.$$

Ou seja, um valor proporcional à quantidade inicial presente, como deveria ser. Um esboço gráfico da quantidade $N_0 \times t$ é o mostrado abaixo.

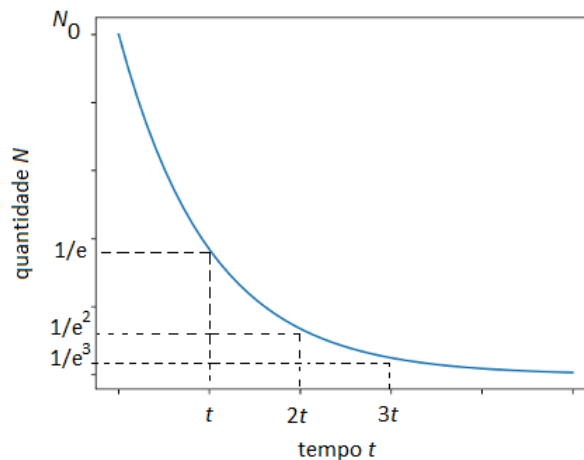


Figura 4. Curva mostrando o comportamento de um decaimento exponencial de determinada quantidade inicial N_0 . A característica típica deste tipo de decaimento é o fato da queda da curva apresentar comportamento $\frac{1}{e^n} \times nt$. Fonte: confecção dos autores.

A Fig. 4 acima é um comportamento típico do decaimento exponencial. Este tipo de decaimento ocorre em um número muito grande de fenômenos físicos, em distintas situações sempre que alguma grandeza física sob consideração é alterada em uma taxa proporcional a ela mesma. O exemplo mais clássico na Física é o decaimento radiativo. No estudo das videiras, a razão adequada a se utilizar é a dependência distância do pulverizador até a videira:

$$\frac{dN}{dx} = -\lambda x.$$

Cálculos análogos levam a:

$$N(x) = N_0 e^{-\lambda x}.$$

Assim, conforme a literatura, o modelo de decaimento exponencial é o que explica adequadamente a diminuição da carga na gota conforme a mesma se afasta do bico ao ser ejetada, não sendo necessário modelos mais complicados de “fiting” dos pontos com equações de grau 1 ou grau 2. A explicação física é que quando a gota sai do bico com certa quantidade de carga ela colide diversas vezes com outras gotas e partículas do ar. Estas outras gotas podem estar com menos carga e no caso de partículas presentes no ar podem até ser íons de carga oposta. Como o número de colisões depende da distância percorrida (que está relacionada com o número de colisões por um determinado caminho que a gota seguiu) a quantidade inicial diminui com a distância de forma exponencial.

A análise estatística foi realizada pelo programa Assistat, com análise de variância e testes de médias para o fator pontas, enquanto o fator distância foi analisado por análise de regressão.

No segundo experimento foi utilizada a ponta Cinza 1, sendo a ponta recomendada pelo fabricante para o vinhedo. A avaliação da qualidade de aplicação se deu por meio de cartões hidrossensíveis com área útil de leitura de 26 x 26 mm, comercializados com a marca Dropcard. Os mesmos foram afixados em pares nas folhas, para as faces adaxial e abaxial e fixados com auxílio de grampeador. Esses cartões são recomendados para a avaliação de cobertura porque as gotas formam marcações azuis quando os cartões são atingidos pela calda de pulverização.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas, arranjo fatorial e dois fatores, sendo estes posição do dossel e face da folha. Cada tratamento contou com quatro repetições. O fator posição do dossel contou com 5 níveis, dispostos desde o centro da entrelinha tratada até a metade da entrelinha adjacente, contemplando a faixa de 5 m pulverizada a cada passada. O fator face da folha contou com dois níveis, face adaxial e abaxial das folhas. A caracterização dos tratamentos se encontra detalhada na Tabela 2.



Tabela 2. Caracterização dos tratamentos de avaliação de cobertura de gotas em função da posição do dossel e face da folha.

Tratamentos	Posição	Face
E25S	2,5 m - lado esquerdo	Superior
E25I	2,5 m - lado esquerdo	Inferior
E125S	1,25 m - lado esquerdo	Superior
E125I	1,25 m - lado esquerdo	Inferior

C00S	0 m - centro	Superior
C00I	0 m - centro	Inferior
D125S	1,25 m - lado direito	Superior
D125I	1,25 m - lado direito	Inferior
D25S	2,5 m - lado direito	Superior
D25I	2,5 m - lado direito	Inferior

Após a realização da pulverização e secagem da calda por aproximadamente 5 minutos, os cartões foram retirados das folhas e embalados evitando o contato com a umidade do ar. A digitalização foi realizada por meio do programa Dropscope, associado a scanner específico para digitalização. O programa identifica os locais atingidos por gotas no cartão, podendo deste modo realizar a mensuração dos dados de pulverização. A partir do programa foi obtida a variável densidade de gotas (gotas cm^{-2}). Além da densidade, os cartões foram submetidos ao método de avaliação do índice de impactos de gotas de pulverização, proposto por Aimi, Machado e Rosa (2019). Nesse método, após as digitalizações, os cartões foram analisados por três avaliadores, que atribuíram notas de 1 a 5, utilizando como referência a Tabela 3 para a referência de avaliação visual. O índice de impactos foi considerado complementar a densidade aferida pelo programa, evitando a influência da sobreposição de gotas e permitindo identificar a ocorrência de escorrimento. Os níveis considerados para o índice de impactos (Tabela 4) também foram classificados por Aimi, Machado e Rosa (2019), baseando-se em Mathews et al. (2016) e Machado et al. (2016), que definem a densidade ideal de gotas para uma pulverização eficiente. As análises estatísticas foram feitas pelo programa Assistat, com as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 3. Parâmetros utilizados para referência visual.

Alvo	Parâmetro
	Densidade menor que 40 gotas cm^{-2}
	Densidade 40 gotas cm^{-2}



Densidade 70 gotas cm^{-2}



Densidade 100 gotas cm^{-2}



Densidade maior que 100 gotas cm^{-2}

Tabela 4. Níveis considerados para avaliação do Índice de Impacto dos cartões.

Índice de Impactos de gotas de pulverização	Intervalo	Cobertura de Pulverização	Densidade (gotas cm^{-2})
1	1 a 1,99	Baixa	$D < 40$
2	2 a 2,99	Regular	$40 > D > 70$
3	3 a 3,99	Ideal	$71 > D > 100$
4	4 a 4,99	Excesso	$D > 100$
5	5	Escorrimento	Grande área com sobreposição de gotas

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância do primeiro experimento, onde se quantificou a relação Q/M das gotas em função das diferentes pontas de pulverização e

das distâncias percorridas, encontram-se detalhados na Tabela 5, sendo os valores apresentados as médias referentes às quatro pontas e onze distâncias.

Tabela 5. Análise de variância da medição da relação Q/M (mC Kg^{-1}) das gotas em função de quatro pontas de pulverização e onze distâncias percorridas.

Fatores	Relação Q/M (mC Kg^{-1})
Pontas de pulverização (P)	
Branca	0,108 a
Azul	0,079 b
Cinza 2	0,069 c
Cinza 1	0,046 d
Distâncias (D)	
0 cm	0,406
50 cm	0,199
100 cm	0,094
150 cm	0,045
200 cm	0,037
250 cm	0,024
300 cm	0,017
350 cm	0,009
400 cm	0,002
450 cm	0,001
500 cm	0,000
Teste F	
P	309,0304 *
D	2697,6934 **
P x D	71,2349 *
C.V. (%)	14,04

* significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

** Os tratamentos são quantitativos. O teste F não se aplica

De acordo com estes dados, observam-se contrastes entre os fatores pontas, distâncias e para a interação entre esses fatores. Os valores de relação Q/M obtidos são inversamente proporcionais aos de vazões das pontas, com as médias das distâncias de cada ponta variando desde 0,047 para a ponta Cinza 1 até 0,108 mC Kg^{-1} para a ponta Branca. Sendo esse aumento da relação de 2,3 vezes proporcional à redução da vazão da ponta de 704 para 280 ml min^{-1} , é possível afirmar que a redução da vazão das pontas é essencial para otimizar a pulverização eletrostática. Isso se deve ao fato de que gotas com menores diâmetros, decorrentes de menores vazões, tendem a adquirir maiores cargas

elétricas. Este fenômeno também foi observado por Marchant e Green (1982); Chaim (2002); e Maski e Durairaj (2010) ao avaliarem sistemas eletrostáticos de pulverização.

As perdas de carga em função da distância foram expressivas, reduzindo a relação Q/M em 76,84% no primeiro metro do trajeto das gotas. Em média na distância zero a indução de carga atingiu o valor mínimo recomendado por Laryea e No (2003) de 0,27 mC Kg⁻¹, mas reduziu-se para valores menores que esta referência nos primeiros 50 cm de trajeto das gotas. Analisando-se os 250 cm tratados a partir do centro da entrelinha, os valores de carga induzida nas extremidades da faixa tratada seriam em média 0,024.

A interação das pontas e distâncias demonstrou contrastes efetivos. Também se observa que há diferença significativa confirmada entre os dois fatores, estando os testes de médias de interação apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Médias de interação dos fatores Pontas de Pulverização (P) x Distâncias (D).

Pontas	Distâncias (cm)										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Branca	0,522a	0,317a	0,145a	0,081a	0,056a	0,030a	0,030b	0,008a	0,000a	0,000a	0,000a
Azul	0,476b	0,168c	0,087b	0,034b	0,047a	0,031a	0,016ab	0,010a	0,003a	0,003a	0,000a
Cinza 2	0,357c	0,203b	0,096b	0,040b	0,022b	0,020a	0,013ab	0,015a	0,004a	0,000a	0,000a
Cinza 1	0,269d	0,111d	0,048c	0,026b	0,024b	0,016a	0,012b	0,005a	0,004a	0,002a	0,000a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os maiores valores de relação Q/M encontrados para todas as pontas estão na distância 0 cm, dentre estas a ponta Branca com maior valor e Cinza 1 com o menor, reforçando o fato observado de que menores vazões geram maiores cargas elétricas. Em relação às distâncias percorridas, a ponta Branca foi a que manteve os maiores valores de relação Q/M até 250 cm, distância a partir da qual não ocorre mais diferença entre os tratamentos. Entretanto, a ponta Branca somente apresentou valores maiores que o recomendado por Laryea e No (2003) nos primeiros 50 cm, distância não suficiente para as gotas atingirem os alvos posicionados em 250 cm, nas extremidades da entrelinha tratada. As pontas Azul, Cinza 2 e Cinza 1 atingiram valores superiores ao que é recomendado por estes autores apenas em 0 cm. Zignani (2018), obteve resultados

semelhantes a estes, ao avaliar em sistema eletrostático equipado com uma ponta de pulverização similar a Cinza 2.

No entanto, é importante observar que nenhum dos tratamentos atingiu os valores mínimos de relação Q/M necessários para uma pulverização eletrostática eficiente, segundo o que é citado pela maioria dos autores. Para Sasaki (2011), não existe relação Q/M ideal, porém, quanto maior esta for, maior será a eficiência do sistema.

As gotas das pontas Branca, Azul, Cinza 2 e Cinza 1 perderam, respectivamente, 39,34; 64,71; 43,29 e 58,86 % de sua carga elétrica de 0 a 50 cm percorridos, sendo este o intervalo de distância medido que apresentou as maiores perdas de carga. O decréscimo dos valores de corrente elétrica se mantém ao longo das distâncias percorridas, podendo ser observado na Figura 3.

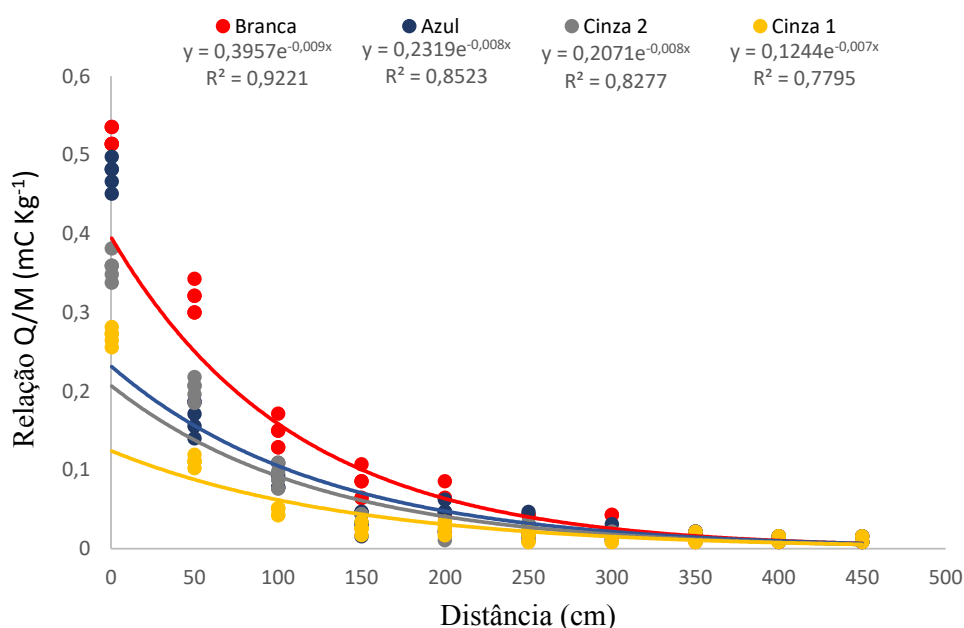


Figura 5: Relação Q/M em função da distância percorrida

Observando o gráfico, percebe-se uma relação inversamente proporcional entre a relação Q/M e as distâncias percorridas. No trabalho realizado por Sasaki (2011), as linhas tendência do gráfico tiveram comportamento bastante semelhante a estas. Segundo o autor, esta diminuição da carga ocorre devido à resistência do ar durante o percurso, e por evaporação das gotas menores, afetando assim a relação Q/M.

Analisando os pontos apresentados, e visando um aprimoramento deste sistema de pulverização eletrostático, deve-se considerar uma redução da distância entre gota e alvo, proporcionando valores maiores de carga elétrica quando a calda atingir a superfície da planta. Marques (2018), avaliando um sistema similar com um pulverizador de barras na cultura do milho, com taxas de aplicação de 35 e 50 L ha⁻¹, observou maior deposição de calda no sistema ligado em comparação ao desligado. Visto que um pulverizador de barras diminui a distância entre gota e alvo, na cultura da videira, conduzida em sistema latada, poderia se considerar o desenvolvimento de um pulverizador nesta conformação, com os bicos direcionados para o dossel da cultura, reduzindo a distância percorrida pela gota, e possivelmente melhorando a eficiência deste sistema.

No segundo experimento, conduzido a campo, onde se utilizou a ponta Cinza 1, com vazão de 150,18 L ha⁻¹, realizou-se uma análise de variância da densidade de gotas (gotas cm⁻²) para os fatores posições em relação ao centro da entrelinha pulverizada e faces da folha, estando os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 7. Análise de variância dos fatores posições e faces em função da densidade (gotas/cm²).

Fatores	Densidade (gotas cm⁻²)
Posições (P)	
Esquerda 2,5 m	184,1375
Esquerda 1,25 m	100,1862
Centro	133,2850
Direita 1,25 m	146,3200
Direita 2,5 m	97,0900
Faces (F)	
Superior	73,0565 b
Inferior	191,351 a
Teste F	
P	0,3697 ns
F	4,6987 *
P x F	0,2991 ns
C.V. (%) - P	126,32
C.V. (%) - F	130,54

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns: não significativo ($p \geq .05$)

O fator posições não apresentou diferença significativa entre si e a interação entre os tratamentos não foi significativa. A média geral da densidade foi de 132,2 gotas cm⁻², representando excesso de deposição de calda, considerando-se que uma pulverização ideal possui de 70 a 100 gotas cm⁻². É importante ressaltar que houve uma alta desuniformidade de pulverização, ocorrendo casos com deposição de 0 a 680 gotas cm⁻² dentro de um mesmo tratamento, sendo esta elevada concentração de gotas em alguns tratamentos, determinante para a média de densidade de gotas ser considerada elevada. É possível perceber que ocorreu diferença significativa no fator face, demonstrando que ocorre uma maior densidade de gotas na face inferior das folhas durante a pulverização.

Os resultados da análise de variância do índice de impacto dos cartões para os fatores posições e faces encontra-se apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Análise de variância dos fatores posições e faces em função do Índice de Impactos.

Fatores	Índice de Impactos (IMP)
Posições (P)	
Esquerda 2,5 m	2,95
Esquerda 1,25 m	2,33
Centro	2,50
Direita 1,25 m	2,95
Direita 2,5 m	2,70
Faces (F)	
Superior	2,35
Inferior	3,00
Teste F	
P	0,5220 ns
F	4,2130 ns
P x F	0,6479 ns
C.V. (%) - P	40,33
C.V. (%) - F	39,11

ns: não significativo ($p \geq .05$)

De acordo com estes dados não ocorreu diferenças significativas para os fatores posições e faces. Também não ocorreu interação entre estes. A média geral dos tratamentos foi de 2,69, representando uma pulverização abaixo do índice ideal que seria 3. A aparente contradição entre a média de densidade de gotas e a média do índice dos cartões, denota a importância da análise por meio do Índice de Impactos, sendo esta mais representativa da real cobertura da pulverização, demonstrando que existem pontos no

vinhedo onde ocorre uma deposição de calda inadequada. O único fator que atingiu o índice 3 foi o fator face inferior das folhas, devido a estar diretamente voltada para os bicos de pulverização, gerando assim uma maior concentração de gotas. Os índices de impacto para as faces superior e inferior corroboram com o encontrado por Aimi, Machado e Rosa (2019). O índice obtido denota que existem pontos do dossel do vinhedo que não estão sendo atingidos pela calda de pulverização. Também é importante ressaltar que foram identificados pelo índice de impactos cartões com nota 5, representando assim escorrimento de calda.

CONCLUSÕES

Na avaliação do sistema eletrostático, os valores de relação Q/M obtidos são inversamente proporcionais em função das vazões das pontas e de distâncias percorridas. Nenhum dos tratamentos atingiu os valores mínimos de relação Q/M necessários para uma pulverização eletrostática eficiente, segundo o que é citado na literatura.

A avaliação da qualidade de pulverização demonstrou desuniformidade na deposição. Ocorreu uma maior densidade de gotas na face inferior das folhas. A maioria dos cartões não atingiu os valores mínimos definidos pelo Índice de Impactos para uma pulverização eficiente.

BIBLIOGRAFIA

AIMI, R.; MACHADO, O.D. da C.; ROSA, J.M. da. Melhoria da qualidade da pulverização de videiras cv. Isabel pela redução do volume de aplicação. **Revista Brasileira de Viticultura e Enologia**, Bento Gonçalves, v. 11, p. 10-17, set. 2019.

ANDEF. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. Manual de tecnologia de aplicação. São Paulo, SP: ANDEF, 2013.

CHAIM, A. Manual de tecnologia de aplicação de agrotóxicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. 73p.

CHAIM, A. Pulverização eletrostática: principais processos utilizados para eletrificação das gotas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

CHAIM A, PESSOA M.C.P.Y.; FERRACINI V.L. Eficiência de deposição de agrotóxicos obtida com bocal eletrostático para pulverizador costal motorizado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p.497-501, abr. 2002.

CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L. Eficiência de deposição de pulverização em videira, comparando bicos e pulverizadores. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.14, p.41-46, dez. 2004.

GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E.; CHUECA, P. Spray pesticide applications in Mediterranean citrus orchards: canopy deposition and off-target losses. **Science Of The Total Environment**, v. 599-600, p. 1344-1362, dez. 2017.

LARYEA, G. N.; NO, S-Y. Development of electrostatic pressure-swirl nozzle for agricultural applications. **Journal Of Electrostatics**, v. 57, p. 129-142, jul. 2002.

LAW, E. Eletrostatic atomization and spraying. In: Handbook of eletrostatic processes. p.413-440. New York: Marcel Dekker, 1995.

MACHADO, O.D. da C.; FAGHERAZZI, A.F.; LERIN, S.; LAZZARI, H.E.; ALMANÇA, M.A.K. Erros de diluição e de taxa de aplicação por atomizadores na cultura da videira. **Revista Brasileira de Viticultura e Enologia**, Bento Gonçalves, v. 7, p. 20-26, set. 2015.

MARCHANT, J. A.; GREEN, R.. An Electrostatic Charging System for Hydraulic Spray Nozzles. **Journal Of Agricultural Engineering Research**. Bedford, p. 309-319. mar. 1982.

MARQUES, R.S. **Controle de Dalbulus maidis (DeLong & Wolcott) (Hemíptera: Cicadellidae) na cultura do milho com pulverização eletrostática**. 2018. 34 f. Tese (Mestrado) - Curso de Agronomia, UFU, Uberlândia, 2018.

MASKI, D.; DURAIRAJ, D. Effects of electrode voltage, liquid flow rate, and liquid properties on spray chargeability of an air-assisted electrostatic-induction spray-charging system. **Journal Of Electrostatics**, v. 68, n. 2, p. 152-158, abr. 2010.

MELLO, L.M.R. de. et al. Dados cadastrais da viticultura do Rio Grande do Sul: 2013 a 2015. In: MELLO, L.M.R. de. et al. Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul - 2013 a 2015. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2017.

PERGHER, G.; GUBIANI, R. The effect of spray application rate on foliar deposition in a hedgerow vineyard. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, n.61, p.205-216, abr. 1995.

SASAKI, R.S. **Sistema eletrônico para captura de gotas visando aumentar a eficiência na pulverização eletrostática**. 2011. 69 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa, 2011.

STAWNICZYI, T.J.R.; LIMA, C.S.M. Pulverização pneumática eletrostática com tratamentos fúngicos alternativos no manejo de videira comum em Laranjeiras do Sul/PR. **Revista Eletrônica Científica da Uergs**, v. 4, n. 3, p. 470-477, 23 out. 2018.

VITÓRIA, E.L. da; RODRIGUES, J.P.; SIMON, C. da P.; PEREIRA, R.C. Pulverização hidropneumática usando equipamentos com e sem assistência eletrostática em cafeeiro conilon. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, v. 26, n. 3, p. 217-228, 29 jun. 2018.

ZIGNANI, M. **Avaliação da eficácia da pulverização de um sistema de carregamento de gotas eletrostático em um vinhedo da Serra Gaúcha**. 2018. 22 f. TCC - Curso de Especialização Viticultura, IFRS - Campus Bento Gonçalves, Bento Gonçalves, 2018.