



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Laura Uhlmann de Godoy

**Análise da qualidade da pulverização agrícola por meio do uso
de tecnologia de precisão**

Campinas

2019



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Laura Uhlmann de Godoy

Análise da qualidade da pulverização agrícola por meio do uso de tecnologia de precisão

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheira Agrícola** da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza

Campinas
2019



Análise da qualidade da pulverização agrícola por meio do uso de tecnologia de precisão

Laura Uhlmann de Godoy

BANCA EXAMINADORA

.....
Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza
Orientador(a)

.....
Mestre Nelson Felipe Oliveros Mesa

.....
Mestra Ingrid Nehmi de Oliveira



DEDICATÓRIA



A minha avó Alzira - minha anja - que sempre me ensinou a importância da agricultura e por meio de histórias sobre sua infância e juventude em uma fazenda de algodão, me ensinou a admirar, respeitar e optar pelo meio agrícola como trajetória acadêmica e profissional.

Gostaria que a senhora pudesse observar de perto este ciclo se encerrando e acompanhar tudo que a agricultura ainda vai evoluir, mas tenho certeza que neste momento a senhora está olhando por nós, muito orgulhosa de tudo que estamos fazendo.

*"Alguém a quem eu lembro
noite e dia,
a quem eu sempre vou me recordar,
cuja presença transbordou
meu coração de alegria,
alguém a quem eu amei e sempre vou
amar."*

Kheylla Santos



AGRADECIMENTOS



Agradeço aos meus pais Helen Regina Uhlmann de Godoy e Wander Amaragy de Godoy por todo o apoio nesta trajetória e as minhas irmãs Fernanda e Bruna pela cumplicidade.

Ao meu orientador Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza e a Faculdade de Engenharia Agrícola por todos estes anos de vivência, aprendizado e crescimento pessoal, profissional e acadêmico.

A minha equipe de trabalho pelo suporte e conhecimento compartilhado, em especial ao Felipe Oliveros, Celso Milaneto Junior e Vitor Higa pelas sugestões, ensinamentos e dados disponibilizados para que este projeto fosse realizado.

A minha roommate Gabriela Silveira pelo companheirismo e compreensão a longo deste último semestre.

Aos meus amigos Pedro Nepomuceno e Allana Azevedo pela parceria, em especial neste último ano e por estarem sempre ao meu lado.

A todos que de alguma forma contribuíram para o resultado deste trabalho.

A todos vocês meu sincero obrigado.

A pulverização de defensivos químicos aplicada fora dos limites da taxa ideal de aplicação é um problema constante, impacta diretamente os custos de produção agrícola e o meio ambiente. Novas tecnologias foram desenvolvidas ao longo das últimas décadas a fim de tornar a pulverização agrícola um processo mais assertivo e uniforme. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de um sistema de tecnologia de pulverização que, por meio da utilização de válvulas PWM promove o controle de fluxo, corte bico a bico e ajuste da pressão, permitindo a aplicação da taxa ideal e tamanho de gota adequado. Para mensurar a qualidade de aplicação promovida pelo sistema foi realizada a análise de cinco áreas de produção de cana-de-açúcar no Brasil e um talhão na Guatemala. Para isso, gerou-se mapas de aplicação destas regiões, considerando dois cenários: aplicação realizada pelo pulverizador autopropelido convencional, embarcado com um sistema de controle de taxa e corte de seções, e a aplicação realizada após a instalação de um sistema que, além de promover o controle de taxa, também proporciona o controle de fluxo, corte bico a bico e ajuste da pressão. Por meio, do software QGIS foi possível identificar áreas de sub aplicação, taxa ideal e regiões de sobre aplicação, bem como áreas de sobreposição para os dois cenários acima descritos e, assim, foi possível mensurar a qualidade da aplicação realizada com o sistema de aplicação com válvulas PWN. O estudo demonstrou que a pulverização realizada por este sistema atingiu a taxa ideal em 94,8% da área, considerando a média obtida pela análise das seis áreas, enquanto, o sistema que promove apenas o controle de taxa registrou 78,9%. Também foram verificadas redução das áreas de sobreposição. Antes da utilização do sistema de controle de fluxo a quantidade média das regiões de sobreposição obtida foi de 5,2% e após sua utilização este percentual reduziu para 2,1%. Com isso conclui-se que o sistema promoveu maior uniformidade de aplicação e diminuição do uso indiscriminado de insumos, levando a uma pulverização mais precisa e eficaz.

Palavras chave: Corte bico a bico, pressão, PWM, pulverização de precisão, Hawkeye.

Spraying pesticides outside of the optimum application rate is a constant problem and impacts directly the agricultural production costs and the environment. New technologies have been developed over the last decades to make agricultural spraying more accurate and uniform process. Therefore, the objective of this work was to evaluate the efficiency of a spray technology system that, using PWM valves, promotes flow and pressure control, and individual nozzle shut off, which promotes the ideal rate application and droplet size. In order to measure the application quality promoted by the system, five sugarcane production areas were analyzed in Brazil and one in Guatemala. To evaluate the systems, application maps of these regions were generated, considering two scenarios: application performed by the conventional self-propelled sprayer with a rate control system and the application made after the system installation that, besides promoting the rate control also provides flow control, individual nozzle shut off. Through the QGIS software it was possible to identify under application areas, ideal rate, over application regions and overlap areas for the two scenarios described above and, based on the analysis, it was possible to measure the quality of the application of the system studied in this work. The study demonstrated that the spraying performed using PWM valves reached the ideal rate in 94.8% of the area, considering the average obtained by the analysis of the six areas, while the system that promotes only the rate control registered 78.9%. Reduction of overlapping areas was also observed. Before using the flow control system, the overlap average areas was 5.2% and after its use this percentage reduced to 2.1%. Thus, it is concluded that the system promoted greater application uniformity and reduced indiscriminate use of inputs, leading to a more accurate and effective spraying.

Key-words: Individual nozzle shut off, pressure, PWM, precision spray control, Hawkeye.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
JUSTIFICATIVA	12
OBJETIVOS	13
Objetivo Geral	13
Objetivos Específicos	13
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
Tecnologias de aplicação	14
Agricultura de precisão e o controle de aplicação	16
Hawkeye	17
MATERIAIS E MÉTODOS	20
RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
Taxa Alvo	24
Sobreposição	27
Taxa Variável	28
Análise Quantitativa	30
CONCLUSÕES	34
CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

A pulverização de defensivos agrícolas é um dos poucos processos que ocorrem repetidas vezes durante o ciclo de uma cultura, sendo também uma das operações de maior impacto no custo de produção (SENAR, 2016). Na cultura da soja, os custos relacionados a pulverização, incluindo insumos, mão de obra e mecanização resultam em R\$ 422,99 ha⁻¹, representando 22,16% do custo total para produção da cultura, considerando plantio direto (AMORIM; TERRA, 2014). São estes fatores, aliados a tópicos como segurança ambiental e operacional que determinam a necessidade do desenvolvimento e utilização de pulverizadores mais precisos (SENAR, 2016).

O mercado nacional de produtos fitossanitários na safra de 2011/2012 consumiu cerca de 827 mil toneladas e movimentou quase 8,7 bilhões de dólares, destacando o Brasil como segundo maior consumidor, perdendo apenas para os Estados Unidos. Esses números equivalem a 10 kg de produto fitossanitários por hectare, sendo os mais utilizados os herbicidas com 49%, fungicidas 21%, inseticidas 21% e outras substâncias 9%. A aplicação destes produtos é feita por meio de pulverizadores. Nos pulverizadores agrícolas convencionais o operador é responsável por definir a pressão e velocidade de deslocamento do sistema de aplicação, com base na taxa recomendada (VIEIRA, 2013).

Atualmente, entretanto, nota-se a tendência na redução do volume de calda aplicado como uma tentativa de diminuir os custos associados a pulverização, bem como para promover a eficiência do sistema (SOARES; LEÃO, 2008). Assim, o conhecimento do método de aplicação utilizado é fundamental para permitir que o produto alcance o alvo com eficiência, minimizando as perdas. Para isso, é necessário garantir a uniformidade de aplicação e o espectro de gotas adequado (BALAN et al., 2008).

A uniformidade de distribuição volumétrica da calda, ao longo da barra de pulverização, é dada pelo espaçamento entre pontas, altura da barra, ângulo de abertura das pontas e pressão de trabalho. A avaliação da uniformidade, por sua vez, está relacionada ao coeficiente de variação da sobreposição do conjunto de pontas colocados na barra (BAUER; RAETANO, 2004). Assim, sistemas como o controle de seção atuam na diminuição de áreas de sobreposição, fazendo com que, se a máquina percorrer uma área anteriormente coberta, poderá desligar automaticamente a seção apropriada, eliminando assim a aplicação excessiva (SHOCKLEY et al., 2012). Para obter maior controle de pulverização, existe, ainda, o sistema de corte bico a bico que consiste em

válvulas solenóides PWM que permitem o ajuste individual da taxa aplicada em cada bico da barra de pulverização (WELLINGTON, 2012).

Ainda assim, uma distribuição desuniforme, abaixo do volume mínimo exigido, é insuficiente para realizar controle de pragas e doenças, enquanto quantidades acima causam perdas financeiras, toxidez nas culturas e danos ao ambiente (CORDEIRO, 2001). Em velocidades elevadas, o comprimento da barra e o não uso de sistemas de amortecimento são gargalos na qualidade de aplicação. Esses fatores contribuem para o aumento da oscilação da posição da barra em relação ao solo e ao pulverizador, resultando em uma deposição heterogênea do líquido. Na área de trabalho do pulverizador, uma superdosagem ou uma baixa quantidade depositada são casos indesejados e a maneira mais simples de evitá-los é garantir o paralelismo da barra de pulverização em relação à superfície pulverizada (SZEWCZYK et al., 2010).

Ademais, a medida em que se aumenta a distância entre o bico de pulverização e o alvo, maior será o tempo em que as gotas estarão sob influência do ambiente, aumentando a possibilidade de deriva, que corresponde a parte da pulverização agrícola que é carregada para fora da área-alvo, pela ação do vento (MILLER, 1993). Este é um dos maiores problemas da aplicação de agrotóxicos, a qual pode causar ineficiência da aplicação e contaminação ambiental. Para evitar a ocorrência de deriva, a altura da barra deve estar próxima a mínima recomendada pelo fabricante, de acordo com o bico utilizado (AZEVEDO; FREIRE, 2006).

Os pulverizadores autopropelidos também podem ser equipados com sistemas de controle eletrônico, que atuam mantendo a taxa de aplicação desejada. Esta tecnologia regula automaticamente o fluxo, mantendo o volume por área ideal, minimizando os gargalos do método de pulverização atual, tornando-o mais preciso e econômico (VIEIRA, 2013).

Diante deste cenário, o presente trabalho buscou evidenciar a economia de insumos agrícolas por meio do uso de uma tecnologia que permita o corte bico a bico, controle de pressão e fluxo, contribuindo para obtenção de uma cobertura homogênea, conseqüente redução do volume de defensivos utilizados e menor dano ao meio ambiente, quando comparado ao sistema convencional de aplicação.

2. JUSTIFICATIVA

Para que defensivos agrícolas possam exercer sua ação sobre determinado organismo é necessário que o alvo seja atingido de forma adequada. Ou seja, o volume pulverizado que não atingir o alvo, não representará eficácia de aplicação, sendo considerado como perda do sistema e dano ao ecossistema (MATUO, 1998). Portanto, é preciso conhecer o espectro das gotas pulverizadas, de forma a adequar o seu tamanho e garantir tanto a eficiência biológica do produto aplicado quanto segurança ambiental, de acordo com as condições meteorológicas no momento da aplicação (CUNHA et al., 2003).

Aplicadores de fertilizantes líquidos ainda se caracterizam pelo alto desperdício de insumos e ineficiência dos resultados de controle. Aspectos como aumento do custo de compra dos produtos químicos, mão de obra, gastos com combustível e impactos ambientais têm realçado a necessidade de melhorias nos métodos convencionais (CRUVINEL et al., 2011). Entretanto, na maioria das vezes o produto fitossanitário é mais discutido, estudado e priorizado, enquanto a técnica de aplicação não recebe a mesma atenção. Como consequência, ocorrem perdas em eficiência, podendo levar a falha total do processo de pulverização devido a aplicação fora do intervalo de taxa ideal, refletindo diretamente na rentabilidade do produtor e danos ambientais (CUNHA et al., 2003).

Neste sentido, vale lembrar que o Brasil apresentou aumento nos custos da produção agrícola, em parte devido ao consumo crescente de agrotóxico (PELAEZ, 2012). Aumento este que nem sempre se reflete na elevação da produtividade, o que enfatiza a necessidade da utilização de sistemas que possam otimizar o uso de insumos, visando a redução dos custos de produção (CASALI, 2015).

Neste sentido, novos sistemas foram desenvolvidos para tornar a pulverização um processo mais assertivo, dentre eles o proposto neste estudo, o “Hawkeye”. O princípio de funcionamento do equipamento baseia-se em realizar um controle preciso da pressão de trabalho, mantendo-a sempre em condições de proporcionar o tamanho ideal de gotas, variado o fluxo aplicado de acordo com a velocidade de deslocamento da máquina (SCHLOSSER, 2018).

3. OBJETIVOS

3.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como finalidade avaliar eficiência do sistema Hawkeye em seis diferentes áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Para isso, utilizou-se pulverizadores autopropelidos convencionais embarcado com sistema de tecnologia de aplicação que permite o controle de taxa e corte de seção. Em seguida, o mesmo pulverizador foi equipado com um sistema de precisão Hawkeye, composto por válvulas PWM e nodos de controle. O sistema promove o controle de fluxo, corte bico a bico e por meio do ajuste de pressão no sistema, permite que as pontas de aplicação atuem de forma adequada, levando a obtenção do tamanho de gota ideal.

Com isso, espera-se evidenciar a importância do uso da tecnologia de precisão no meio agrícola, a fim de promover economia de insumo, qualidade e homogeneidade de aplicação.

3.1.2. Objetivos Específicos

- Quantificar a qualidade da aplicação promovida pelo sistema de pulverização com controle de taxa e corte de seção e pelo sistema com válvulas PWM nos bicos, com controle de fluxo e corte bico a bico.
- Realizar a análise de mapas no software GIS para gerar métricas de comparação da qualidade de aplicação.
- Identificar regiões de sub aplicação, taxa ideal e sobre aplicação.
- Identificar regiões de sobreposição.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O termo agrotóxico faz referência aos inseticidas, responsáveis pelo controle de insetos, fungicidas destinados ao controle de fungos, herbicidas utilizados no combate de plantas invasoras, fumigantes para controle das bactérias presentes no solo, além de reguladores de crescimento, desfolhantes utilizados no combate às folhas indesejadas e dissecentes (BAIRD, 2006).

Estas substâncias, ou suas misturas, químicas são utilizadas para prevenir, destruir, repelir ou inibir a ocorrência ou efeito de organismos vivos capazes de prejudicar as lavouras agrícolas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2000). Estes constituem grande parte do custo total dos insumos utilizados na produção: 56% no caso da soja, 52% para o algodão e para o feijão, e para o milho de 35% (AGRIANUAL, 2001).

As formulações de agrotóxicos são constituídas de princípios ativos, termo utilizado para descrever os compostos responsáveis pela atividade biológica desejada. O mesmo princípio ativo pode ser comercializado sob diferentes formulações e diversos nomes, e também pode encontrar produtos com a combinação de mais de um princípio ativo (BRAIBANTE; ZAPPE, 2012).

A aplicação de agrotóxico envolve diversos fatores, como a grande diversidade de equipamentos e métodos de pulverização, diferenças entre produtos químicos, diversidade de culturas e hábitos de crescimento, variedade de insetos e doenças, condições meteorológicas, segurança do trabalhador, regulamentos e legislações ambientais, volume de calda e relação custo-benefício das aplicações (LLORENS et al., 2010; XU et al., 2010; JEON et al., 2011).

4.1. Tecnologias de aplicação

Tecnologia consiste na aplicação dos conhecimentos científicos a um determinado processo produtivo. Dessa forma, entende-se como “Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários” o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionem a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica, com o mínimo de contaminação de outras áreas (MATUO, 2002).

Os pulverizadores são as máquinas mais utilizadas durante o ciclo de culturas de grãos, como soja, feijão, milho e trigo, ou mesmo na cultura de fibras como o algodão.

Mesmo em culturas como a cana-de-açúcar a demanda por pulverizadores se faz presente (CASALI, 2015).

Existem diversos tipos de pulverizadores hidráulicos, que vão desde os mais simples, como os do tipo costal manual, até equipamentos maiores e mais sofisticados, como os autopropelidos equipados com controladores eletrônicos. Nesses equipamentos, os bicos de pulverização representam um grupo fundamental entre os principais componentes, pois influenciam diretamente na qualidade e na segurança da aplicação (FERNANDES et al., 2007).

Costal

O pulverizador costal foi desenvolvido para aplicações em pequenos perímetros ou áreas muito acidentadas, onde o trânsito de máquinas ou aviões é de difícil acesso ou oferece riscos. Este tipo de modelo é composto por um reservatório com alças de modo que o operador possa carregá-lo nas costas. Ainda que apresente grande mobilidade, a utilização deste pulverizador é inviável para grandes áreas, uma vez que depende do operador para fazer a locomoção pela área (RESENDE, 1998).

De barra

O modelo de pulverizadores de barra consiste em múltiplas pontas de pulverização que são acopladas ou tracionadas por um trator. Estas barras chegam até 45 metros de comprimento, possibilitando a cobertura de grandes áreas em um intervalo menor, quando comparado a modelos de pulverizadores não mecanizados (AGRICULTURE SPRAYER GUIDE, 2018).

Autopropelido

Os pulverizadores autopropelidos possuem chassi e motor próprio e alta capacidade de armazenamento, permitindo que um grande volume de calda seja pulverizado sem necessidade de interromper a aplicação para abastecimento do produto fitossanitário. Além de atribuir maior agilidade ao processo, os pulverizadores autopropelidos (ou automotrizes), possuem como característica principal a elevada capacidade operacional, devido a faixas de velocidade de aplicação (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL, 2010).

Estes pulverizadores são equipados com bombas, válvulas e bicos de pulverização, que produzem gotas pela fissura de um volume de calda. O agroquímico é forçado pela energia hidráulica através de um pequeno orifício, formando uma lâmina que se subdivide em gotas (MERCALDI et al., 2017).

4.2. Agricultura de precisão e o controle de aplicação

Agricultura de precisão é o conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando o aumento do retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2016). Além disso, compreende um conjunto de tecnologias que combina sensores, sistemas de informação, máquinas aprimoradas e gerenciamento de dados para otimizar a produção, contabilizando a variabilidade, incertezas e qualidade dos sistemas agrícolas. A otimização no uso de insumos agrícolas permite a melhor utilização dos recursos para manter a qualidade do meio ambiente e, ao mesmo tempo, melhorar a rentabilidade do cultivar produzido (GEBBERS et al., 2010).

A agricultura de precisão permite pelo uso de delimitação de lavouras por meio de coordenadas georreferenciadas, um planejamento mais racional do manejo de nutrientes, pragas, umidade do solo e plantas daninhas. A expectativa de redução de custos está principalmente relacionada ao fato de que os insumos agrícolas somente serão aplicados no local que se faz necessário, reduzindo uma aplicação em toda a extensão da área cultivada, como tradicionalmente é realizado (SILVA et al., 2016).

As máquinas e implementos são, desta forma, controlados com precisão para serem operados sempre e exatamente na mesma faixa, sem vazios ou sobreposições, economizando no combustível. Proporcionando, assim a redução no uso de agrotóxicos e insumos, resultando em uma melhor conservação da terra cultivada e limitando a degradação do meio ambiente. Estas vantagens são comprovadas no campo científico e prático. Experimentos comprovaram aumentos de produtividade de 20% a 29% e, economias de 13% a 23% de insumos agrícolas, com relação a médias nacionais (TERASSI et al., 2011).

A tecnologia de aplicação, por sua vez, consiste na aplicação de um produto químico por um equipamento adequado, de maneira que o controle do alvo biológico (praga, fitopatógeno ou planta daninha) seja efetuado com eficiência, economia e segurança

(AZEVEDO; FREIRE, 2006). Tecnologias como injeção direta e válvulas PWM utilizadas no controle de fluxo foram desenvolvidas para controlar a taxa de aplicação de defensivos agrícolas. Em um sistema de pulverização com injeção direta, a água, é bombeada para os bicos a uma taxa de fluxo constante e o produto químico não diluído é medido e injetado. Esta tecnologia de mistura foi desenvolvida para manter uma taxa de aplicação uniforme, compensando variações na velocidade de deslocamento (HUGHES; FROST, 1985; REICHARD; LADD, 1983).

Outro sistema que contribui para o desempenho das barras durante a pulverização é o nivelamento automático, também chamado de sensor de altura de barras. Estes sistemas têm como função auxiliar na manutenção da estabilidade, visando manter a distância correta entre a barra e dossel vegetativo (CASALI, 2015). É um recurso muito importante nas propriedades onde há a necessidade de operação em terraços ou curvas de nível. O sensor de altura evita o contato das barras com o solo, aumentando também a durabilidade do pulverizador (AZEVEDO; FREIRE, 2006).

4.3. Hawkeye

O sistema Hawkeye (Figura 1) é composto por um módulo de controle de produto, cabos de comunicação, sendo um primário, que controla e envia informações para o meio da barra e outro secundário, que controla as porções externas da barra de pulverização, e válvulas solenóide PWM colocadas em cada bico da barra para ajuste do volume por minuto aplicado, bem como um monitor de campo onde o operador consegue consultar informações referente a aplicação realizada (SCHLOSSER, 2018).

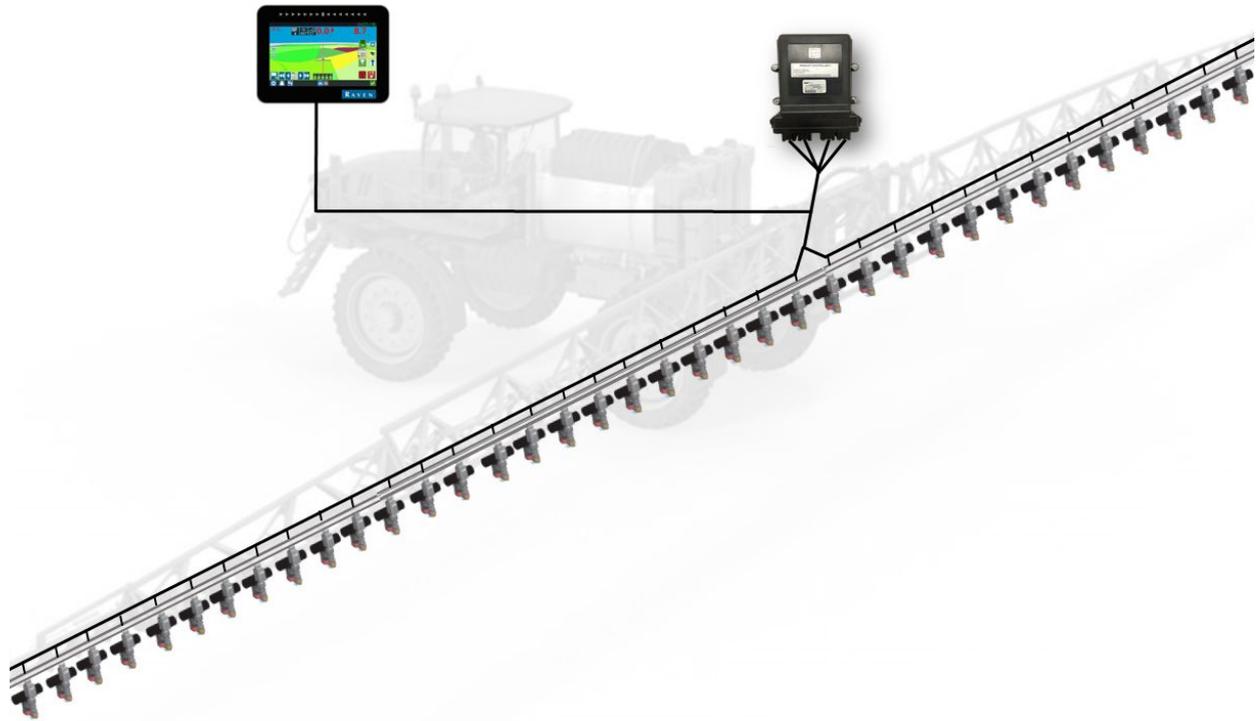


Figura 1. Representação do sistema Hawkeye composto por um monitor de campo, módulo de controle de produto e válvulas PWM.

Em um sistema de controle de fluxo PWM, o produto químico e água são pré-misturados em um único tanque e o fluxo do bico é ajustado pela atuação de uma válvula solenóide acionada eletricamente, acoplada à entrada do bico de pulverização. O controle de vazão por uma válvula PWM fornece uma grande variedade de taxas de vazão para o mesmo tamanho bico, mantendo constante o ângulo de pulverização e o tamanho da gota, sem o ajuste da pressão (SPRAYING SYSTEMS).

A taxa de líquido por bico é controlada por meio do desligamento breve e intermitente do fluxo no bico, ativado pela válvula PWM (WOLF, 2015). O sistema pulsa a 10 Hz, ou seja, a válvula desliga o bico 10 vezes por segundo. A porção de tempo em que o bico permanece aberto é chamada de ciclo de trabalho. Um ciclo de trabalho de 100% indica que o bico está totalmente ligado, enquanto 25% de ciclo de trabalho significa que o solenóide está aberto apenas 25% das vezes. Desta forma, o princípio de funcionamento do Hawkeye se baseia no controle do ciclo de trabalho por meio das válvulas PWM (SCHLOSSER, 2018).

O sistema também promove o controle da pressão de trabalho, mantendo as condições necessárias para proporcionar o tamanho ideal de gotas, sustentando a vazão do produto de acordo com a velocidade de deslocamento da máquina (SCHLOSSER, 2018). O tamanho das gotas é fundamental para garantir a eficiência da aplicação, se as gotas são pequenas, há uma maior cobertura superficial e melhor uniformidade de distribuição da calda, mas há um risco de evaporação, em momentos de baixa umidade relativa, ou serem levadas pela corrente de ar. Se são gotas grandes, podem escorrer da superfície da folha, antes mesmo de o produto ser absorvido pelo alvo (BAESSO et al., 2014).

As sobreposições também são problemas recorrentes na pulverização e ocorrem quando, na passada de faixas próximas, são depositados produtos em áreas já tratadas. Muitos produtores preferem trabalhar com certa margem de sobreposição para garantir que não haja falhas no processo, evitando a ocorrência de plantas não pulverizadas (JACTO, 2019). No entanto, o processo implica em custos adicionais na aplicação, além de danos à cultura e ao ambiente, enquanto as falhas de aplicação devem ser evitadas para garantir a eficiência da distribuição correta de insumo, garantindo o controle fitossanitário eficiente, proporcionando o retorno econômico esperado. Tais sobreposições podem ser minimizadas com o controle automatizado da abertura e fechamento das seções da barra de aplicação, ou mesmo dos bicos de modo individual (REYNALDO; MOLIN, 2011).

Ainda que o benefício principal do Hawkeye seja o controle do fluxo, a tecnologia também promove o controle de abertura e fechamento bico a bico, contribuindo para qualidade da aplicação e economia de insumos. Reforça-se, ainda, que a variação da velocidade de deslocamento resulta na variação do fluxo aplicado, mas o tamanho de gota permanecerá constante. Desta maneira, a taxa de ser será mantida. Para isso é necessário que a seleção da ponta de aplicação seja feita garantindo as condições ideais de aplicação (SCHLOSSER, 2018).

O adequado emprego dessas tecnologias deve-se basear em análises econômicas que mostram seus benefícios, como o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção (SILVA et al., 2016).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

A realização deste trabalho se baseou na análise de mapas de cinco áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar nas cidades de Meridiano e Pradópolis, estado de São Paulo, Brasil (Figura 2) e um talhão em Escuintla, na Guatemala (Figura 3). Para as cinco áreas do sudeste brasileiro realizou-se aplicação em taxa fixa. O agroquímico é comumente aplicado a taxas fixas em uma área de produção agrícola, mesmo que partes dessa área possam ser afetadas de diferentes maneiras (SÖKEFELD, 2010).

Para a área em Escuintla, na Guatemala, a aplicação foi feita em taxa variável, considerando um mapa de prescrição com taxas variando de zero a trezentos litros por hectare. Um dos métodos utilizados para relacionar a taxa ideal a área a ser pulverizada é a utilização de mapas de prescrição. Na aplicação baseada em mapas, é necessário o mapeamento das infestações das plantas daninhas em uma etapa anterior a pulverização, para geração dos mapas de prescrição contendo os valores das doses do agroquímico para cada local do campo (BAIO; ANTUNIASSI, 2011).

Nos tratamentos fitossanitários com o emprego de herbicidas, a aplicação localizada e em taxa variável pode significar redução de mais de 60% nas quantidades de produtos fitossanitários utilizados (ZAMBOLIM et al., 2008).

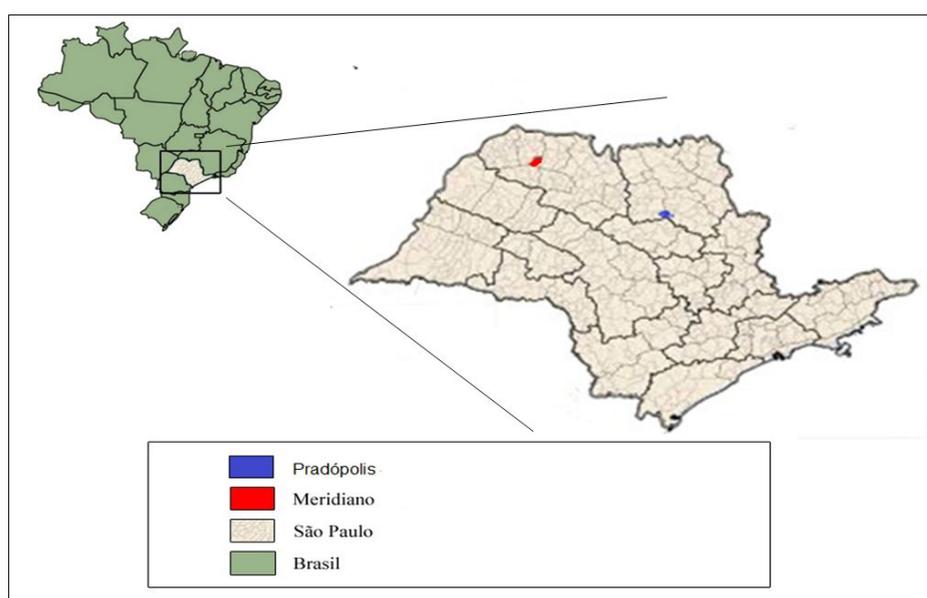


Figura 2. Localização geográfica das cidades brasileiras do sudeste brasileiro onde foram analisadas cinco áreas de cultivo de cana de açúcar.

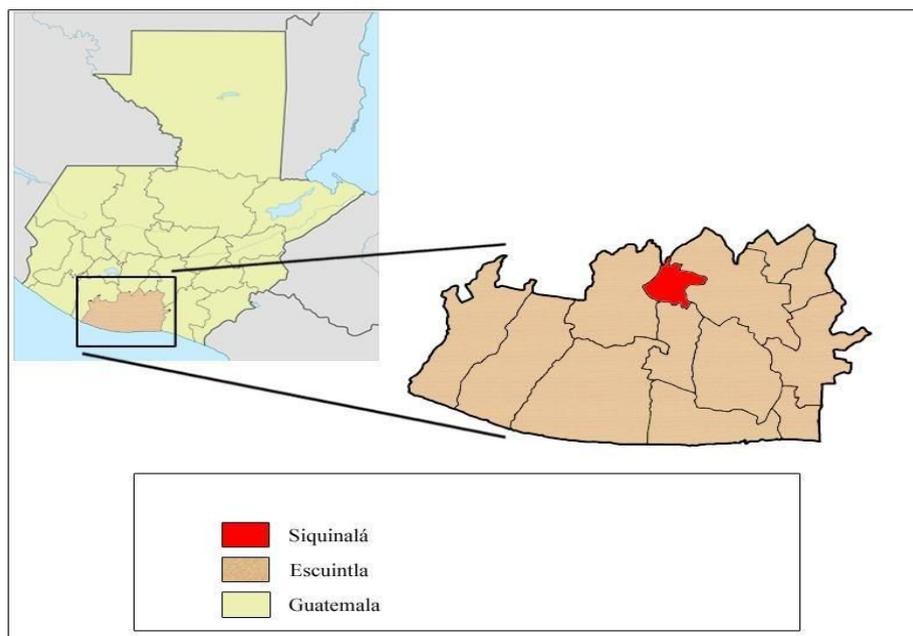


Figura 3. Localização geográfica de Escuintla, onde foi analisada uma área de cultivo de cana de açúcar em taxa variável.

Foram utilizados pulverizadores autopropelido *John Deere* modelo JD4730 e *CNH Industrial* modelo PATRIOT 350 e controle de fluido de bomba promovido por uma válvula PWM. A Figura 4 é um modelo esquemático que representa o funcionamento destes pulverizadores. Considerou-se uma barra de 24 metros dividida em sete seções, com o sistema de controle de fluxo já instalado. Quando acionada a aplicação, a mistura do produto químico com água sai do tanque e passa pela bomba. A quantidade de óleo que flui pela bomba é controlada por uma válvula PWM que determina a pressão atuante no sistema, de tal forma que, quanto mais óleo flui pela bomba, mais rápido ela se movimentará e maior será a pressão na tubulação.

Em seguida o produto passa por um filtro que retém partículas que podem causar obstrução do sistema e segue, então, para o fluxômetro que indica o volume por minuto na tubulação. Por fim, a calda passa pelas válvulas de controle de seção e chega às válvulas PWM que controlam o fluxo da aplicação por meio da variação do ciclo de trabalho.

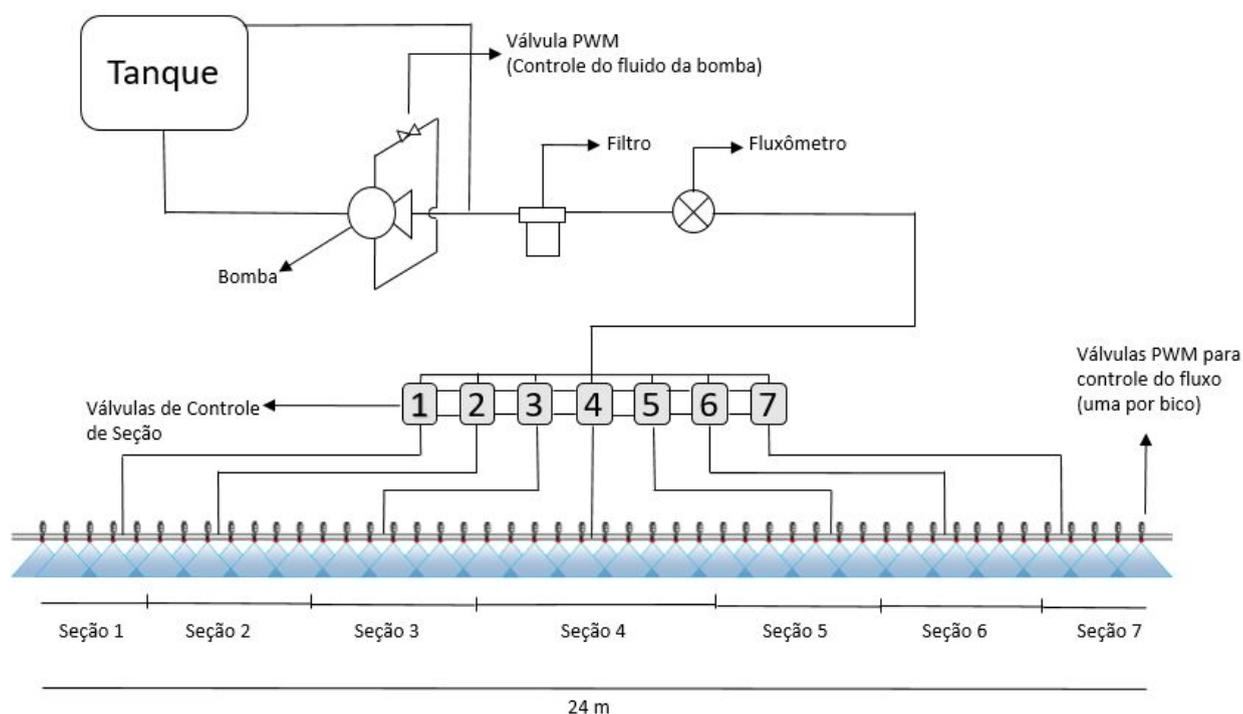


Figura 4. Representação de um sistema de controle de fluxo atuando em um pulverizador com barra de sete seções e 48 bicos.

Para cada área foram gerados dois mapas de aplicação referentes ao mesmo pulverizador. De forma que, na primeira análise, considerou-se o pulverizador com controle de taxa e a segunda foi realizada após a instalação do sistema de controle de aplicação Hawkeye. Em ambas se utilizou o mesmo produto fitossanitário, taxa de aplicação e área de análise a fim de comparar apenas a eficiência do sistema e qualidade de aplicação por ele promovida.

Cada conjunto de mapas, com e sem a atuação do sistema Hawkeye, foi, então, analisado utilizando o *software* QGis 3.4.12 Madeira para verificação de taxa aplicada e de sobreposição de aplicação. O sistema de referência de coordenada geográfica utilizado foi o WGS 84 EPSG:4326. O WGS 84 (*World Geodetic System - 1984*), corresponde a um sistema de referenciamento terrestre desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, sendo o sistema utilizado em GPS. É neste sistema de referenciamento onde armazenam-se, também, os mapas gerados por computadores de campo durante uma operação agrícola.

A análise se iniciou pelo mapa de aplicação do sistema convencional, onde três condições foram inseridas para definir cada intervalo de dados como: sub aplicação, taxa ideal e sobre aplicação. Para isso, o seguinte conjunto de regras foi estabelecido (Tabela 1). O intervalo da taxa ideal de aplicação utilizado foi de 10%. Valores 10% acima ou abaixo da taxa ideal foram considerados como áreas de sub aplicação e sobre aplicação, respectivamente. A determinação da taxa ideal é feita em uma fase anterior a aplicação e leva em consideração aspectos como: estágio de desenvolvimento da planta, classificação do tamanho de gota escolhida, melhor cobertura em função da densidade de gotas em função do tipo de agroquímico a ser utilizado e rendimento operacional para cobrir a área no tempo necessário (SILVA, 2018).

Tabela 1. Condições limites para identificação da taxa de aplicação.

Condição	Equação
Sub aplicação	if(("actualRate"<0.9*"targetRate"),1,0)
Taxa Ideal	if(("actualRate">0.9*"targetRate" AND "actualRate"<1.1*"targetRate"),1,0)
Sobre aplicação	if(("actualRate">1.1*"targetRate "),1,0)

Com os limites especificados foi gerada uma nova coluna de dados na Tabela 2 de atributos do software de análise de mapas, contendo a área em hectares de cada subdivisão do talhão. Por meio destes dados foi possível definir se as áreas correspondiam a regiões de sub aplicação, taxa ideal ou sobre aplicação e calcular a porcentagem de área em que a taxa especificada foi atingida durante a pulverização sem o sistema Hawkeye.

Tabela 2. Condição para identificação de áreas de sobreposição.

Condição	Equação
Sobreposição	If (("Area_over">0),1,0)

Repetiu-se o mesmo procedimento acima descrito para o mapa de aplicação com o pulverizador embarcado com tecnologia de precisão com controle de fluxo e, com base nos resultados obtidos foi possível mensurar a eficiência do sistema.

Áreas de sobreposição também foram analisadas para comparar o desempenho do corte bico a bico promovido pelo sistema estudado em relação ao corte de seções do sistema convencional. Para isso foi utilizada a ferramenta Polygon *self-intersection* e a partir das áreas identificadas com sobreposição o seguinte parâmetro de classificação foi utilizado.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Taxa Alvo

Com a utilização do conjunto de parâmetros da Tabela 1, os seguintes mapas foram gerados. As áreas em verde, vermelho e amarelo representam regiões de aplicação ideal, sub e sobre aplicação, respectivamente. Regiões onde o pulverizador operou em trajeto curvilíneo apresentaram melhores resultados com o sistema, indicando a redução de áreas de sub e sobre aplicação (Figuras 5 e 6). Isso se deve ao fato de que o sistema promove a compensação de curva, permitindo que cada bico da barra opere com um ciclo de trabalho ideal. Este recurso permite que o pulverizador aumente o volume por minuto aplicado na parte externa da barra e diminua o fluxo nos bicos do raio interno, possibilitando que a taxa recomendada seja atingida durante todo o percurso.

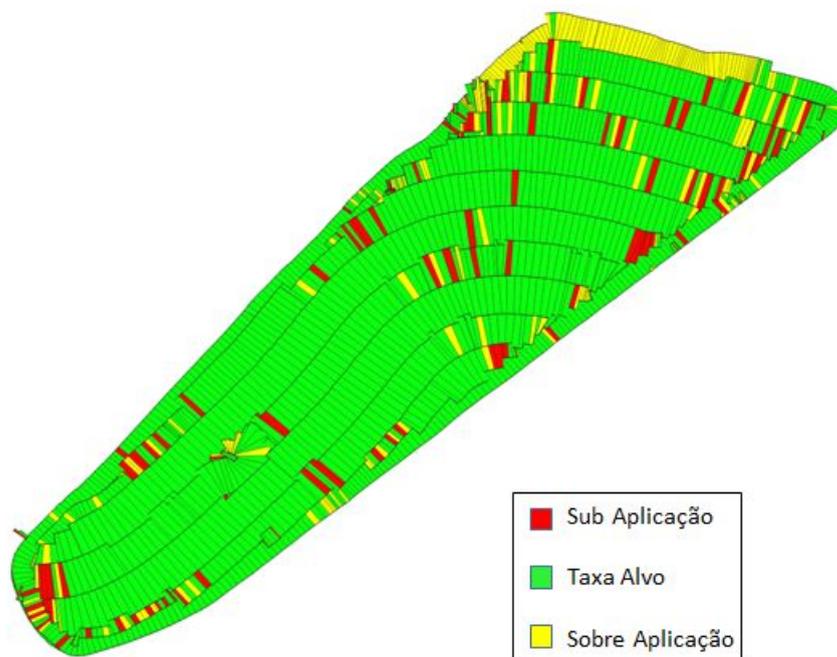


Figura 5. Talhão sem a utilização do sistema de precisão de aplicação Hawkeye, com aplicação a taxa fixa, em Meridiano-SP.

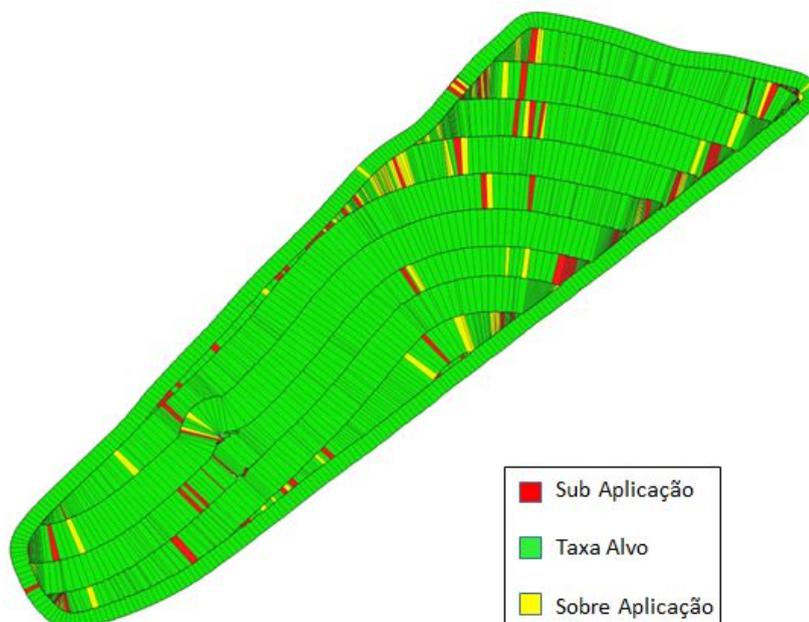


Figura 6. Talhão com a utilização do sistema de precisão de aplicação Hawkeye, com aplicação a taxa fixa, em Meridiano-SP.

Mesmo em áreas de trajeto em linha reta, o sistema ainda apresenta melhor performance quanto a uniformidade do volume por área aplicada, em especial nas

bordaduras (Figura 8). Tal fato ocorre, pois o tamanho das gotas se mantém constante mesmo com a variação da velocidade do equipamento, enquanto no sistema convencional, quando há oscilação da velocidade, a pressão também varia para manter a taxa, ocasionando a aumento ou diminuição do tamanho de gotas.

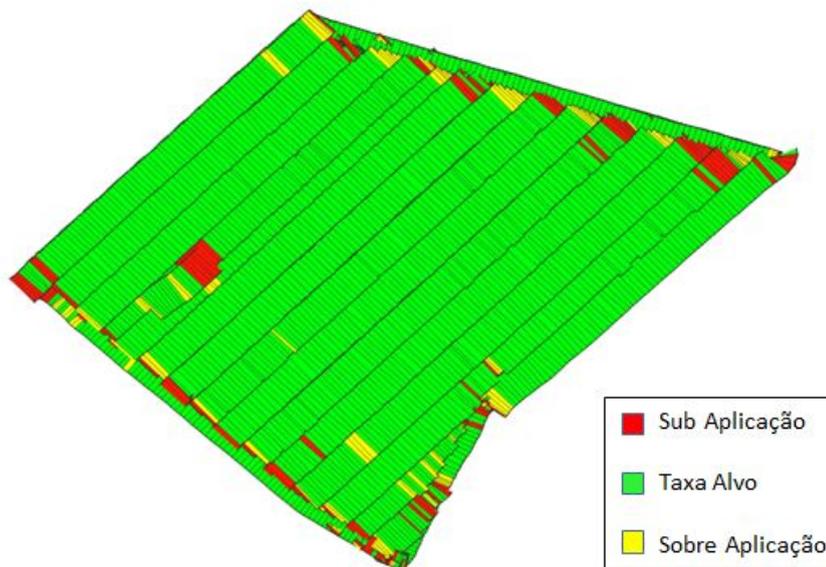


Figura 7. Talhão sem a utilização do sistema de precisão de aplicação Hawkeye, com aplicação a taxa fixa, em Pradópolis-SP.

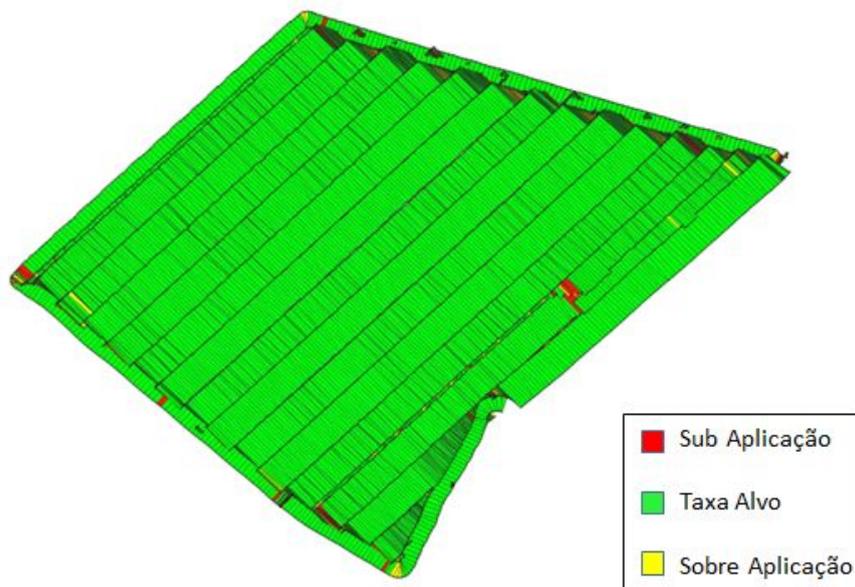


Figura 8. Talhão com a utilização do sistema de precisão de aplicação Hawkeye, com aplicação a taxa fixa, em Pradópolis-SP.

A variação do número de gotas e demais parâmetros como a densidade de gotas e qualidade da cobertura obtida pelo sistema Hawkeye foram analisados por Schlosser (2018), onde o sistema convencional apresentou 229% de variação de número de gota, e variação de densidade de 232% comparado a operação a 14 km h⁻¹ e 20 km h⁻¹, respectivamente. Estas variações ocasionam falhas ou sobredosagem na aplicação, comprometendo a qualidade da pulverização e aumentando o custo operacional. O sistema Hawkeye, por outro lado, apresentou variação de número e densidade de gotas de 21% e 16%, respectivamente.

6.2. Sobreposição

Para identificação de áreas de sobreposição utilizou-se o parâmetro apresentado na Tabela 2 com os mapas gerados nas Figuras 9 e 10, foi possível notar a redução das áreas de sobreposição após a aplicação utilizando o sistema Hawkeye. Esta melhoria está relacionada principalmente ao corte bico a bico promovido pelo sistema, o que permite o desligamento individual das pontas de aplicação.

A utilização de sistemas que controlam automaticamente o corte da aplicação bico a bico podem reduzir significativamente a sobreposição, poupando produtos fitossanitários, combustível e o tempo durante o processo de aplicação, resultando em maior rendimento operacional e também evitando as falhas entre as passadas. Além disso, ajuda a reduzir os esforços mentais do operador, diminuindo sua fadiga e aumentando seu rendimento e qualidade de trabalho (BATTE; EHSANI, 2006).

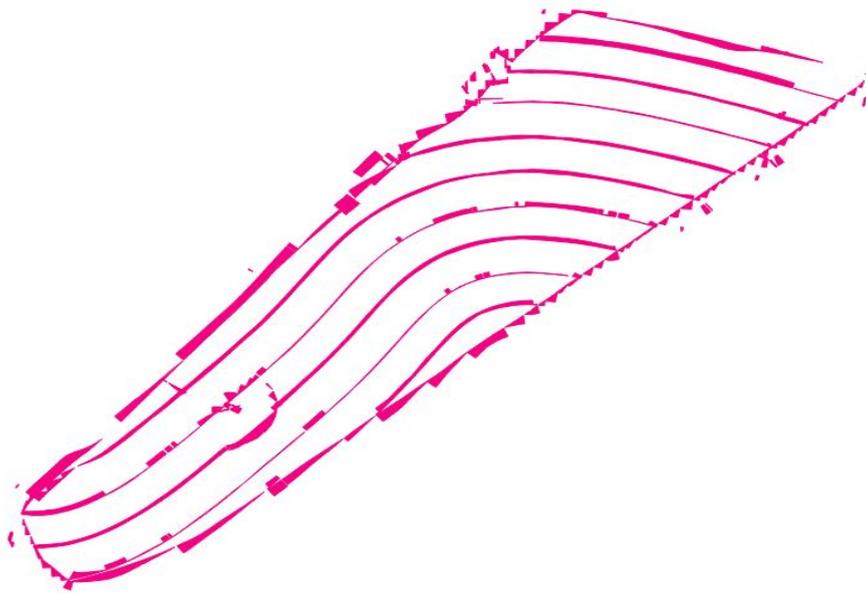


Figura 9. Áreas de sobreposição em um talhão com aplicação sem a utilização do sistema de precisão de aplicação Hawkeye, com aplicação a taxa fixa, em Catanduva-SP.

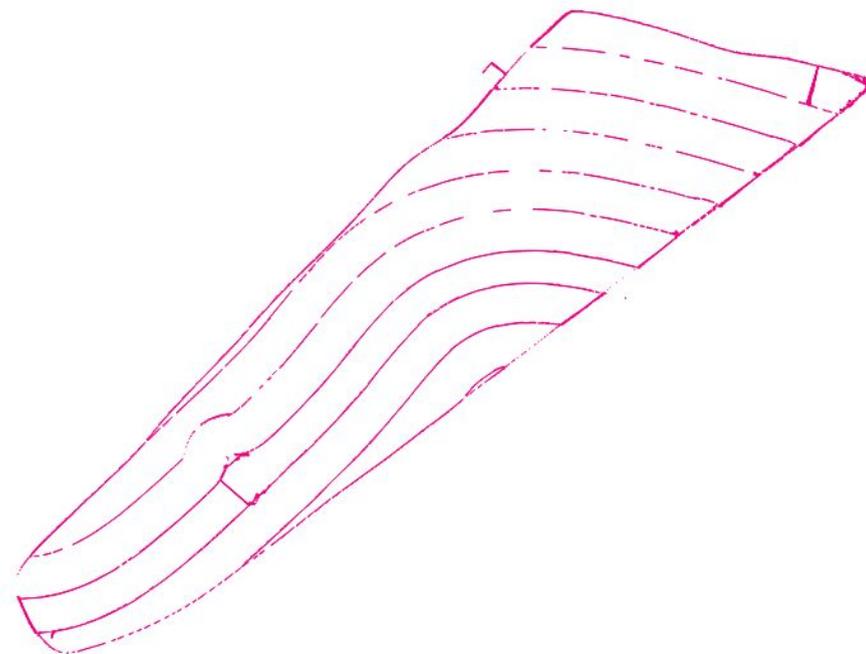


Figura 10. Áreas de sobreposição em um talhão com aplicação e utilização do sistema de precisão de aplicação Hawkeye, com aplicação a taxa fixa, em Catanduva-SP.

6.3. Taxa Variável

Ainda que este sistema de controle de aplicação seja empregado majoritariamente em áreas de aplicação a taxa fixa, analisou-se, também, um talhão com aplicação em

taxa variável a fim de mensurar o desenho desta tecnologia frente ao sistema convencional. Para isso foi considerado um mapa de prescrição com 8 intervalos de taxa alvo, variando de 0 a 300 L ha⁻¹ (Figura 11).

A aplicação utilizando o sistema convencional apresentou áreas expressivas de sobre dosagem, sendo que mais de 57% da área aplicada recebeu uma dosagem acima da taxa ideal (Figura 11b). Entre as causas que levaram o sistema convencional equipado apenas com sistema de controle de taxa e de seções a apresentar baixa eficiência foi o tempo de resposta ao ajuste à nova taxa. Isso ocorre pois, neste sistema, a bomba é responsável pelo controle da taxa por meio da variação da pressão. Essa variação, por sua vez, pode demorar para alterar o volume por minuto aplicado, uma vez que a calda percorre toda tubulação antes de atingir os bicos, levando a um tempo de resposta atrasado. Isto causa não apenas o desperdício de defensivos químicos, mas também a contaminação do solo e perda de qualidade da produção.

O sistema de aplicação com controle de fluxo e corte bico a bico, por outro lado, promove o controle de fluxo por meio da atuação de uma válvula PWM atuante nos bicos de aplicação. A quantidade de fluxo através do bico é determinada pela largura do pulso que passa pela válvula, que corresponde ao tempo durante um ciclo de trabalho em que a válvula permanece aberta. A variação do ciclo de trabalho é responsável por regular o fluxo que passa pelos bicos (GOPALAPILLAI et al., 1990).

Assim, a bomba controla apenas a pressão atuante no sistema, o que diminui o tempo de resposta e aumenta a precisão da aplicação, o que pode ser observado por meio do mapa da Figura 11a, onde mais de 90% da aplicação atingiu a taxa ideal. Na lateral direita do mapa (Figura 11b), observou-se, também, uma grande região não pulverizada, fato que pode estar relacionado ao sistema de corte de seção, que, por não promover o controle bico a bico desliga uma seção inteira, causando falhas na aplicação.

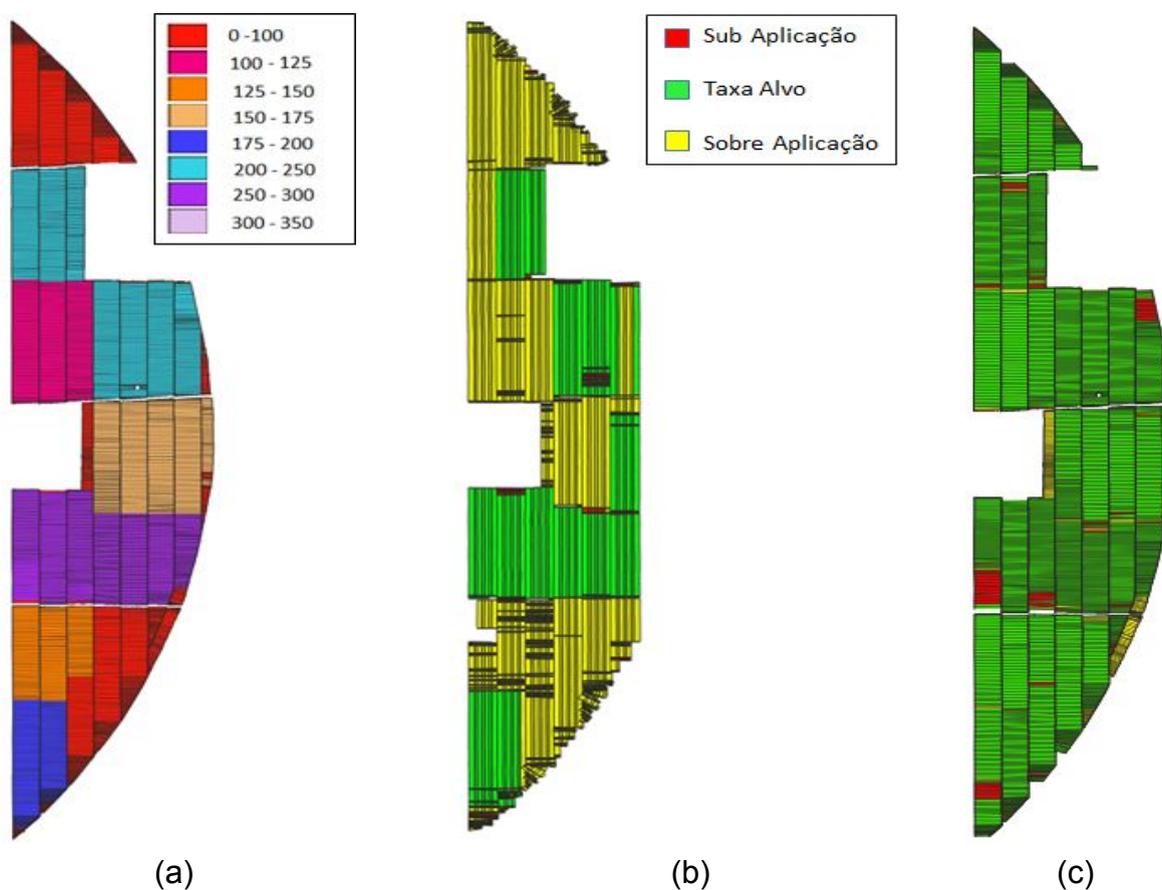


Figura 11. Mapa de prescrição com legenda indicativa de taxa de aplicação em $L\ ha^{-1}$ (a); talhão sem a utilização do sistema de precisão de aplicação Hawkeye (b); e talhão utilizando o sistema de precisão de aplicação Hawkeye (c), com aplicação em taxa variável, em Escuintla-Guatemala.

4.4 Análise Quantitativa

As porcentagens de áreas com aplicação ideal para os talhões com utilização do sistema de controle de fluxo e corte bico a bico analisado neste trabalho, apresentaram aumento significativo quando comparado ao sistema convencional equipado apenas com um sistema de controle de taxa e de seções. O sistema Hawkeye promoveu economia de insumos e precisão na aplicação, resultando em uma pulverização mais uniforme, atingindo a taxa alvo em 94,8% dos casos, frente a 78,9% obtidos por meio do sistema convencional (Tabela 3). Este resultado foi obtido considerando até mesmo cenário desfavoráveis, como a pulverização em percursos curvilíneos.

Tabela 3. Porcentagem de áreas com aplicação na taxa certa e com sub ou sobre aplicação para o sistema Hawkeye e o sistema convencional com controle de taxa e de seções e respectivas médias para as 5 áreas analisadas.

	Sistema Hawkeye			Sistema com controle de taxa		
	Área Sub (%)	Área Certa (%)	Área Sobre(%)	Área Sub(%)	Área Certa (%)	Área Sobre (%)
1	3,4	92,9	3,7	6,0	84,8	9,2
2	3,4	94,8	1,7	6,0	87,3	6,5
3	1,2	97,9	0,9	4,6	91,7	3,6
4	3,6	91,2	3,9	1,2	40,3	57,3
5	1,8	97,2	1,0	4,2	90,3	5,5
6	2,0	94,5	3,4	66	33,2	3,4
Média	2,7	94,8	2,2	4,4	78,9	16,4

Um dos desafios da agricultura moderna é a aplicação em curva, pois ocorrem velocidades diferentes ao longo das barras do pulverizador, levando a erros de aplicação (sub aplicação ou sobre aplicação). Para reduzi-los, é necessário controlar o fluxo em cada bico de pulverização, para isso, foram desenvolvidas válvulas solenóides com alta frequência (geralmente superior a 10 Hz) acionadas por uma válvula PWM (MERCALDI et al., 2017).

Em um estudo de Lebeau et al. (2004), no qual realizou uma análise da melhoria da homogeneidade da pulverização com o uso de válvulas PWM para compensar as variações de velocidade de deslocamento vertical da barra, obtiveram valores similares ao presente estudo. Utilizando o controle de fluxo por válvulas PWM, o coeficiente de variação da aplicação, ou seja, valores maiores e menores que a taxa ideal, foi de 5,8%. As médias apresentadas na Tabela 3 desprezaram os resultados da amostra 6, por serem demasiadamente favoráveis ao sistema analisado. Os dados da amostra 4, por outro lado, foram mantidos uma vez que expressam a eficiência do sistema em uma aplicação em taxa variável como discutido na Figura 11.

Quanto a sobreposição, os resultados com o sistema analisado diminuíram em 3,1 ponto percentual em relação ao valor obtido por meio da aplicação com o sistema convencional (Tabela 4). As práticas tradicionais de pulverização se iniciam com uma ou duas passagens na bordadura do talhão, deixando a região interior a ser percorrida em

passagens paralelas. Por exemplo, para uma plantadeira de 24 linhas, após realizar a bordadura, a maior parte da região interna da área é pulverizada usando passadas paralelas.

Tabela 4. Porcentagem de áreas com sobreposição de aplicação para o sistema de controle de aplicação Hawkeye e o sistema convencional com controle de taxa e de seções e respectivas médias para as 6 áreas analisadas.

Sistema com controle de aplicação		Sistema convencional
	Sobreposição (%)	Sobreposição (%)
1	4,4	10,4
2	1,2	4,7
3	3,0	5,6
4	0,7	2,8
5	2	4,1
6	1,1	3,9
Média	2,1	5,2

Os erros de aplicação são ainda mais evidentes ao pulverizar regiões próximas a bordadura. Os operadores devem optar por deixar parte do campo sem tratamento ou aplicar defensivos químicos duas vezes em uma mesma região. O mais comum é optar-se pela sobre aplicação e, neste caso, os recursos são desperdiçados. Com isso, pode ocorrer uma redução de rendimento em áreas onde ocorre excesso de aplicação de produtos (GOPALAPILLAI et al., 1990).

Ao adicionarem um sistema automático de controle de seção, Luck et al. (2010), observaram uma redução significativa da sobreposição de 12,4% para 6,2%. Tais resultados mostram redução especialmente em áreas de bordadura. Estes resultados foram condizentes com o obtido no presente estudo para o sistema convencional (Tabela 4). O sistema de corte bico a bico, por sua vez, reduziu a sobreposição para 2,1%, mostrando-se ainda mais eficaz e preciso que o controle automático de seção, refletindo diretamente na economia de produtos fitossanitários, qualidade da aplicação e diminuição da contaminação do solo e ambiental.

Vale lembrar que, quanto menos seções o pulverizador possuir, mais expressiva será a redução das áreas de sobreposição. Isto ocorre devido ao fato de que, em um sistema que não possui corte bico a bico, o controle de seções é usualmente configurado para interromper a aplicação apenas quando mais de 90% da seção for percorrido por uma área já aplicada. Dessa forma, quanto maior o tamanho da seção, ou seja, quanto menos segmentada a barra de pulverização for, maior será a área de sobreposição. Neste sentido, o corte bico a bico apresenta resultados ainda mais notáveis quanto a economia e precisão da aplicação, uma vez que desliga a aplicação apenas da ponta que, de fato, pode ocasionar sobreposição.

7. CONCLUSÕES

O sistema Hawkeye de controle de fluxo por válvulas PWM em cada ponta de aplicação, ajuste de pressão e corte bico a bico permitiu maior precisão da aplicação, mantendo 94,8% da taxa ideal para as análises realizadas, mesmo em casos onde optou-se pela aplicação em taxa variável e ofereceu, ainda, economia de produtos fitossanitários devido à baixa porcentagem de sobreposição, possibilitando maior uniformidade da aplicação, eficácia do processo de pulverização e redução dos impactos ambientais.

Desta forma, o sistema se mostrou como uma tecnologia de controle de aplicação que possibilita que o processo de pulverização seja mais assertivo, econômico e seguro.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A continuidade deste trabalho pode ser realizada por meio da automação das análises acima descritas, de forma a otimizar o processo comparativo e ainda diminuir possíveis erros de processamento.

Tal automatização possibilita ainda, incluir ferramentas que gerem um banco de dados com os valores obtidos, a fim de criar estatísticas de análise, e identificar novos parâmetros de comparação, ou ainda, possíveis melhorias para o sistema de aplicação.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio. 2001. p.139-147.
- AGRICULTURE SPRAYER GUIDE. **Spray Supplies**. 2018. Disponível em: <<https://www.sprayersupplies.com/sprayer-guide>>.
- AMORIM, F. R.; TERRA, L. A. A. Comparativo econômico entre a cultura da cana-de-açúcar e da soja: o caso de um fornecedor da região de ribeirão preto. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, v.17, n.3, p.322-333, 2014.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. São Paulo, 2010. 52p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2016. Disponível em: <<http://asbraap.org/>>
- AZEVEDO, F. R. de; FREIRE, F. das C. O. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 47 p.
- BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A.; BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, Suplemento, v.6, n.1, p.780-785, 2014.
- BAIO, F. H. R.; ANTUNIASSI, U. R. **Sistemas de controle eletrônico e navegação para pulverizadores**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Eds). Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2011.
- BAIRD, C. **Chemistry in your life**. 2 Ed. New York: W.H. Freeman & Co., 2006.
- 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**, v.29, n.2, p.293-298, 2008.
- BATTE, M. T.; EHSANI, M. R. The economics of precision guidance with auto-boom control for farmer-owned agricultural sprayers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.53, n.1, p.28-44, 2006.
- BAUER, F. C.; RAETANO, C. G. Distribuição volumétrica de calda produzida pelas pontas de pulverização XR, TP e TJ sob diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.275-284, 2004.
- BRAIBANTE, M. E. F.; ZAPPE, J. A. A química dos agrotóxicos. **Química Nova na Escola**, v.34, n.1, p.10-15, 2012.
- CASALI, L. A. **Caracterização, avaliação e classificação dos pulverizadores autopropelidos produzidos no Brasil**. Rio Grande do Sul, 2015. 127 p.
- CORDEIRO, A. M. C. **Como a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários pode contribuir para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas**. In:

ZAMBOLIM, L. Manejo integrado: fitossanidade, cultivo protegido, pivô central e plantio direto. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.683-721.

CRUVINEL, P. E.; OLIVEIRA, V. A.; FELIZARDO, K. R. **Bancada automatizada para ensaios e desenvolvimento de pulverizadores de agrotóxicos, aplicadores de fertilizantes líquidos e maturadores em culturas agrícolas sob manejo baseado em agricultura de precisão.** In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. de C. (Eds.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p.96-100.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.325-32, 2003.

ESS, D. R.; MORGAN, M. T.; PARSONS, S. D. **Implementing site-specific management: map - versus sensor-based variable rate application.** Purdue University, 2001. p.1-9.

FERNANDES, A. P.; PARREIRA, R. S.; FERREIRA, M. C.; ROMANI, G. N. Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.728-733, 2007.

GEBBERS, R.; ADAMCHUCK, V. I. Precision agriculture and food security. **Science**, v.327, n.5967, p.828-831, 2010.

GOPALAPILLAI, S.; TIAN, L.; ZHENG, J. Evaluation of a flow control system for site-specific herbicide applications. **American Society of Agricultural Engineers**, v.42, n.4, p.863-870, 1990.

HUGHES, K. L.; FROST, A. R. A review of agricultural spray metering. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.32, n.3, p.197-207, 1985.

JACTO. **Como definir a faixa de aplicação para cada lavoura?**. 2019. Disponível em: <<https://blog.jacto.com.br/faixa-de-aplicacao/>>

JEON, H. Y.; ZHU, H.; DERKSEN, R.; OZKAN, E.; KRAUSE, C. Evaluation of ultrasonic sensor for variable-rate spray applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.75, n.1, p.213-221, 2011.

LEBEAU, F.; EL BAHIR, L.; DESTAIN, M.; KINNAERT, M.; HANUS, R. Improvement of spray deposit homogeneity using a PWM spray controller to compensate horizontal boom speed variations. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.43, p.149-161, 2004.

LLORENS, J.; GIL, E.; LLOP, J.; ESCOLÀ, A. Variable rate dosing in precision viticulture: use of electronic devices to improve application efficiency. **Crop Protection**, v.29, n.3, p.239- 248, 2010.

LUCK, J. D.; PITLA, S. K.; SHEARER, S. A.; MUELLER, T. G.; DILLON, C. R.; FULTON, J. P.; HIGGINS, S. F. Potential for pesticide and nutrient savings via map-based automatic

boom section control of spray nozzles. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.70, n.1, p.19-26, 2010.

MATUO, T. **Fundamentos da tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. In: TECNOLOGIA E SEGURANÇA NA APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS: NOVAS TECNOLOGIAS, 2., 1998, Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p.95-101.

MATUO, T.; PIO, L. C.; RAMOS, H. H. **Módulo 2 – Tecnologia de aplicação dos agroquímicos e equipamentos**. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSINO SUPERIOR (ABEAS). Curso de especialização por tutoria à distância – Curso de proteção de plantas. Brasília: ABEAS, 2002. 91 p.

MERCALDI, H. V.; PEÑALOZA, E. A. G.; MARIANO, R. A.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E. Flow and pressure regulation for agricultural sprayers using solenoid valves. **Science Direct**, v.50, n.1, p.6607-6612, 2017.

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

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **The future role of pesticides in US agriculture**. Washington, D. C.: National Academy Press, 2000.

PELAEZ, V. **Agrotóxicos, agricultura e mercado: mesa de controvérsias sobre agrotóxicos**. Brasília: CONSEA, 2012. Disponível em: <<https://www.gov.br/planalto/pt-br>>

RESENDE, H. **Como usar corretamente o pulverizador costal manual**. Juiz de Fora: EMBRAPA. 1998. 15 p.

REICHARD, D. L.; LADD, T. L. **Pesticide injection and transfer system for field sprayers**. Transactions of the ASAE, St. Joseph ,v.26, p.683-686. 1983.

REYNALDO, É. F.; MOLIN, J. P. Avaliação de controlador automático de seções e pulverização. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, p.111-120, 2011.

SILVA, D. P. **Saiba como definir a taxa de pulverização (L/ha) mais adequada**. 2018. Disponível em: <<https://pastoextraordinario.com.br/como-definir-taxa-de-pulverizacao-adequada/>>

SOARES, J.; LEÃO, M. **Optimização da pulverização em médio e baixo volume na produção integrada de pêra rocha**. Disponível em: <www.bayercropscience.pt > download > pi_pera_rocha>

SCHLOSSER, J. F. Test drive: sistema hawkeye, da raven. **Revista Cultivar**, p.22-28, 2018.

SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Mecanização: operação de pulverizadores autopropelidos**. / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília: SENAR, 2016. 196 p.

SILVA, C. B.; MORETTO, A. C.; RODRIGUES, R. L. **Viabilidade econômica da agricultura de precisão: o caso do Paraná**. Viçosa, 2016. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/12/12O499.pdf>>

SHOCKLEY, J; DILLON, C., R.; STOMBAUGH, T.; SHEARER, S. Whole farm analysis of automatic section control for agricultural machinery. **Journal Precision Agriculture**, v.13, p.411-420, 2012.

SÖKEFELD, M. **Variable rate technology for herbicide application**. In: OERKE, E. C.; GERHARDS, R.; MENZ, G.; SIKORA, R. A. Precision Crop Protection - the Challenge and Use of Heterogeneity. p.335-347. Springer Verlag, 2010.

SPRAYING SYSTEMS. **Guia para o Controle de Vazão Modulado por Largura de Pulso**. Disponível em: <https://www.spray.com.br/Literature_PDFs/Portuguese/TM414-BR_PWM_Flow_Control.pdf>

SZEWCZYK, A.; OWSIAK, Z.; LEJMAN, K.; ROJEK, G. The impact of selected spraying machine work parameters and operating conditions on field toolbar position in horizontal plane. **Agricultural Engineering**, v.2, n.120, p.217-224, 2010.

TERASSI, F. S.; FRANCO, L. C.; LUPPI, D. A.; MENON, D. J. Q.; PEREIRA, J. P.; BIANCO, L. F.; DA LUZ, J. F.; LIMA, L. D.; COLOMBO, L. A.; ALBANESE, A. **Vantagens da agricultura de precisão frente a convencional**. Londrina: UNOPAR. 2011.

VIEIRA, R. R. **Tempo de resposta de um controlador eletrônico em sistemas de aplicação a taxas variáveis em pulverizações agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

WOLF, T. **Pulse Width Modulation Update**. 2015. Disponível em <sprayers101.com/pwm-2/>

XU, LINYUN, ZHU; OZKAN, H, THISTLE, H., E.; HAROLD, W. Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactant at different locations on waxy leaf surfaces. **Biosystems Engineering**, v.106, n.1, p.58-67, 2010.

WELLINGTON, C.; CAMPOY, J.; KHOT, L.; EHSANI, R. **Orchard Tree Modeling for Advanced Sprayer Control and Automatic Tree Inventory**. In: Proceedings of IROS Workshop on Agricultural Robotics. 2012.

ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M.Z. da; SANTIAGO, T. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. 3. Ed. Viçosa: UFV/DFP, 2008. 464 p.