

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**POSICIONAMENTO DA FAIXA EFETIVA E ALTURA DE VOO EM
AERONAVES AGRÍCOLAS**

**José Luís Carlos dos Santos Júnior
Engenheiro Agrônomo**

2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**POSICIONAMENTO DA FAIXA EFETIVA E ALTURA DE VOO EM
AERONAVES AGRÍCOLAS**

José Luís Carlos dos Santos Júnior
Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2022

S237p

Santos Júnior, José Luís Carlos Dos

Posicionamento da faixa efetiva e altura de voo em aeronaves agrícolas / José Luís Carlos Dos Santos Júnior. -- Jaboticabal, 2022

54 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani

1. Aplicação aérea. 2. Capacidade operacional. 3. Faixa de deposição efetiva. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: POSICIONAMENTO DA FAIXA EFETIVA E ALTURA DE VOO EM AERONAVES AGRÍCOLAS

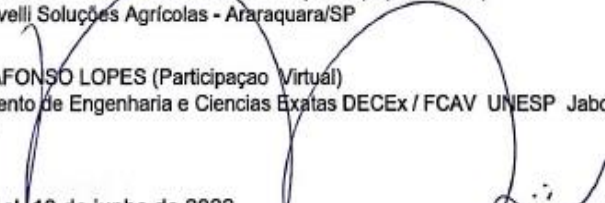
AUTOR: JOSÉ LUÍS CARLOS DOS SANTOS JÚNIOR

ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal


Prof. Dr. MARCELO BOAMORTE RAVELLI (Participação Virtual)
Grupo Ravelli Soluções Agrícolas - Araraquara/SP


Prof. Dr. AFONSO LOPES (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 10 de junho de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOSÉ LUÍS CARLOS DOS SANTOS JÚNIOR – nascido em Ribeirão Preto, São Paulo, no dia 12 de março de 1996. Ingressou no curso de Agronomia na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Dracena (FCAT) em fevereiro de 2014 e, durante a graduação, participou de projetos de pesquisa e atuou como bolsista de Iniciação Científica. Durante esse período, atuou em pesquisas com tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas em diversas culturas. Atuou, por quatro anos, como coordenador do grupo de pesquisa N.E.T.A - Núcleo de Estudo em Tecnologia de Aplicação e, dois anos com o projeto de extensão Assistência técnica agrônômica aos pequenos produtores de hortifrúti de Dracena-SP. Concluiu o título de Engenheiro Agrônomo em dezembro de 2018. No ano de 2019, começou a trabalhar na empresa SABRI-Sabedoria Agrícola, como consultor/pesquisador pleno em tecnologia de aplicação. No ano de 2020, iniciou curso de mestrado no Programa de Pós – Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal em março de 2020, sendo bolsista através da empresa SABRI-Sabedoria Agrícola. É integrante do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA). Em junho de 2022, submeteu-se à defesa da dissertação para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Produção Vegetal.

À minha família, aos meus amigos e mestres

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde, força e ensinamentos para seguir esse árduo caminho. São José, rogai por nós.

Aos meus pais, José Luís e Amalia Neto, que sempre me apoiaram e me deram todas as condições, apostaram comigo nesse sonho e me deram disposição para seguir. Não tenho palavras para descrever vocês.

Ao Carlos Eduardo Angeli Furlani pela orientação, amizade, confiança transmitida, por acreditar no potencial e nas ideias de seus alunos. Que nunca lhe falte paciência e discernimento para seguir firme com o propósito de lecionar e orientar.

Ao Henrique Borges Neves Campos pela amizade, disponibilidade de equipamentos e pelo espírito de equipe na empresa SABRI- Sabedoria Agrícola.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), aos professores que compõem o quadro do programa e propiciaram o aprimoramento dos meus conhecimentos.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pela oportunidade de realização deste curso.

Aos membros da banca examinadora Marcelo Boa Morte e Afonso Lopes pela disponibilidade em participar desse importante momento e toda a contribuição para melhoria deste trabalho.

Às minhas amigas da república independência: Gustavo (Primo), Guilherme (Subrinhu), José Henrique (Tião), Joao (Rotuios) Lincon (Proza), Tulio (Mintiu), Álvaro (Mííase) Guilherme (Coice), André (Batoré), Aluísio (Cubira), Luís (Seisemeia), Gustavo (Reserva), Joao (Piza), Pedro (Tio Chico): muito obrigado por tantos momentos juntos.

Aos meus irmãos Karla, Kelly e André Santos, pela paciência e toda a ajuda necessária.

A todos que, direta ou indiretamente, participaram e contribuíram para a realização da pesquisa.

Sumário

POSICIONAMENTO DA FAIXA EFETIVA E ALTURA DE VOO EM AERONAVES AGRÍCOLAS	III
ABSTRACT -	ix
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
INTRODUÇÃO	1
REVISÃO DE LITERATURA	2
Aeronaves Agrícolas	2
Faixa de Deposição Efetiva.....	4
Coeficiente de Variação	6
Espectrofotometria de Fio	7
Referências	9
CAPÍTULO 2 – Capacidade de campo efetiva e influência da altura de voo na qualidade das aplicações aéreas	11
Resumo.....	11
Abstract	12
1 Introdução	13
2 Material e Métodos.....	15
2.1 Caracterização do experimento e coleta de dados	15
2.2 Condução do experimento	15
2.3 Análises estatísticas	18
3 Resultados e discussão	19
4 Conclusões	24
5 Referências	25
CAPÍTULO 3 – Abordagem multivariada para diferentes modelos de aeronaves.....	26
Resumo.....	26
Abstract	27
1 Introdução	28
2 Material e Métodos.....	30
2.1 Caracterização do experimento e coleta de dados	30
2.2 Condução do experimento	30
2.3 Análise estatística	31
3 Resultados e discussão	32
4 Conclusões	41
5 Referências	42

CAPÍTULO 4 – Considerações Finais.....	43
---	-----------

POSICIONAMENTO DA FAIXA EFETIVA E ALTURA DE VOO EM AERONAVES AGRÍCOLAS

RESUMO – Visto que aviões agrícolas podem ser dimensionados e equalizados de acordo com as características técnicas das aplicações, oferecendo excelente qualidade na aplicação e ao mesmo tempo elevado rendimento operacional que garantem maior eficiência das aplicações aéreas. O objetivo da pesquisa foi avaliar a qualidade de aplicação através do coeficiente de variação (CV%) de 2 modelos de aeronaves agrícolas sendo o Ipanema 202 (EMB-202) e AirTractor 502 (AT-502), em função da altura de voo e faixa de deposição. Foram analisadas 101 configurações em 45 aeronaves agrícolas sendo 20 do modelo AT-502 e 25 do modelo EMB-202, em 5 estados brasileiros em serviços denominados “Clínica de Aeronaves”, o qual utiliza o método de espectrofotometria de fio baseada na norma ASAE S386.2 (ASAE, 2018). Para desenvolver a análise dos dados, os mesmos foram divididos em faixa de deposição e altura de voo, dentro de cada modelo de aeronave estudou-se 3 faixas efetivas de deposição. As faixas utilizadas para o modelo Ipanema 202 (EMB-202) foram de 18, 20 e 22 metros, no modelo AirTractor (AT-502) foi de 28, 30 e 32 metros. As alturas de voos utilizadas foram de 4 e 6 metros para a aeronave modelo Ipanema 202 (EMB-202), para o modelo AirTractor (AT-502) utilizou 6 e 8 metros. Utilizou-se a análise de componentes principais a fim de quantificar a importância de cada variável na variabilidade dos dados e as correlações entre elas. Na análise multivariada as aeronaves do modelo AT-502 e TH-510G, apresentaram maior correlação nas variáveis velocidade, faixa efetiva e coeficiente de variação, devido ao seu maior porte. A aeronave do modelo Ipanema (EMB-202), apresenta maior relação com a variável taxa de aplicação e uso da envergadura, isto posto por ser uma aeronave mais utilizada em culturas com áreas de dimensões irregulares. Dos modelos de aeronaves avaliados, o modelo AT-502 apresenta maior rendimento chegando a 12,5% o que corresponde a 90 ha/h, quando se passa a utilizar faixa de 28 para 32 metros. Já o modelo EMB-202 quando se passa a utilizar a faixa de deposição de 18 para 22 metros o ganho de rendimento que chega a 18,2% que representa 73 ha/h. Os melhores coeficientes de variação encontrados para a aeronave modelo AT-502 foi utilizando a faixa de aplicação 32 metros e a altura de voo de 5 metros a utilizar a altura de 8 metros ocorre um aumento no coeficiente de variação (CV%), já para o modelo EMB-202 a faixa de 20 metros foi o melhor coeficiente de variação e a altura de voo não interferiu na qualidade de deposição.

Palavras-chave: Aplicação Aérea; Capacidade Operacional; Faixa de Deposição Efetiva

POSITIONING OF THE EFFECTIVE RANGE AND FLIGHT HEIGHT IN AGRICULTURAL AIRCRAFT

ABSTRACT - Since agricultural planes can be dimensioned and equalized according to the technical characteristics of the applications, offering excellent quality in the application and at the same time a high operational performance that guarantee greater efficiency in aerial applications. The objective of the research was to evaluate the quality of application through the coefficient of variation (CV%) of 2 models of agricultural aircraft, the Ipanema 202 (EMB-202) and AirTractor 502 (AT-502), as a function of the flight height and deposition range. 101 configurations were analyzed in 45 agricultural aircraft, 20 of the AT-502 model and 25 of the EMB-202 model, in 5 Brazilian states in services called "Aircraft Clinic", which uses the wire spectrophotometry method based on the ASAE S386 standard. .2 (ASAE, 2018). To develop the data analysis, they were divided into deposition range and flight height, within each aircraft model 3 effective deposition ranges were studied. The ranges used for the Ipanema 202 model (EMB-202) were 18, 20 and 22 meters, for the AirTractor model (AT-502) it was 28, 30 and 32 meters. The flight heights used were 4 and 6 meters for the aircraft model Ipanema 202 (EMB-202), for the model AirTractor (AT-502) it used 6 and 8 meters. Principal component analysis was used to quantify the importance of each variable in data variability and the correlations between them. In the multivariate analysis, the AT-502 and TH-510G model aircraft showed greater correlation in the variables speed, effective range and coefficient of variation, due to their larger size. The Ipanema model aircraft (EMB-202) has a greater relationship with the variable rate of application and use of the wingspan, given that it is an aircraft most used in crops with areas of irregular dimensions. Of the aircraft models evaluated, the AT-502 model has the highest efficiency, reaching 12.5%, which corresponds to 90 ha/h, when the range is used from 28 to 32 meters. The EMB-202 model, on the other hand, when using the deposition range from 18 to 22 meters, the yield gain reaches 18.2%, which represents 73 ha/h. The best coefficients of variation found for the AT-502 model aircraft were using the application range of 32 meters and the flight height of 5 meters, using the height of 8 meters, there is an increase in the coefficient of variation (CV%), as for the EMB-202 model, the range of 20 meters was the best coefficient of variation and the flight height did not interfere in the quality of deposition.

Keywords: Aerial Application; Effective Deposition Range; Operational Capacity

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

INTRODUÇÃO

A aviação agrícola é apresentada nas regulamentações do setor como uma atividade econômica de aplicação de qualquer substância destinada à nutrição de plantas, tratamento do solo, propagação da vida vegetal e controle de patógenos. Muitos são os fatores que interferem na qualidade das aplicações. O conhecimento sobre o desempenho e a capacidade de trabalho das aeronaves agrícolas é fundamental no gerenciamento dos sistemas de produção, auxiliando na tomada de decisões, e visando sua otimização.

Diante do exposto, esta dissertação foi elaborada com intuito de contribuir para a melhoria e entender fatores que atuam diretamente na qualidade da aplicação e capacidade operacional das aeronaves agrícolas. Dessa forma, a dissertação foi construída com quatro capítulos, descritos a seguir.

No primeiro capítulo foi realizado referencial teórico, dando abordagem a importância da aviação agrícola no Brasil de diferentes modelos de aeronaves, e sobre os fatores ligados a eficiência das aplicações a fim de melhorar o entendimento do assunto.

No segundo capítulo, foi abordado sobre a faixa de deposição efetiva em função da altura de voo e sua qualidade em relação ao coeficiente de variação, de dois diferentes modelos de aeronaves agrícolas.

No terceiro capítulo, foi abordado sobre os principais fatores que interferem na qualidade da aplicação sendo a velocidade de voo, altura de voo, uso da envergadura, taxa de aplicação, faixa de deposição efetiva, coeficiente de variação e posicionamento de acordo com cada modelo de aeronave utilizada. Aplicou-se a análise de componentes principais a fim de quantificar a importância de cada variável na variabilidade dos dados e as correlações entre elas.

No quarto capítulo, foram realizadas considerações finais, observada nele abordagem geral dos resultados obtidos neste trabalho e as perspectivas e sugestões para futuros trabalhos relacionados ao tema.

REVISÃO DE LITERATURA

Aeronaves Agrícolas

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil, ANAC (2020), a aviação agrícola consiste em proteger ou fomentar o desenvolvimento da agricultura em quaisquer de seus aspectos, mediante o uso de fertilizantes, semeadura, controle de pragas e doenças, aplicação de defensivos, povoamento de águas e quaisquer outras aplicações técnicas e científicas aprovadas.

O princípio da aviação agrícola se deu com o agente florestal Alfred Zimmermann em 1911, que patenteou a utilização de aeronaves para controle de pragas em florestas, principalmente lagartas. As aeronaves utilizadas nessa época eram de pequeno porte e com capacidade para duas pessoas, o piloto e um tripulante responsável por despejar manualmente os defensivos agrícolas (MHEREB; NORDER, 2018; ROWINSKI, 1996; SILVA, 2018).

No Brasil o primeiro voo agrícola aconteceu na cidade de Pelotas/RS em 1946 sob o comando do engenheiro agrônomo Leôncio Fontelles que idealizou a utilização de aeronaves para aplicação de BHC (inseticida) no controle de gafanhotos que assolavam as plantações da região juntamente com o piloto Clóvis Candiota, pilotando um biplano Muniz modelo M-9 de fabricação nacional (SILVA, 2018).

Somente em 1969 a aviação agrícola foi reconhecida e em 1981 foi regulamentada (Decreto Lei nº. 917) e em 1981 (Decreto nº. 86.765) (MHEREB; NORDER, 2018). Em 1950, iniciaram-se as aplicações aéreas de BHC, um inseticida para cultura do café, e, na mesma época, foram criadas as “Patrulhas de Tratamento Aéreo” – PATAE, do Ministério da Agricultura (CORRÊA, 2019).

Devido à vasta utilização que aeronave agrícola pode oferecer, essas aeronaves desempenham um papel fundamental no setor agrícola. Dessa forma, de acordo com SINDAG (Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola) a frota brasileira cresceu 3,40% no ano de 2021, acréscimo de 80 aeronaves, correspondendo a 3,16% (2.432 aeronaves), sendo 2.409 aviões e 23 helicópteros mostrando que o setor está evoluindo no mercado brasileiro, atendendo 17 culturas em todo o País. Em números de aeronaves, o estado Mato Grosso segue liderando, agora com 600 aviões agrícolas (24,67% da frota do País). O estado Rio Grande do

Sul aparece em segundo, com 419 aviões operando em lavouras. Na sequência vêm o estado São Paulo (322 aeronaves), o estado Goiás (295). (SINDAG, 2022).

Existem diversas marcas e modelos de aeronaves agrícolas em atividade no Brasil, sendo que 55,61% equivalente 1.308 aeronaves são de aeronaves de produção nacional e 44,39% equivalente à 1.044 aeronaves de produção internacional. Dessa maneira, a frota brasileira possui 2.432 aeronaves agrícolas (ARAÚJO, 2021). Sobre aeronaves de fabricação nacional temos a fabricante Embraer, com as aeronaves do modelo Ipanema. O primeiro modelo EMB-200 teve início de linha de produção em 1972. A Embraer fabricou os modelos EMB-200, EMB-200A, EMB-201 e EMB-201A, todas com a mesma fuselagem básica, sofrendo alterações principalmente no sistema de propulsão, motorização e comandos de voo. A partir de 1980 com a compra da Indústria Aeronáutica Neiva, o modelo EMB-201A passou ser fabricado pela subsidiária, onde desenvolveu-se mais dois modelos o EMB-202 em 1991 e o EMB-202A em 2005, este tornando-se a primeira e única aeronave no mundo certificada movida a etanol. O modelo EMB-202 apresenta capacidade de hopper de 950 litros. Essa aeronave permanece em produção há 43 anos e soma mais de 1.312 unidades vendidas (EMBRAER, 2021).

Para os modelos de fabricação internacional temos dois principais modelos sendo o AirTractor e Thrush. A principal aeronave agrícola internacional é AirTractor, que é de uma empresa norte americana, com sede em Olney no Texas – EUA, criada em 1974, e que se consolidou a maior fabricante de aeronaves agrícolas do mundo, com mais de 3.600 unidades vendidas no mundo e cerca de 452 aeronaves estão no Brasil, representando 19,22% da frota nacional (ARAÚJO, 2021). Atualmente a Air Tractor produz uma ampla opção de modelos como AT-402A, AT-402B, AT-502B, AT-502XP, AT-602 e AT-802A que são equipadas com motor turboélice alimentados por querosene. Suas características variam como a potência varia de 550 HP, 1.514 litros no hopper e 15,54 metros de envergadura, no modelo de entrada até 1.350 HP; 3.028 litros no hopper e 18,06 metros de envergadura em seu maior modelo. Portanto, observa-se que todas essas características permitem atingir uma parcela do mercado brasileiro, além do que tem mostrado os levantamentos desta empresa (AIR TRACTOR, 2020).

A fabricante de aeronaves agrícolas Thrush Aircraft Inc, é uma empresa norte americana, sediada na Albany na Georgia - EUA, criada em 1970. Atualmente, a fabricante tem uma representatividade de 1,96% na frota brasileira, contabilizando 46 aeronaves (ARAÚJO, 2021). Esta possui uma variedade de modelos como 510P, 510G, 550P e 710P que também são equipadas com motor turboélice alimentados por querosene, e suas características variam como a potência varia de 750 HP, 1.930 litros no hopper e 14,48 metros de envergadura, no modelo de entrada até por volta 1.220 HP; 2.687 litros no hopper e 16,46 metros de envergadura no seu maior modelo disponível. No mercado brasileiro estão em menor número, porém são populares no meio agrícola e concorrem diretamente com outros modelos com motorização turboélice (à reação) (THRUSH, 2020).

Faixa de Deposição Efetiva

A faixa de deposição é um parâmetro básico do planejamento operacional eficiente da aplicação aérea, onde se depositam todas as gotas pulverizadas pela aeronave agrícola e é referida como faixa total e faixa efetiva de aplicação. Faixa de deposição total é a extensão, do sentido perpendicular ao deslocamento da aeronave, onde aconteceu a deposição da calda pulverizada, em apenas uma única passagem do avião (ROTH; WHITNEY; KUHLMAN, 1985).

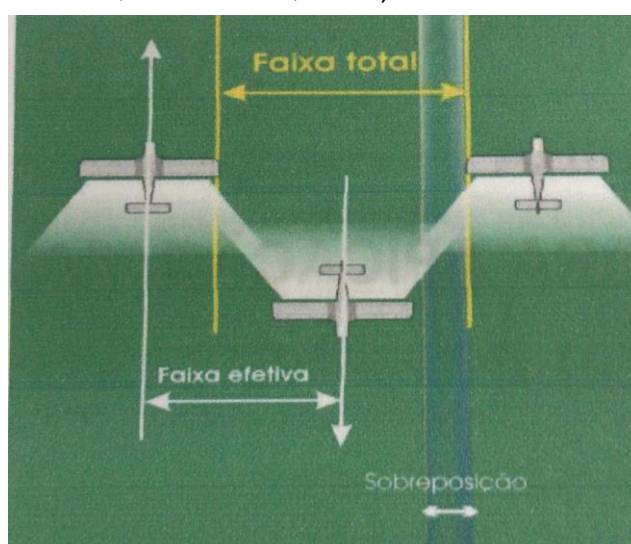


Figura 1 - Esquema para a representação da faixa de deposição efetiva e faixa total de aplicação.

A faixa efetiva é a largura de uma única passagem (aplicação) que inclui partes de sobreposições de outras passadas. Esta faixa efetiva deve ser dimensionada a partir das seguintes informações: comprimento da barra, volume de calda (L ha⁻¹), altura de voo, direção do vento, tamanho das gotas, direção da passagem de aplicação, velocidade do vento, condições meteorológicas, tipo de produto e velocidade da aeronave (ROTH; WHITNEY; KUHLMAN, 1985).

Preconiza a norma ASAE - American Society of Agricultural Engineers (ASAE S386.2, 2018) para teste padrão de deposição e calibração de equipamentos aéreos, que podem ser utilizados para os métodos de avaliação, são aqueles baseados na análise de deposição de gotas em lâminas de vidro e ou papel hidrossensível ou utilizando sistemas que medem a deposição em fios.

As extremidades da faixa total, no sentido da largura, apresentam menor deposição em relação ao centro da passada. Essa menor deposição nas extremidades não é suficiente para garantir a uniformidade da faixa aplicada e, portanto, deve-se determinar uma sobreposição, fazendo com que a deposição das passadas adjacentes sejam somadas, a fim de uniformizar a deposição final ao nível aproximado do centro da faixa deposição na faixa total aplicada e garantir a qualidade da aplicação. O afastamento entre duas faixas consecutivas, portanto, é menor que a largura da faixa deposição total, e é denominado faixa operacional efetiva (ABNT, 1988).

Segundo Carvalho e Cunha (2019), a faixa de deposição total é compreendida como a faixa onde os depósitos atingiram, independentemente da quantidade depositada, a faixa total representa então a região máxima em que as gotas foram depositadas. A faixa de deposição efetiva encontra-se dentro da faixa total, onde os níveis de depósitos satisfazem as necessidades recomendadas. Dessa forma, é utilizado para determinar a largura da faixa de deposição efetiva o coeficiente de variação (CV), de acordo com os níveis de depósitos e sobreposição entre as passadas adjacentes é possível calcular o CV em % e determinar a largura da faixa efetiva.

Coeficiente de Variação

O Coeficiente de Variação (CV), é uma medida de valor estatístico, que na pulverização se aplica para determinar a uniformidade da distribuição dos depósitos pulverizados ao longo da faixa aplicada. Assim, uma das maneiras de otimizar as aplicações aero agrícolas de produtos fitossanitários, é analisar o CV, das faixas sobrepostos. O procedimento para determinar o CV são definidas tanto nas normas ASAE S341.1 e S386. Esses padrões usam o padrão de distribuição da linha central de uma faixa até a linha central do faixa adjacente, que quanto menor o valor expresso em porcentagem, mais homogênea é a distribuição da faixa de deposição da aeronave (PRICE, 2018).

Equação 1 - O CV é o desvio padrão dos resultados dividido pela média. Expresso como uma porcentagem (ABNT, 2010).

$$CV = \frac{100(\Sigma(X_i - X_m)^2 / (n - 1))^{1/2}}{X_m} \quad (1)$$

Onde:

CV= Coeficiente de Variação;

X_i= Depósito sobreposto;

X_m= média de depósitos sobrepostos; e

n= número de amostras no padrão de sobreposição.

DeBoer e Wiens (1983) sugeriram que um CV (%) de 10 a 15 ou menos produz uma uniformidade satisfatória. Com isso, quanto menor o CV (%) mais uniforme é o perfil de distribuição, porém na prática quando obtido níveis abaixo de 20% de CV (%) já é considerado um valor satisfatório na uniformidade da faixa de deposição. Na aplicação aérea é comum encontrar diversos tamanhos de faixa de deposição, sendo faixas muito largas ou estreitas, as quais podem ocasionar uma variação na deposição do produto aplicado e arruinar a qualidade da aplicação (CARVALHO et al., 2020).

Para isso, é necessário obter a faixa total da aplicação, também conhecida como perfil básico da deposição. A faixa total de aplicação é considerada um

parâmetro básico do planejamento operacional eficiente da aplicação aérea quando se procede à sobreposição das faixas.

Entender a quantidade de produto aplicado que permaneceu depositada no alvo é importante para quantificar o percentual da recuperação e indica eficiência da aplicação (ABNT, 1988). Segundo Corrêa (1997) os depósitos da faixa total e uso de um software específico para análises de faixa de deposição, pode-se obter o coeficiente de variação (CV %), fazer simulações das sobreposições da faixa e estimar a faixa de operação.

Espectrofotometria de Fio

Considerando que é um método ágil e preciso por se tratar da deposição das gotas sobre um fio coletor este é bastante utilizado, pois oferece inúmeras vantagens em relação aos demais métodos. Diversos autores, utilizaram esse método com base na norma ASAE S386.2, para fins de pesquisa científicas e de estudos de faixa de deposição em aeronaves agrícolas, com intuito de oferecer a faixa ideal de aplicação conforme a necessidade.

Este método deposição em fio, começou a ser desenvolvido por Kuhlman, Roth e Whitney (1985) a partir de iniciativa e parceria entre a Universidade Estadual de Oklahoma e National Aeronautics and Space Administration - NASA que foi quem financiou o projeto. O objetivo do trabalho foi “Desenvolver Métodos e Equipamentos de Avaliação Rápida de Padrões para Aeronaves de Pulverização”. Posteriormente, houve um interesse e apoio da NASA e outros, e seria criado então Operação S.A.F.E. (PRICE, 2018). O sistema de análise com a deposição em fios requer a utilização de um corante (rodamina). O sistema de espectrofotometria realiza a leitura da intensidade do corante depositado no fio e a partir desses dados, o padrão de aplicação, e a largura de faixa efetiva de deposição e o coeficiente de variação podem ser determinados.

Ao avaliar o padrão de pulverização e determinar a faixa efetiva de uma aeronave, a altura de aplicação, velocidade da aeronave, pressão de pulverização e localização dos bicos, todas essas variáveis podem alterar as condições de aplicação. Durante o teste, a aeronave voa diretamente contra o vento (vento de proa) para que

a pulverização seja distribuída somente onde teve a passagem, visando facilitar a correlação entre a disposição dos elementos geradores de gotas na barra com a deposição real no solo. Caso ocorra vento cruzado com sentido o do voo durante o teste ocorre a perda de referência entre a montagem do equipamento e a deposição determinada (FRITZ et al., 2019).

Referências

- ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Brasília – DF: **Anac – A atividade de aero agrícola**. 2020. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/operacoes-aereas/operador-agricola>. Acessado em: 22 de abril de 2022.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **TB-344: Aplicação de defensivos agrícolas** - Terminologia. Rio de Janeiro, 1988.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 3534-1: Estatística- vocabulário e símbolos. Parte 1: **Termos estatísticos gerais e termos usados em probabilidade**. Rio de Janeiro, 2010.
- CARVALHO, F. K; et al. Challenges of aircraft and drone spray applications. **Outlooks on Pest Management**, v. 31, n. 2, p. 83-88, 2020.
- CARVALHO, W. P. A.; CUNHA, J. P. A. R. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**: introdução à tecnologia de aplicação por via aérea. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019. p. 169-180.
- CORRÊA, H.G. **Otimização da aplicação aérea de defensivos na cultura da banana, com a utilização da espectrofotometria de absorção atômica**. 1997. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – FCA-UNESP, Botucatu, 1997.
- CORRÊA, M. F. **Aviação agrícola e a aplicação de defensivos**. 2019.
- DEBOER, L. J. and E. H. WIENS. 1983. **Test procedures for granular applicator performance testing**. ASAE Paper No. 83-1504, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- FRITZ, B. K.; GIL, M. P.; BRETTHAUER, S. **Examining Aerial Application Swath Pattern Evaluations under In-Wind and Cross-Wind Conditions," in Pesticide Formulation and Delivery Systems: 39th Volume, Innovative Formulation, Application and Adjuvant Technologies for Agriculture**, ed. D. Linscott (West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019), 24-38. 2019.
- MHEREB, G. De A.; NORDER, L. A. C. Aviação Agrícola no Brasil: contexto e caracterização. **Confins**, 2018. n. 36, p. 1–18.
- PRICE, R. R. A low-cost spot laser and camera system for fluorescent dye detection of agricultural aircraft pattern collection strings. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 34, n. 1, p. 187, 2018.
- ROTH, L. O.; WHITNEY, R. W.; KUHLMAN, D. K. Application uniformity and some non-symmetrical distribution patterns of agricultural chemicals. **Transactions of the ASAE**, v. 28, n. 1, p. 47-0050, 1985.

ROWINSKI, R. S. **The use of aeroplanes for plant protection in and out of Europe.** EPPO Bulletin, 1996. v. 26, n. 1, p. 123–130.

SILVA, D. A. **Os Acidentes Na Aviação Agrícola: Fatores Humanos E Métodos De Mitigação.** Agrolink, 2018. v. 3, n. 22, p. 25.

SINDAG (Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola). **Dados sobre a aviação agrícola.** 2022. Disponível em: <https://sindag.org.br/dados-sobre-a-aviacaoagricola/>. Acessado em: 26 de abril de 2022.

WHITNEY, R. W., & ROTH, L. O. (1985). **String collectors for spray pattern analysis.** *Trans. (American Society of Agricultural Engineers), ASAE* 28(6), 1749-1753. <https://doi.org/10.13031/2013.32512>.

CAPÍTULO 2 – Capacidade de campo efetiva e influência da altura de voo na qualidade das aplicações aéreas

Resumo

Diversos fatores alteram a qualidade das aplicações de produtos fitossanitários. Para a aplicação aérea, pode-se destacar a altura de voo, faixa efetiva de deposição e coeficiente de variação. O objetivo da pesquisa foi avaliar o coeficiente de variação (CV%) de 2 modelos de aeronaves agrícolas sendo o modelo Ipanema 202 (EMB-202) e o modelo AirTractor 502 (AT-502), em função da altura de voo e faixa de deposição. Foram analisadas 101 configurações em 45 aeronaves agrícolas sendo 20 do modelo AT-502 e 25 do modelo EMB-202, em 5 estados brasileiros em serviços denominados “Clínica de Aeronaves”, o qual utiliza o método de espectrofotometria de fio baseada na norma ASAE S386.2 (ASAE, 2018). Para desenvolver a análise dos dados, os mesmos foram divididos em faixa de deposição e altura de voo, dentro de cada modelo de aeronave estudou-se 3 faixas de deposição efetiva, as faixas utilizadas para o modelo Ipanema 202 (EMB-202) foram de 18, 20 e 22 metros, no modelo AirTractor (AT-502) foi 28, 30 e 32 metros. As alturas de voos utilizadas foram de 4 e 6 metros para a aeronave Ipanema 202 (EMB-202), para o AirTractor (AT502) utilizou 6 e 8 metros.

Palavras-chave: Aplicação Aérea; Capacidade Operacional; Faixas de Deposição

Effective field capacity and flight height influence on the quality of aerial applications

Abstract

Several factors alter the quality of plant protection product applications. For aerial application, flight height, effective deposition range and coefficient of variation can be highlighted. The objective of the research was to evaluate the coefficient of variation (CV%) of 2 models of agricultural aircraft, being the model Ipanema 202 (EMB-202) and the model AirTractor 502 (AT-502), in function of the flight height and range of flight. deposition. 101 configurations were analyzed in 45 agricultural aircraft, 20 of the AT-502 model and 25 of the EMB-202 model, in 5 Brazilian states in services called "Aircraft Clinic", which uses the wire spectrophotometry method based on the ASAE S386 standard. .2 (ASAE, 2018). To develop the data analysis, they were divided into deposition range and flight height, within each aircraft model 3 effective deposition ranges were studied, the ranges used for the Ipanema 202 model (EMB-202) were of 18, 20 and 22 meters, on the AirTractor model (AT-502) it was 28, 30 and 32 meters. The flight heights used were 4 and 6 meters for the Ipanema 202 (EMB-202) aircraft, for the AirTractor (AT502) it was used 6 and 8 meters.

Keywords: Aerial Application; Deposition Ranges; Operational Capacity

1 Introdução

A aviação agrícola é apresentada nas regulamentações do setor como uma atividade econômica de aplicação de qualquer substância destinada à nutrição de plantas, tratamento do solo, propagação da vida vegetal e controle de patógenos (Zanatta, 2015). A aviação agrícola no Brasil está em grande expansão, sendo a segunda maior frota do mundo, ficando atrás somente do Estados Unidos. Segundo o Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola - SINDAG (2021), o Brasil registrou 2.352 aeronaves, o resultado significa um crescimento de 3,16% durante o ano de 2021.

Uma das vantagens da aviação agrícola é a alta capacidade operacional, permitindo soluções rápidas, em maiores extensões de área, tornando possível alcançar resultados positivos com custos econômicos acessíveis, desde que sejam adotados todos os procedimentos técnicos adequados (Bayer et al., 2012). O conhecimento sobre o desempenho e a capacidade de trabalho das aeronaves agrícolas é fundamental no gerenciamento dos sistemas de produção, auxiliando na tomada de decisões, e visando sua otimização. A otimização das operações de aplicação aérea torna-se importante para um melhor desempenho, para redução dos custos e melhoria na qualidade da aplicação (Molin et al., 2006).

A uniformidade e a seleção correta da largura da faixa efetiva estão entre os aspectos mais importantes da aplicação aérea. Com uma grande variação de deposição a má uniformidade de distribuição da pulverização em todo o campo, degrada a qualidade da aplicação e pode resultar em vários aspectos negativos, como o baixo controle de pragas, doenças e plantas daninhas, contribuindo para o surgimento de resistência (Carvalho et al., 2019).

Na aplicação aérea, um dos parâmetros operacionais é a avaliação da faixa de deposição, que é o padrão de distribuição na linha de voo e que fornece informações vitais durante as aplicações, como por exemplo, os ajustes do equipamento realizando a adição ou remoção de bicos à barra de pulverização para melhorar a uniformidade do depósito (Parkin; Wyatt, 1982). Assim, um fator que deve ser sempre levado em consideração é o coeficiente de variação da faixa de deposição.

A faixa efetiva de deposição é considerada um perfil uniforme de distribuição dentro da faixa, quando há sobreposição das faixas. Para se obter uma faixa de deposição satisfatória, é necessário entender os fatores que influenciam diretamente na qualidade da aplicação.

A aplicação aérea é uma ferramenta de extrema importância, quando realizada dentro de critérios técnicos bem definidos. No entanto, existem poucas pesquisas nessa abordagem de aeronaves agrícolas no Brasil quando se trata da faixa de deposição e altura de voo. Com isso, objetivo deste capítulo foi avaliar a faixa de deposição em função da altura de voo e o coeficiente de variação (CV%), de diferentes modelos de aeronaves agrícolas.

2 Material e Métodos

2.1 Caracterização do experimento e coleta de dados

A pesquisa foi realizada por meio da coleta de dados de 20 aeronaves do modelo AirTractor 502 (AT-502) e 25 do modelo Ipanema 202 (EMB-202), resultando em 101 análises. As coletas foram realizadas em 5 estados brasileiros: Mato Grosso, Bahia, Piauí, Maranhão e Goiás, durante o período de janeiro até dezembro de 2021. Cada aeronave pode ter sido avaliada mais de uma vez, o que resultou no maior número de análises comparado ao número de aeronaves, de acordo com a Tabela 1. As aeronaves foram equipadas com bicos do modelo atomizador rotativo com taxa de aplicação de 10 litros por hectare.

Tabela 1 - Distribuição das aeronaves agrícolas avaliadas em diferentes estados brasileiros em 2021.

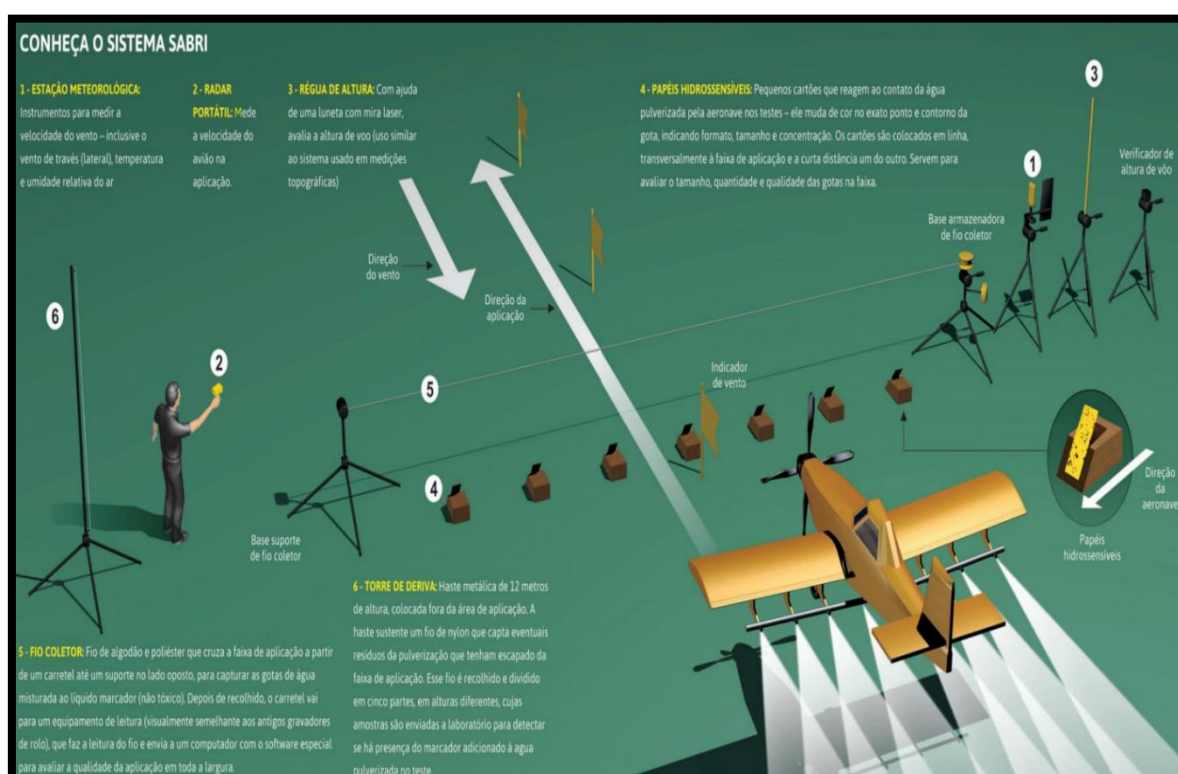
Estados	Número de Aeronaves	Número de Análises
Goiás	7	9
Mato Grosso	17	48
Bahia	15	32
Piauí	4	8
Maranhão	2	4
Total	45	101

2.2 Condução do experimento

O método utilizado para a coleta dados foi por meio da espectrofotometria de fio denominado de Clínicas de Aeronaves – DoPro Be Safe®, a metodologia é baseada na ASAE S386.2 (2018), e é utilizado para análises de aplicações clínicas

sob a operação do programa S.A.F.E (Self-regulating Application and Flight Efficiency), nos Estados Unidos (PRICE, 2018).

Para a coleta de dados, as aeronaves foram preparadas com água limpa e adicionado o corante rodamina na concentração de 0,02% (v/v), este corante foi pulverizado sobre uma linha de poliéster/algodão de 1 milímetro de diâmetro com 46 metros de comprimento, a linha foi posicionada a 0,5 metros de altura com auxílio de dois tripés, um contendo um carretel com linha nova e protegida por um recipiente e outro é fixado a uma roldana para o recolhimento. (Figura 2)



Fonte: SABRI-Sabedoria Agrícola (2020).

Figura 2 - Esquema para a apresentação do método espectrofotometria de fio. Voo com aeronave aplicando água e corante atóxico (Rodamina) sobre um fio coletor para avaliação da faixa de deposição.

Foram feitos quatro voos (cruzando perpendicularmente) sobre o centro da linha para cada aeronave avaliada, em cada voo da aeronave a linha e recolhida e é registrada informações como: altura de voo (utilizando régua graduada e mira holográfica), ângulo do vento, velocidade de aplicação (utilizando radar) e as condições meteorológicas, o vento no momento da aplicação foi de proa (contra a

aeronave), assim evitando interferências no resultado do teste. Todos os testes foram feitos nas condições meteorológicas consideradas ideal para aplicação. As condições meteorológicas e a identificação de angulação do vento foram verificadas utilizando a estação meteorológica portátil Kestrel® modelo 5500.

Para a correta aplicação sobre o centro da linha foi feita uma demarcação do centro utilizando bandeiras para melhor visualização do piloto, após cada passagem esperou-se um minuto para a correta deposição do corante sobre a linha.

O equipamento utiliza um software (AccuPatt+1.06) que gera média dos depósitos observados pelo espectrofotômetro e calcula o Coeficiente de Variação (CV) em relação a faixa efetiva. Ao final da avaliação o sistema exibe em uma representação gráfica do perfil de distribuição da pulverização, de cada uma das passadas e sua média, conforme ilustrado na (Figura 3).

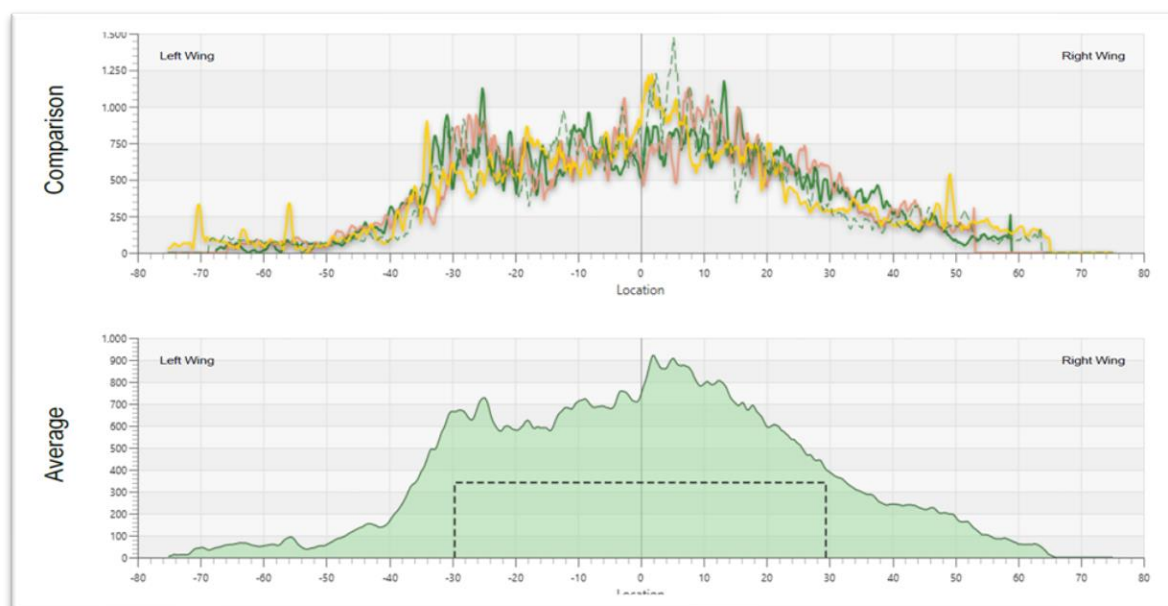


Figura 3 - A área verde indica a faixa de deposição total e a linha pontilhada a faixa de deposição efetiva. O eixo horizontal (x) informa as distâncias em pés e o eixo vertical (y) a recuperação do corante em cada ponto do fio (Fonte: SABRI-Sabedoria Agrícola).

2.3 Análises estatísticas

Para a análise de capacidade de campo efetiva (CCE) foram utilizadas as velocidades de aplicação das aeronaves e 3 faixas efetivas, para o modelo AirTractor 502 (AT-502) utilizou 28, 30 e 32 metros e para o modelo Ipanema 202 (EMB-202) as faixas 18, 20 e 22 metros. A velocidade utilizada foram as médias das 20 aeronaves do modelo AirTractor 502 e 25 do modelo Ipanema 202 e transformada para km/h, para o cálculo utilizou-se a equação 2:

$$\text{ha/hora} = \text{Faixa (m)} * \text{Velocidade (km/h)} / 10 \quad \text{Eq (2)}$$

Foram utilizados dois fatores: altura de voo e faixa efetiva. Em relação à altura de voo da aeronave AirTractor 502 (AT-502) utilizaram-se duas alturas, de 5 e 8 metros em relação a linha e três faixas efetivas de aplicação 28, 30 e 32 metros. Para a aeronave Ipanema 202 (EMB-202) utilizaram-se duas alturas de 4 e 6 metros em relação a linha e três faixas efetivas de aplicação 18, 20 e 22 metros.

Para a análise dos resultados, os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,1$), e quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,1$) e calculado o intervalo de confiança (IC) pelo teste t (equação 3):

$$\text{IC} = t * \text{DP} / \sqrt{n} \quad \text{Eq (3)}$$

Em que, t refere-se ao valor de t tabelado ($p \leq 0,05$), DP o desvio padrão dos dados e “n” o número de amostragens.

3 Resultados e discussão

A capacidade de campo efetiva (CCE) não considera os tempos consumidos fora da operação (ASAE, 2003), descontando os tempos gastos em preparo do equipamento, como deslocamento, mapeamento da área, pouso e decolagem, calibração, regulagens, manutenção e limpeza e tempos de interrupção durante toda movimentação da aeronave como manobras, ajustes e paradas para abastecimento do tanque de pulverização e de combustível.

Tabela 2- Capacidade de Campo Efetiva por diferentes faixas efetivas e dois modelos de aeronaves.

Modelo Aeronave	Velocidade Média (Km/h)	Faixa Efetiva (metros)	Capacidade de Campo Efetiva (ha/h)	Ganho de Rendimento (%)
AirTractor 502	225	32	720	-
AirTractor 502	225	30	675	6,25
AirTractor 502	225	28	630	12,5
Ipanema 202	182	22	400	-
Ipanema 202	182	20	364	9
Ipanema 202	182	18	327	18,2

A capacidade de campo efetiva (CCE) na aviação agrícola, está totalmente ligada a faixa efetiva de deposição, velocidade da aeronave e capacidade do tanque de calda. Observa-se que na aeronave AirTractor 502 (AT-502) que possui o tanque de calda com capacidade de aproximadamente 1900 litros o aumento da faixa de 28 para 32 metros o ganho de rendimento chega a 12,5% o que corresponde a 90 ha/h.

Já para a aeronave Ipanema 202 (EMB-202) que possui o tanque de calda com capacidade de aproximadamente 900 litros o ganho de rendimento chegou a 18,2% quando se aumenta de 18 para 22 metros de faixa efetiva de deposição, que representa 73 ha/h.

De maneira geral com o aumento da faixa de deposição efetiva e a velocidade da aeronave o ganho operacional de rendimento aumenta.

Deve-se levar em consideração a qualidade da aplicação para uma correta escolha da faixa de deposição efetiva das aeronaves. Uma vez que, para garantir uma aplicação eficiente o aumento da faixa de deposição deve estar associado a um menor CV possível. Segundo Parkin & Wyaat (1982), a uniformidade da faixa de deposição é medida pelo coeficiente de variação(CV%) e deve ser menor que 20%.

A partir da análise de variância é possível observar que a altura teve pouca influência na qualidade de aplicação, enquanto a faixa de deposição tem efeito direto sobre o coeficiente de variação (Tabela 3).

Tabela 3- Resumo da análise de variância e média do coeficiente de variação em função da altura e faixa de deposição para a aeronave Air Tractor 502 (AT-502).

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Altura	1	0,02	0,02	0,002
Faixa	2	66,03	33,01	2,516*
Altura x Faixa	2	59,34	29,17	2,261*
Bloco	29	345,80	11,92	0,909
Erro	145	1902,60	13,12	
CV (%)		20,86		
Coeficiente de Variação (CV%)				
Altura	Faixa de deposição			Média
	28	30	32	
5	17,4 Ba	16,8 Aa	17,9 Aa	17,4 A
8	15,8 Aa	17,9 Ab	18,3 Ab	17,3 A
Média	16,6 a	17,3 ab	18,1 b	

GL = grau de liberdade; SQ=Soma de Quadrado; QM= Quadrado médio; F= Teste F; * diferença significativa a 10% de probabilidade pelo teste F. Médias seguida pela mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade.

Na altura de 5 metros não foi observado diferença entre as faixas de deposição, o que indica que mesmo havendo aumento na faixa de 28 metros até 32 metros não haverá redução na qualidade de aplicação.

Segundo Carvalho e Cunha (2019), a faixa de deposição total é onde todos depósitos atingiram, independentemente da quantidade depositada. Já a faixa efetiva encontra-se dentro da faixa total, onde os níveis de depósitos satisfazem as necessidades recomendadas para uma correta aplicação.

Fritz et al. (2019), demonstra que utilizando 65% da barra em relação a envergadura se obteve a melhor uniformidade da largura da faixa efetiva para o modelo AirTractor 502 (AT-502). Quanto maior o comprimento da barra de pulverização, mais larga poderá ser a faixa de deposição efetiva, porém mais facilmente as gotas pulverizadas são arrastadas pelos vórtices da ponta asa.

Do mesmo modo, que quanto maior a velocidade da aeronave mais aumenta a proporção de pequenas gotas, fragmentadas pelo impacto do vento exercida sobre elas, na qual pode alterar o efeito dos vórtices na ponta da asa e aumentar potencial do risco de deriva devido gotas menores (WOMAC et al., 1993).

Já na altura de 8 metros a faixa de 28 metros proporcionou menor CV, enquanto nas faixas de 30 e 32 m não foi observado diferença significativa. Ao comparar cada faixa de deposição nas diferentes alturas observa-se que apenas a faixa de 28 metros obteve diferença significativa, sendo o menor CV na altura de 8 metros quando comparado com a de 5 metros.

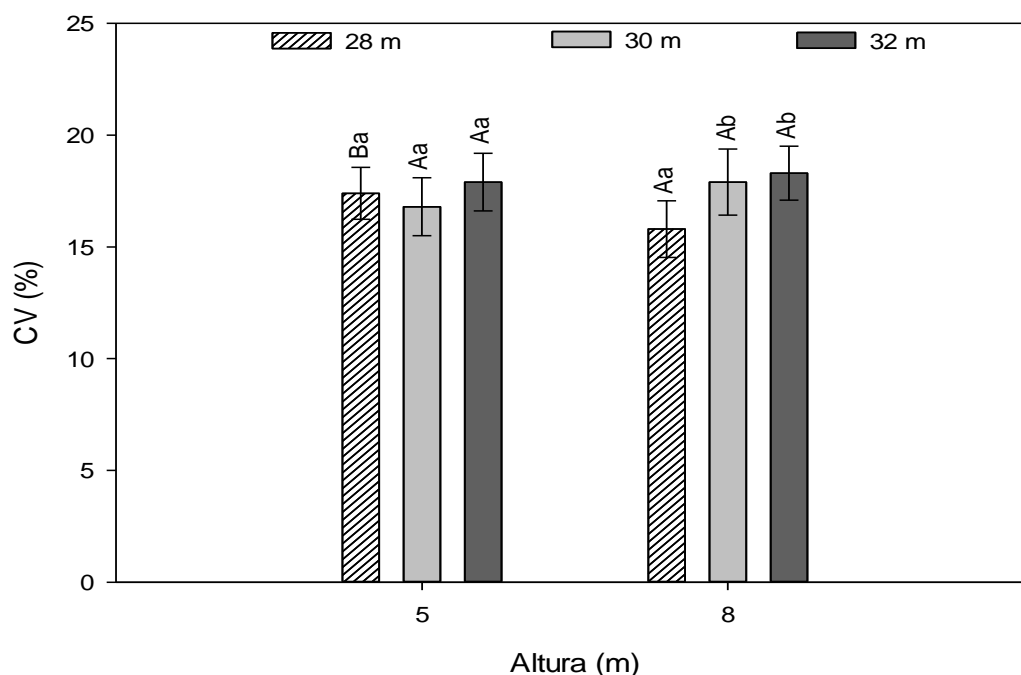


Figura 4 – CV (%) em função da altura (5 e 8 m) e da faixa de deposição (28, 30 e 32 m) para a Aeronave Air Tractor 502 (AT 502). Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula entre a altura nas diferentes faixas de deposição e minúscula entre as faixas de deposição dentro de cada altura), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade. As barras de erro representam o intervalo de confiança.

Na figura 4, a deposição da faixa efetiva em 8 metros de altura apresentou um melhor CV% para a aeronave AirTractor 502 (AT-502), devido a uma melhor abertura e deposição das gotas por se tratar de uma aeronave rápida e de envergadura de asas maiores. Uma maior altura de voo apresenta maior segurança aos pilotos e maior facilidade para desviar de obstáculos.

De acordo Monteiro (2006), altura certa de aplicação é de 25% a 50 % do valor da envergadura da asa, para a aeronave AirTractor 502 (AT-502) a altura mínima é de 4 metros e a máximo de 8 metros de altura, já para a aeronave Ipanema 202 (EMB-202) a altura mínima recomenda e de 3 metros e o máximo de 6 metros. Vale ressaltar que a altura máxima não necessita seguir a regra, sendo adaptada de acordo com o modelo de aplicação. Já a altura mínima deve ser respeitada, para manter a uniformidade da distribuição da faixa efetiva.

Para a aeronave Ipanema 202 (EMB-202) observa-se que as alturas de 4 e 6 m não inferiram na qualidade de aplicação, seja na análise isolada ou em combinação com as diferentes faixas de deposição, que por sua vez apresentaram efeito significativo sobre o CV (Tabela 4).

Tabela 4- Resumo da análise de variância e média do coeficiente de variação em função da altura e faixa de deposição para a aeronave Ipanema 202 (EMB-202).

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Altura	1	0,05	0,05	0,00
Faixa	2	263,61	131,81	7,43**
Altura x Faixa	2	46,63	23,32	1,31
Bloco	29	828,83	28,58	1,61
Erro	145	2574,54	17,76	
CV (%)		20,86		
Coeficiente de Variação (CV%)				
	Faixa de deposição			
Altura	18	20	22	Média
4	17,37	15,23	19,17	17,26
6	16,57	16,70	18,60	17,28
Média	16,97 a	15,97 a	18,83 b	

GL = grau de liberdade; SQ=Soma de Quadrado; QM= Quadrado médio; F= Teste F; * diferença significativa a 10% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade.

Ao analisar o efeito da faixa de deposição na qualidade da aplicação do modelo Ipanema 202 (EMB-202), observa-se que o aumento de 18 para 20 metros não acarretou o aumento do CV, o que indica a manutenção da uniformidade de aplicação nessas faixas de deposição. Utilizando a faixa de 20 metros o ganho de capacidade de campo teórico foi de 10% e o rendimento foi de 37 ha/h.

No entanto, para a faixa de 22 metros houve aumento do coeficiente de variação. A aeronave Ipanema 202 (EMB-202), possui uma envergadura menor em relação ao AirTractor 502 (AT-502), o aumento de faixa efetiva nessas aeronaves fica totalmente condicionada à altura de voo. De acordo com Parkin e Wyatt (1982), as perdas de produtividade são maiores do que os ganhos operacionais, conforme o CV aumenta além do recomendado para as aplicações.

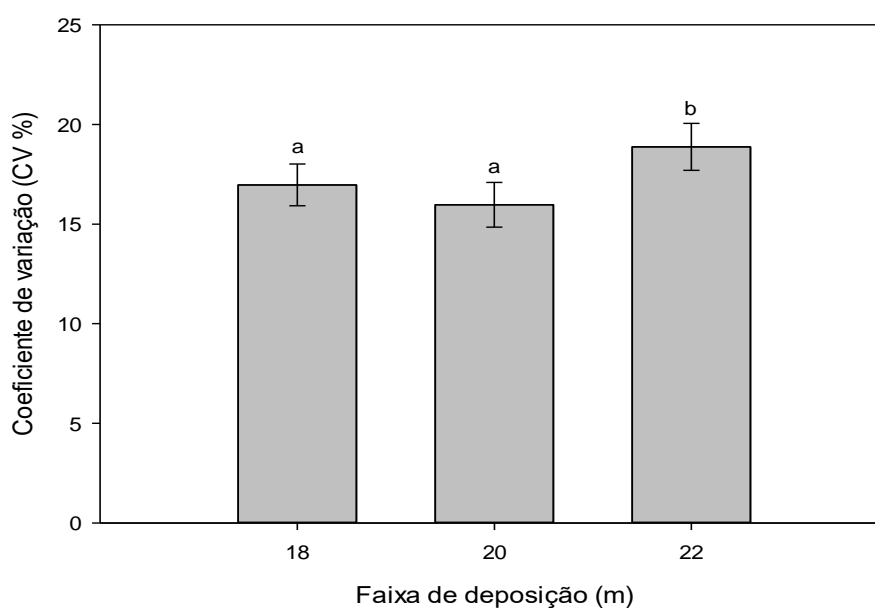


Figura 5 - CV (%) em da faixa de deposição (18, 20 e 22 m) para a Aeronave Ipanema 202. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade. As barras de erro representam o intervalo de confiança.

4 Conclusões

A altura de voo está totalmente ligada a largura da faixa efetiva de deposição das aeronaves, tanto para o modelo AirTractor 502 e para o modelo Ipanema 202.

O aumento de ganho operacional está ligado ao aumento da faixa efetiva de deposição das aeronaves, sendo de 12,5% para o AirTractor 502 quando passa de 28 para 32 metros e 18,2% Ipanema 202 quando passar de 18 para 22 metros.

A altura de voo não interferiu na qualidade de aplicação da aeronave Ipanema 202 (EMB-202), já para a aeronave AirTractor 502 (AT-502) a melhor altura foi a de 5 metros.

5 Referências

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS [ASAE].2003a. D497.4. Agricultural machinery management data. p. 373-380. In: ASAE. ASAE standards 2003.ASAE, St. Joseph, MI, USA

ASAE S386.2 Feb1988 (2018) **Calibration and distribution pattern testing of agricultural aerial application equipment**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, MI, USA 2018. 10p.

BAYER, T.; COSTA, I. F. D; LENZ, G.; ZEMOLIN, C.; MARQUES, L. N.; STEFANELO, M. S.; **Equipamentos de Pulverização Aérea e Taxas de Aplicação de Fungicida na Cultura do Arroz Irrigado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande- PB, vol.15, n.2. 2011.

CARVALHO, F. K.; CUNHA, J. P. A. R. (org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**: Estudos das faixas de deposição nas aplicações aéreas. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019. p. 213-222.

FRITZ, B; GILL, M; BRETTHAUER, S. **Examining Aerial Application Swath Pattern Evaluations under In-Wind and Cross-Wind Conditions**. In: **Pesticide Formulation and Delivery Systems**: 39th Volume, Innovative Formulation, Application and Adjuvant Technologies for Agriculture. ASTM International, 2019.

Molin, J. P.; Milan, M.; Nesrallah, M. G. T.; Castro, C. N. D.; Gimenez, L. M. (2006). Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada.

MONTEIRO, M. V. de M. **Compêndio de aviação agrícola**. Gráfica e Editora Cidade: Sorocaba-SP, 2006. 298p.

Parkin, C.S.& Wyatt, J.C. (1982) **The determination of flight-lane separations for the aerial application of herbicides**. Crop Protection, 1, 309–321, 1982.

PRICE, R. R. A low-cost spot laser and camera system for fluorescent dye detection of agricultural aircraft pattern collection strings. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 34, n. 1, p. 187, 2018.

SINDAG (Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola). Dados sobre a aviação agrícola. 2021. Disponível em: <https://sindag.org.br/dados-sobre-a-aviacaoagricola/>. Acessado em: 26 de Dez de 2021.

TESKE, M. E. et al. A simulation of boom length effects for drift minimization. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n. 3, p. 545, 1998.

WOMAC, A. R.; MULROONEY, J. E.; BOUSE, L. F. Spray drift from high-velocity aircraft. **Transactions of the ASAE**, v. 36, n. 2, p. 341-347, 1993.

CAPÍTULO 3 – Abordagem multivariada para diferentes modelos de aeronaves

Resumo

Diversos fatores alteram a qualidade das aplicações de produtos fitossanitários, a aplicação aérea apenas é vantajosa quando realizada dentro de critérios técnicos bem definidos. O objetivo da pesquisa foi avaliar os componentes principais a fim de quantificar a importância de cada variável na variabilidade dos dados e as correlações entre elas. Foram analisadas 119 configurações em 65 aeronaves agrícolas sendo 20 do modelo AirTractor 502 (AT-502) e 25 do modelo Ipanema 202 (EMB-202) e 20 do modelo Thrush 510G (TH-510G), em 5 estados brasileiros em serviços denominados “Clínica de Aeronaves”, o qual utiliza o método de espectrofotometria de fio baseada na norma ASAE S386.2 (ASAE, 2018). Na análise multivariada as aeronaves do modelo AirTractor 502 (AT-502) e Thrush 510G (TH-510G), apresentaram maior correlação nas variáveis velocidade, faixa efetiva e coeficiente de variação, devido ao seu maior porte. A aeronave do modelo Ipanema (EMB-202), apresenta maior relação com a variável taxa de aplicação e uso da envergadura, isto posto por ser uma aeronave mais utilizadas em culturas com áreas de dimensões irregulares.

Palavras-chave: Aplicação Aérea; Componentes Principais; Faixas de Deposição

Multivariate approach for different aircraft models

Abstract

Several factors alter the quality of plant protection product applications, aerial application is only advantageous when performed within well-defined technical criteria. The objective of the research was to evaluate the main components in order to quantify the importance of each variable in the variability of the data and the correlations between them. 119 configurations were analyzed in 65 agricultural aircraft, 20 of the AirTractor 502 model (AT-502) and 25 of the Ipanema 202 models (EMB-202) and 20 of the Thrush 510G model (TH-510G), in 5 Brazilian states in services called " Aircraft Clinic", which uses the wire spectrophotometry method based on the ASAE S386.2 standard (ASAE, 2018). In the multivariate analysis, the AirTractor 502 (AT-502) and Thrush 510G (TH-510G) model aircraft showed greater correlation in the variables speed, effective range and coefficient of variation, due to their larger size. The Ipanema model aircraft (EMB-202) has a greater relationship with the variable rate of application and use of the wingspan, given that it is an aircraft most used in crops with areas of irregular dimensions.

Keywords: Aerial Application; Deposition Ranges; Main Components

1 Introdução

A aplicação aérea de produtos fitossanitários é uma prática agronômica importante para propriedades rurais de grandes extensões. Principalmente devido ao alto rendimento operacional (ARAÚJO, 1993), que por sua vez permite realizar o tratamento fitossanitário de grandes áreas nas condições meteorológicas consideradas recomendadas para aplicação.

Por outro lado, a aplicação aérea apenas é vantajosa quando realizada dentro de critérios técnicos bem definidos, pois os impactos ambientais nas aplicações podem ser desastrosos. De acordo com uma série de estudos envolvendo experimentos de campo com aplicação aérea, concluiu-se que a deriva está diretamente relacionada com o espectro de gotas formado no processo de pulverização e o correto posicionamento dos equipamentos (HEWITT, 2002).

Isto posto, Sayles, Birchfield e Ellenberger et al. (2004) e Kosusko et al. (2006) propuseram a criação de programas de teste de tecnologias e metodologias destinadas a reduzir os riscos de deriva e melhorar qualidade em aplicações aéreas. A iniciativa foi reconhecida pela Agencia de Proteção Ambiental Norte Americana, que aderiu ao programa com o objetivo "alcançar uma melhor proteção ambiental e da saúde humana por meio da redução de deriva com a aceleração da aceitação e utilização de tecnologias de aplicação melhoradas e rentáveis" (EPA, 2006).

Com passar dos anos é notável que há uma tendência na redução da taxa de aplicação de calda a ser aplicado, com o objetivo de aumentar a capacidade operacional das aplicações, aumentando a área tratada por hora (CONTIERO et al., 2018).

A partir do ajuste realizado na aeronave selecionando a técnica de aplicação para cada situação é o que irá diferenciar a qualidade da aplicação. Posteriormente à aplicação, a cobertura formada é importante de ser identificada, pois ela representa a porcentagem da área coberta pelo produto caracterizando a efetividade de determinada pulverização (CUNHA et al., 2007).

Com isso, objetivo foi abordar sobre os principais fatores que interferem na qualidade da aplicação, sendo eles a velocidade de voo, altura de voo, uso da envergadura da asa, taxa de aplicação, faixa efetiva de deposição, coeficiente de variação e um posicionamento de acordo com cada modelo de aeronave utilizada.

Aplicou-se a análise de componentes principais a fim de quantificar a importância de cada variável na variabilidade dos dados e as correlações entre elas.

2 Material e Métodos

2.1 Caracterização do experimento e coleta de dados

A pesquisa foi realizada por meio da coleta de dados de 20 aeronaves do modelo AirTractor 502 (AT-502), 25 do modelo Ipanema 202 (EMB-202) e 20 do modelo Thrush 510 G (TH-510G), resultando em 119 análises. As coletas foram realizadas em 5 estados brasileiros: Mato Grosso, Bahia, Piauí, Maranhão e Goiás, durante o período de janeiro até dezembro de 2021. Cada aeronave pode ter sido avaliada mais de uma vez, o que resultou no maior número de análises comparado ao número de aeronaves, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Distribuição das aeronaves agrícolas avaliadas em diferentes estados brasileiros em 2021.

Estados	Número de Aeronaves	Número de Análises
Goiás	9	12
Mato Grosso	24	55
Bahia	25	37
Piauí	5	11
Maranhão	2	4
Total	65	119

2.2 Condução do experimento

A condução do experimento foi igual ao capítulo 2.

2.3 Análise estatística

Os resultados foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk e confirmada a normalidade. Foi realizada a ANOVA e quando encontrada diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0.05$). A análise de componentes principais (ACP) foi aplicada para melhor entendimento da relação entre as aeronaves e suas capacidades operacionais.

Para extrair as componentes principais, foi utilizado o critério de Kaiser, no qual os autovalores devem ser superiores à unidade (Kaiser, 1958). Nesse processo é feito a junção de todas as variáveis e verificado a similaridade entre elas e reunir os componentes principais, que representa melhor aquelas variáveis (tabela 6). Para cada conjunto de variável irá ter um componente principal (CP), que explica o percentual de variação que tem dentro dessas variáveis. Assim, é possível expressar a variação entre as variáveis em um gráfico bidimensional, conforme os critérios de Hair et al. (2009).

Tabela 6 - Descrição das variáveis analisada.

Variáveis	Unidade de medidas
Taxa de aplicação	L/ha
Velocidade	Km/h
Coeficiente de variação	%
Uso da envergadura da asa	%
Altura de voo	Metros
Faixa efetiva	Metros

3 Resultados e discussão

A figura 6 mostra a correlação de Pearson entre as variáveis estudadas. A correlação da diagonal principal é 1, pois está correlacionando a variável com ela mesma. A cor azul indica correlação positiva entre as variáveis, enquanto que a cor vermelha indica correlação negativa. As correlações que apresentam um único asterisco são significativas ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e dois asteriscos indicam que a correlação entre as variáveis é significativa ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

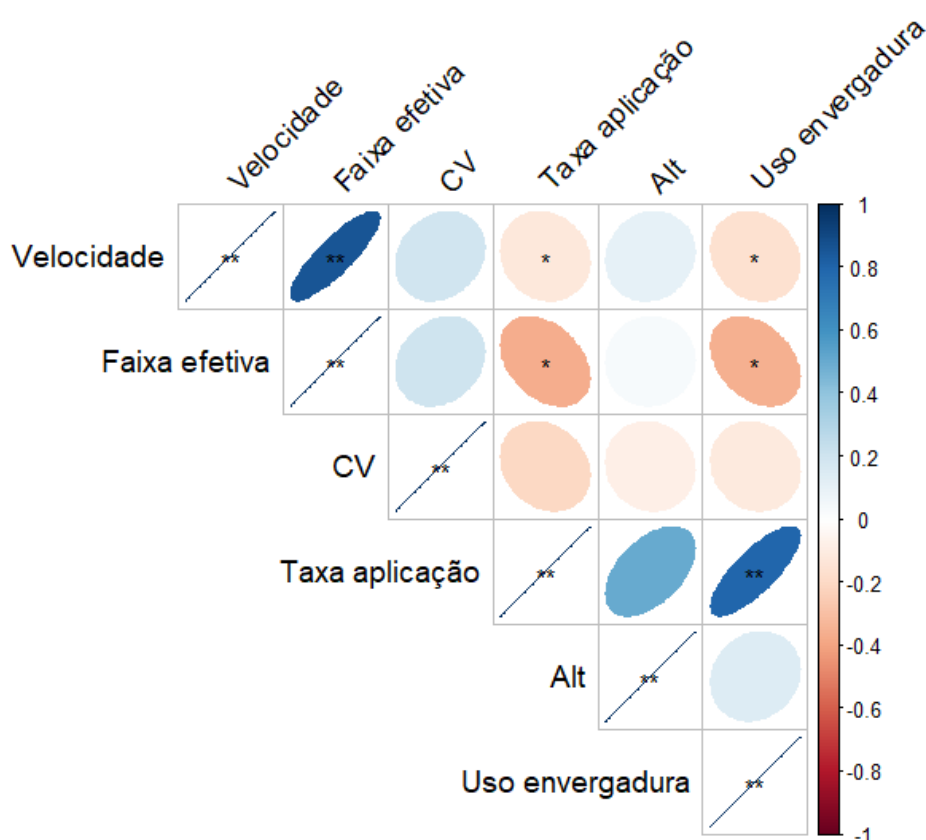


Figura 6. Matriz de correlação entre os atributos relacionados aos modelos de aeronaves. A cor azul indica correlação positiva e a cor vermelha indica correlação negativa e quanto maior a intensidade das cores, mais altas as correlações. velocidade (km/h), faixa efetiva (metros), Altura (metros), uso da envergadura (%), taxa de Aplicação (L/ha) e coeficiente de Variação (%). * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Quanto mais fechada é a elipse, maior o grau de correlação, seja ele positivo ou negativo. Verifica-se que a altura de voo está interagindo forte e positivamente com a faixa de deposição, aeronaves com maior envergadura e faixa de deposição tende a voar mais alto e quanto menor a volume de aplicação maior a faixa de deposição, no gráfico ilustra uma correlação forte e negativa.

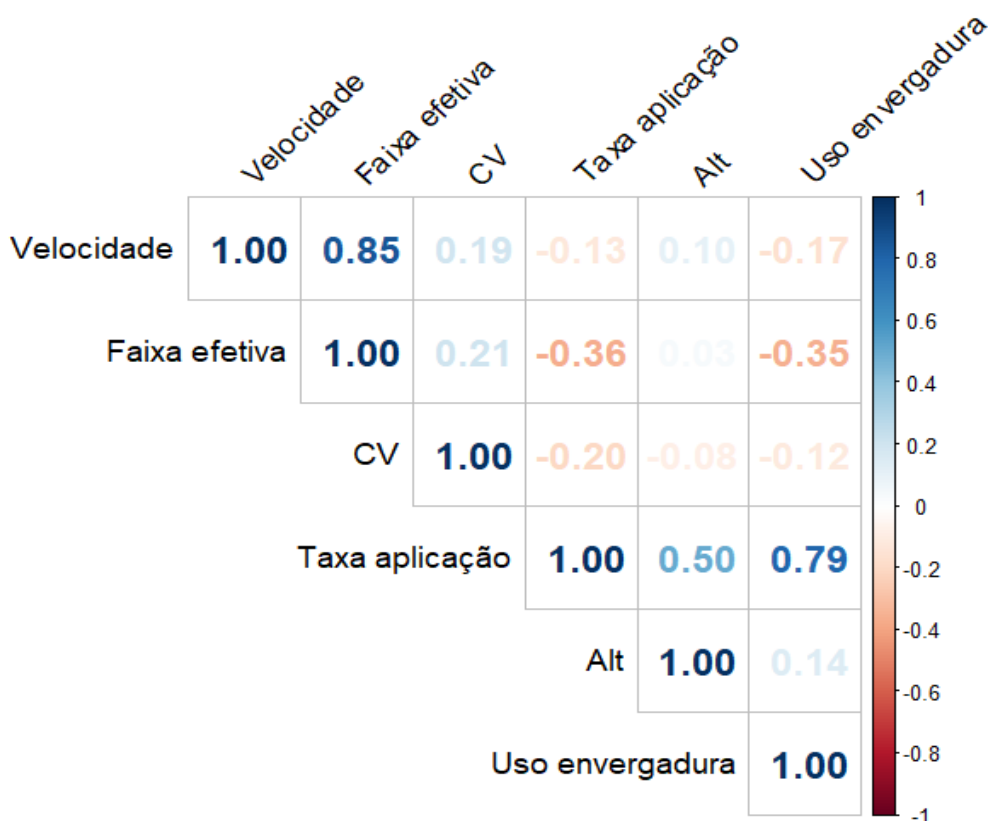
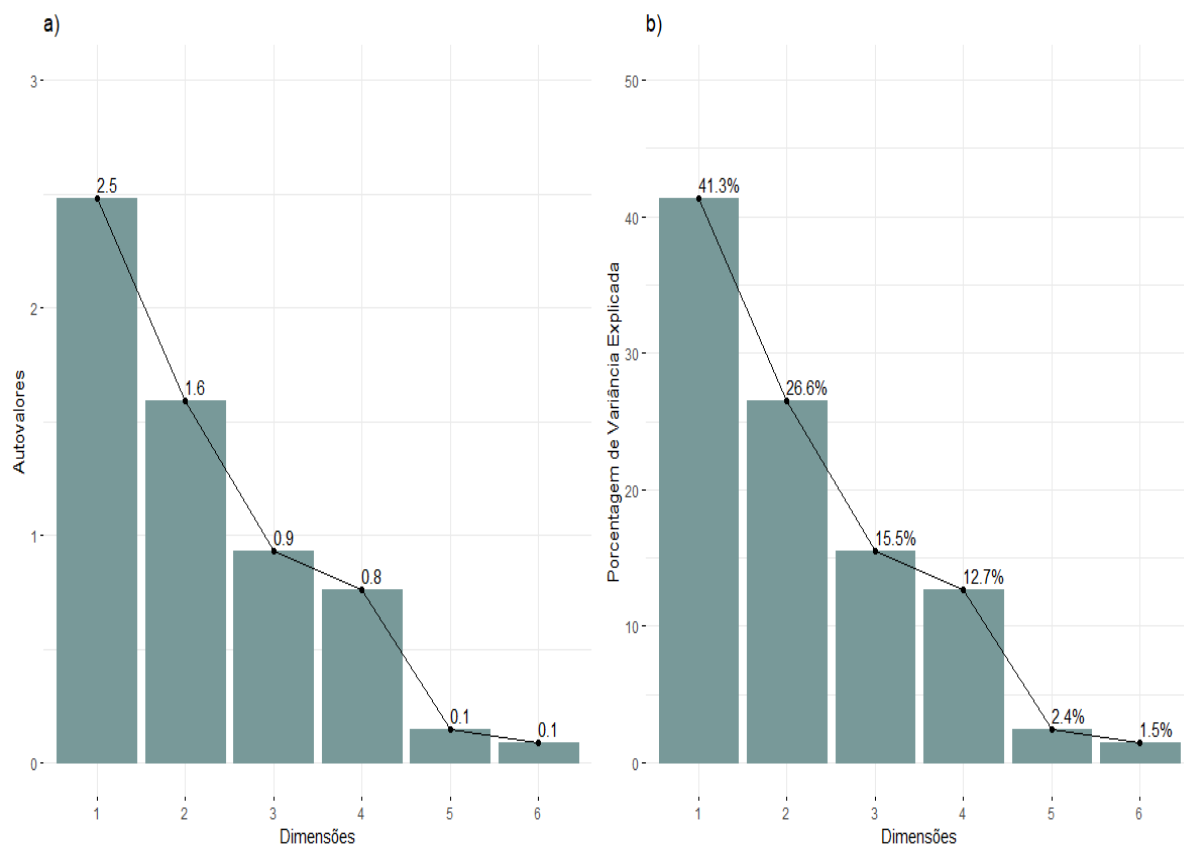


Figura 7. Matriz de correlação entre os atributos relacionados aos modelos de aeronaves. velocidade (km/h), faixa efetiva (metros), Altura (metros), uso da envergadura (%), taxa de Aplicação (L/ha) e coeficiente de Variação (%).

A velocidade de aplicação tem interação positiva com faixa efetiva por estar relacionada ao modelo de aeronave, sendo que as maiores faixa são devidas as maiores aeronaves e conseqüentemente ela apresenta maior velocidade de aplicação. Quando utilizamos o mesmo modelo e altera-se a velocidade não quer dizer que vai alterar a largura da faixa efetiva, não significa causa e efeito, não é porque tem menor velocidade de voo que terá menor largura da faixa, respectivamente.

Figura 8. Screeplot da análise de componentes principais. a) autovalores maiores que a unidade, usados para a interpretação dos resultados. b) Porcentagem de variância explicada para ambas as componentes.



Na figura 8 contém as variâncias percentuais e a variância acumulada para cada uma das componentes principais. As duas primeiras componentes respondem pela maior parte da variância total (67,87%), este é um valor representativo considerando que as duas explicam mais da metade da variação total. No entanto quanto mais CP for considerada no processo de análise maior será o percentual cumulativo, conseqüentemente, mais complexo será a interpretação dos dados. Portanto, pode se utilizar a CP1 e CP2 como base para análises comparativas entre os modelos de aeronave.

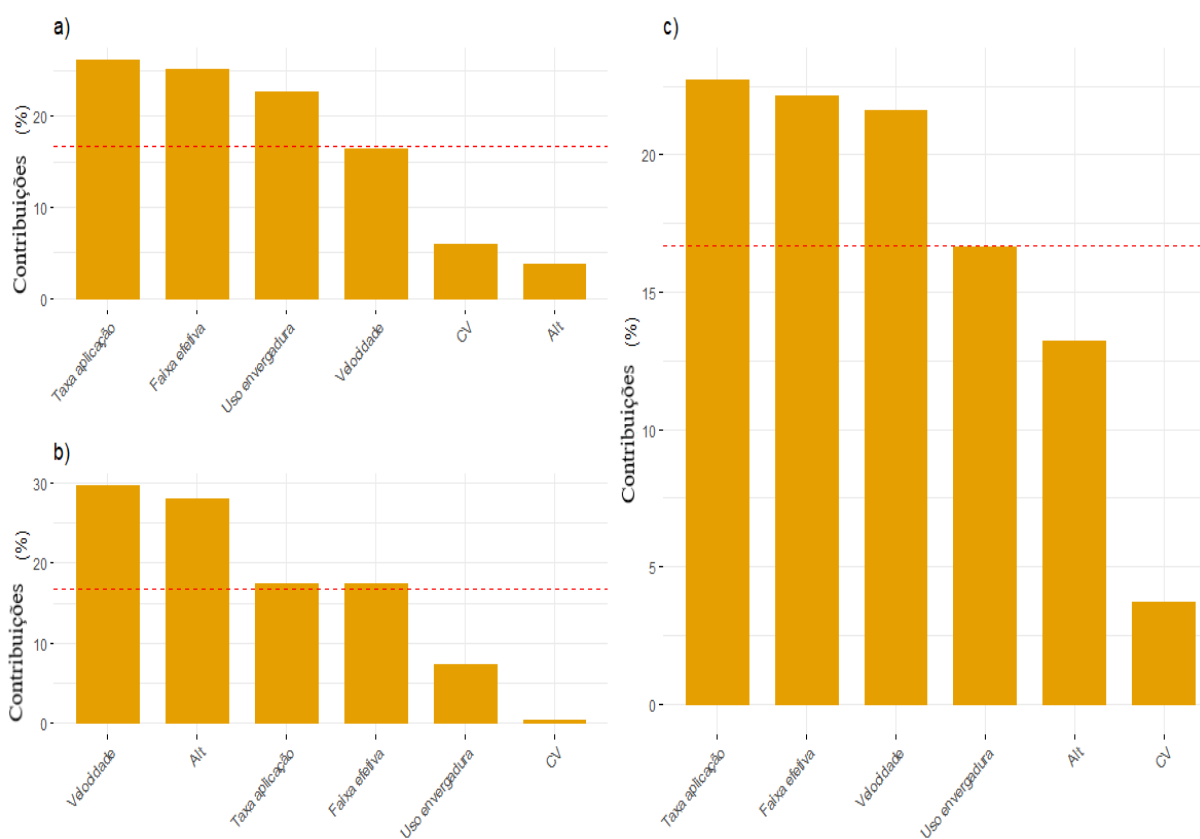


Figura 9. Contribuição das variáveis em relação aos modelos de aeronaves. a) Contribuição das variáveis para a primeira componente. b) Contribuição das variáveis para a segunda componente. c) Contribuição das variáveis considerando ambas as componentes.

A figura 9-a mostra as variáveis mais representativas que foram retidas na CP1, ou seja, as variáveis mais importantes encontradas para essa componente. A figura 9-b mostra as variáveis que mais contribuíram para a CP2 e a figura 9-c mostra o conjunto de variáveis responsáveis pela discriminação das variáveis mais importantes ao considerarmos as duas componentes de maneira conjunta. Por exemplo, a taxa de aplicação e faixa efetiva foram as variáveis mais importantes, independente da componente que estamos avaliando.

Tabela 7. Autovalores, quantidade de variância explicada, coeficientes de correlação e autovetores entre as variáveis estudadas para as duas componentes principais.

Componentes	CP1		CP2	
Autovalores	2,48		1,59	
Variância explicada (%)	41,32		26,55	
Variância cumulativa (%)	41,32		67,87	
Correlação (autovetor)				
Velocidade	-0,64	(-0,41)	0,69	(0,54)
Faixa efetiva	-0,79	(-0,50)	0,53	(0,42)
CV	-0,38	(-0,24)	0,07	(0,06)
Taxa de aplicação	0,80	(0,51)	0,53	(0,42)
Altura	0,30	(0,19)	0,67	(0,53)
Uso envergadura	0,75	(0,48)	0,34	(0,27)

Neste estudo, foram considerados os dois primeiros componentes principais, CP1 e CP2, cujos autovalores são superiores à unidade e, portanto, indicados para a interpretação dos dados (Kaiser, 1958). Em outras palavras, foram considerados os autovalores superiores a 1. A representação bidimensional explicou aproximadamente 68% da variância total das variáveis originais (Tabela 7). O poder discriminatório de cada variável dentro do componente é medido pelas correlações lineares entre cada variável e o respectivo componente principal. No primeiro componente principal e por ordem de importância, as variáveis que apresentaram maiores coeficientes de correlação e autovetores foram: faixa efetiva (-0,79), taxa de aplicação (0,80) e uso envergadura (0,75), sendo responsáveis por explicar aproximadamente 41% da variância dos dados, indicando que essas variáveis exercem muita influência sobre os modelos de aeronaves. A CP2 representou 26,6% da variabilidade dos dados e foi melhor descrita pelas variáveis velocidade (0,69) e altura (0,67), sendo ambas diretamente associadas, ou seja, à medida em que houver aumento na velocidade, provavelmente ocorrerá um aumento de altura.

Segundo Zhang et al. (2015), a largura da faixa de deposição é significativamente influenciada pela altura de voo e tamanho de gotas. Sabendo que a velocidade está totalmente ligada a formação do tamanho de gotas, ou seja, quando maior a velocidade menor os tamanhos de gotas e possivelmente maior a faixa efetiva de deposição.

Sabendo que a velocidade é constante para o mesmo modelo, mas diferente entre os modelos de aeronaves, nesse sentido também se inclui o uso da envergadura, taxa de aplicação e outras variáveis. Por isso, a velocidade assim como qualquer outra variável não pode ser isolada, ao utilizar análise de componentes principais. A análise de componentes principais leva em consideração todas as variações envolvidas no processo e estuda todas elas em conjunto.

Segundo os resultados obtidos, o aumento da faixa de deposição tem relação negativa com a taxa de aplicação, ou seja, quanto menor a taxa de aplicação maior a faixa efetiva de aplicação, isso ocorre pelo objetivo de garantir uma correta cobertura do alvo. Para Matthews, (2014) explicam que para a escolha correta da taxa de aplicação, deve-se observar os fatores da especificidade do produto fitossanitário e das condições meteorológicas ideais para a aplicação.

As relações e interações das variáveis com os tratamentos é apresentada pela análise de componentes principais (CP1 e CP2) das relações entre as variáveis e a contribuição dentro dos grupos de aeronaves avaliados (Figura 10).

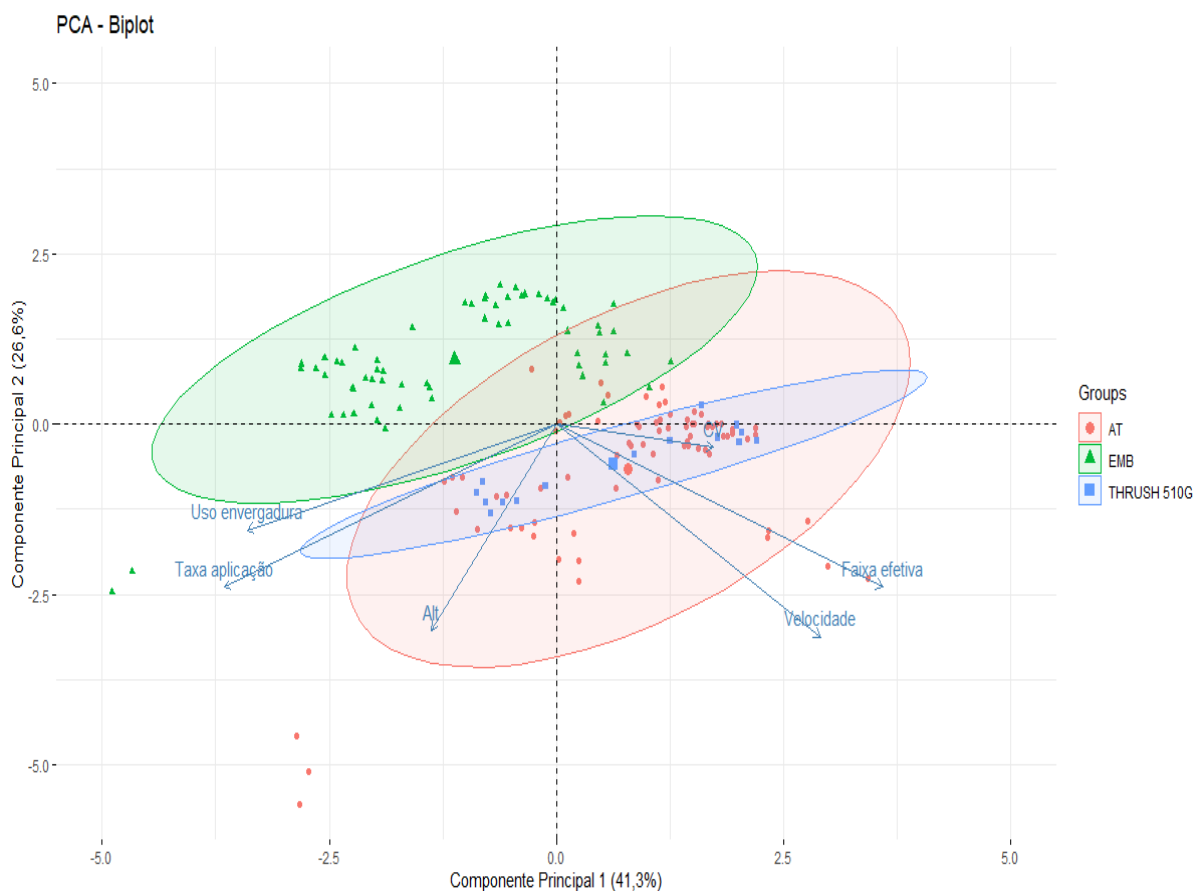


Figura 10. Representação bidimensional da Análise de Componentes Principais (CP 1 e CP 2). Velocidade (km/h), Faixa Efetiva (metros), Altura (metros), Uso da Envergadura (%), Taxa de Aplicação (L/ha) e Coeficiente de Variação (%).

No gráfico da PCA é observado a correlação entre as variáveis, independente do quadrante, aquelas que estão próximas são correlacionadas positivamente, as que estão em quadrantes opostos, são correlacionadas negativamente, e aquelas que formam um ângulo próximo a 90 graus, tem pouca correlação.

CP1 é o primeiro componente principal e ele captou a maior parte da variabilidade do conjunto de dados. Ele pode ser interpretado como um índice de contraste entre grupos de variáveis, ou seja, o grupo de faixa efetiva versus o grupo de taxa de aplicação e uso envergadura. Quanto mais próximo o feixe da variável ao eixo, maior é o poder discriminatório da variável.

Agora podemos interpretar quanto aos grupos, ou seja, os grupos AirTractor 502 (AT-502) e Thrush 510G (TH-510G) mostraram maior associação com as variáveis faixa efetiva, velocidade e coeficiente de variação (CV%) e o grupo de aeronaves do modelo Ipanema 202 (EMB) está mais associado às características uso envergadura, altura e taxa de aplicação. Para as aeronaves do modelo Ipanema 202 (EMB), por ser uma aeronave de menor velocidade e menor capacidade de carga, as variáveis taxa de aplicação e uso da envergadura torna-se bastante evidente, esse modelo de aeronave é mais utilizada em áreas menores por apresentar menores custos operacionais.

As aeronaves do modelo AT-502 e TH-510G por serem de porte maior e conseqüentemente, apresenta maior velocidade e faixa efetiva. Teoricamente, quanto maior é a envergadura da aeronave maior poderá ser a faixa de deposição, isso no primeiro momento e essa abertura pode ser equalizado em segundo momento conforme a configuração nela ajustada (CARVALHO et. al, 2020).

Em relação elipse de confiança, que são os círculos que circulam um determinado grupo de amostra ou pontos, ela representa 95% de chance de repetir a amostras e o avião se encontre em algum desses pontos e estar dentro do mesmo círculo novamente. Portanto, quanto menor a elipse de confiança menor será a dispersão dos dados da aeronave.

Uma variável importante é a coeficiente de variação (CV%), que condiz com a qualidade de aplicação desses modelos de aeronaves. Todos os resultados utilizados para essa variável estavam dentro do limite aceitável de 20% (Parkin & Wyaat,1982), por conta disto a mesma não apresenta grande relevância nos componentes principais.

O Biplot (Figura 10) mostra a formação de três grupos distintos, em função dos modelos de aeronaves. É possível observar que o grupo relacionado aos modelos de aeronaves Ipanema 202 (EMB) é o mais distinto quando comparado com os modelos AirTractor 502 (AT-502) e Thrush 510G (TH-510G). Em contrapartida, as observações do modelo TH-510G, estão concentradas predominantemente próximas ao modelo AT-502, sugerindo maior semelhança entre as características desses modelos.

Nos grupos do modelo AT-502 e TH-510G, a variável CV% se apresenta com maior importância, demonstrando uma melhor qualidade de aplicação de acordo com

suas faixas efetivas. Como as aeronaves voam em velocidade praticamente constante, e não sofrem com as influências do terreno como umidade ou irregularidades a aplicação aérea possui uma uniformidade de aplicação excelente. (ARAUJO, 2015).

Em relação a variável altura de voo, as aeronaves do modelo AT-502 e TH-510G, apresentou maior relação, por conta de sua maior envergadura de asa. Outro possível posicionamento é em relação a aplicação utilizada em cada modelo, sendo esses modelos mais utilizados em grandes extensões de áreas e com a taxa de aplicação maior, para compensar a cobertura do alvo aumenta a altura de voo, assim aumentando relativamente a faixa efetiva.

4 Conclusões

As variáveis a velocidade de voo, altura de voo, uso da envergadura, taxa de aplicação, faixa efetiva de deposição, coeficiente de variação se apresentam como funcionais para análise multivariada de componentes principais para os modelos de aeronaves.

O modelo de aeronave Ipanema 202 (EMB-202), apresenta uma maior relação com as variáveis taxa de aplicação e uso da envergadura. Isto devido ao seu uso em menores áreas e sua utilização em culturas que utilizam maiores quantidades de água para o correto controle do alvo.

Os modelos AirTractor 502 (AT-502) e Thrush 510G (TH-510G), apresenta maiores relações com as variáveis velocidade, faixa efetiva e coeficiente de variação. Isto devido ao seu grande rendimento operacional e capacidade de hooper.

Cada modelo de aeronave deve ser utilizado de acordo com suas funcionalidades e capacidades operacionais, mais variáveis devem ser analisadas, assim obtendo os melhores resultados nas aplicações.

5 Referências

- ARAÚJO, E. C; GONTOW, M. **Estudo do mercado da aviação agrícola**. Botucatu:Agrotec; Embraer, 1993.
- ARAUJO, Eduardo Cordeiro de. **Vantagens principais da aplicação aérea**. 2015.
- CARVALHO, F. K; et al. Challenges of aircraft and drone spray applications. **Outlooks on Pest Management**, v. 31, n. 2, p. 83-88, 2020.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, p.10-15, jan. 2007.
- CONTIERO, R.L.; BIFFE, D.F.; CATAPAN, V. **Tecnologia de Aplicação**. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. *Hortaliças-fruto* [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 401-449. ISBN: 978-65-86383-01-0.
- HAIR, J. F., BLACK, C. W., BABIN, B.J., ROLPH, E. A., RONALD, L. T. Análise multivariada de dados. **Bookman editora**, 2009.
- HEWITT, A. J.; D. JOHNSON, R.; FISH, J. D.; HEMANSKY, C. G.; VALCORE, D. L. Development of the spray drift task force database for aerial applications. **Environmental Toxicology Chemistry**. v. 21, n. 3, p. 648-658, 2002.
- Kaiser, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, **Urbana**, v.23, n.3, p.187-200, 1958.
- KOSUSKO, M. K.; BIRCHFIELD, B. N.; HEWITT, A. Development of a test plan to verify pesticide drift reduction technologies. **Transaction American Society of Agricultural Engineer** Paper No. 061010. St. Joseph, Mich. ASABE, 2006.
- MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Aerial Application**. John Wiley & Sons, Oxford-UK, 2014. p. 299-335.
- SAYLES, G.; N. BIRCHFIELD.; ELLENBERGER, J. US EPA's research proposal for encouraging the use of spray drift reduction technologies. In **Proc. Int. Conf. on Pesticide Application for Drift Management**, 204-209. Waikoloa, Hawaii. 2004.
- MONTEIRO, M. V. de M. **Compêndio de aviação agrícola**. Gráfica e Editora Cidade: Sorocaba-SP, 2006. 298p.
- ZHANG, D. et al. Evaluating effective swath width and droplet distribution of aerial spraying systems on M-18B and Thrush 510G airplanes. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 2, p. 21-30, 2015.

CAPÍTULO 4 – Considerações Finais

O aumento da produtividade das culturas é impulsionado pelo gerenciamento das atividades desenvolvidas no campo, visando a otimização do processo produtivo e é ferramenta indispensável para o desenvolvimento sustentável dos sistemas de cultivo.

Da mesma forma, os produtores estão cada vez mais preocupados com o rendimento operacional dos pulverizadores, ou seja, obter maior área tratada em um curto espaço de tempo com o objetivo de controlar a rápida propagação das pragas, doenças e plantas daninhas. E uma das formas de alcançar esse rendimento é a utilização da aeronave agrícola como ferramenta de aplicação, a qual está se tornando cada vez mais importante no setor agrícola do país. Nesse contexto, o uso correto da tecnologia de aplicação aérea é essencial para otimizar o trabalho dessa modalidade de aplicação, assim, favorecerá o sucesso do controle fitossanitário e protegerá efetivamente o meio ambiente.

Para se obter uma faixa efetiva satisfatória, deve-se inter-relacionar-se os parâmetros operacionais de cada modelo de aeronaves agrícolas.