

# VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO DE BAIXO CUSTO PARA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA E DE INSETICIDAS

Bruno Roberto de Carvalho, Murilo Henrique de Oliveira, Tiago Nael da Cunha,  
Orientadora: Profª. Luciene Chagas de Oliveira  
Universidade de Uberaba (UNIUBE)

## 1. INTRODUÇÃO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou *drones*, como foram popularizados, foram inspirados nas bombas alemãs V-1 E V-2, empregadas na segunda guerra mundial. Inicialmente eram utilizados em missões militares, e atualmente utilizados em atividades civis de diversas áreas (CORREA, 2017).

O uso de *drones* é regulamentado, seguindo os mesmos princípios de segurança impostos a aeronaves tripuladas, bem como probabilidade mínima de falhas, responsabilidade de danos a terceiros e demais regras aplicáveis (MARINHO, 2019).

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), em maio de 2017, aprovou o regulamento para uso de *drones* definido de acordo com o peso do VANT, a altitude permitida para voo e, se há necessidade de: cadastro na ANAC, portar habilitação e a idade mínima para pilotar (ANAC, 2019).

Assim como em diversos setores, em que se pode fornecer mais agilidade, redução de custos e facilidade de acesso, os *drones* são utilizados na agricultura, para pulverização em grandes plantações. Geralmente, são utilizados *drones* de grande porte, sendo opções caras e com alto custo de manutenção que se tornam inviáveis para atividades de menor demanda.

Neste contexto, são analisadas as dificuldades encontradas pelos agentes de zoonoses para o desempenho de suas funções em áreas de difícil acesso, e que atualmente não possuem recurso semelhante. Além disso, este projeto visa a minimização das

dificuldades para se chegar a determinados locais, que os métodos utilizados atualmente apresentam dificuldades apresentando um processo com partes burocráticas, treinamentos, uso de vários equipamentos de proteção e máquinas para aplicar o fluido, além de ser necessário que o ser humano esteja próximo para a pulverização, expondo-o a outros riscos, como uma queda, por exemplo. Assim, surge a necessidade de desenvolver uma forma de contribuir para melhoria deste processo, por meio da tecnologia e automação, atendendo as diversas necessidades encontradas nessa atividade.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um *drone* pulverizador de baixo custo, tendo como base os *drones* utilizados para pulverização em grandes plantações na área da agricultura. O *drone* pulverizador, de pequeno porte, desenvolvido neste trabalho, surge como alternativa viável tanto para pulverização de inseticidas no controle de zoonoses, quanto para a pulverização em lavouras de pequenos produtores, abrangendo, desde benefícios sociais, como o controle de endemias até financeiros, como a diminuição do prazo que um ser humano necessita para realizar a aplicação de defensivos agrícolas de forma manual.

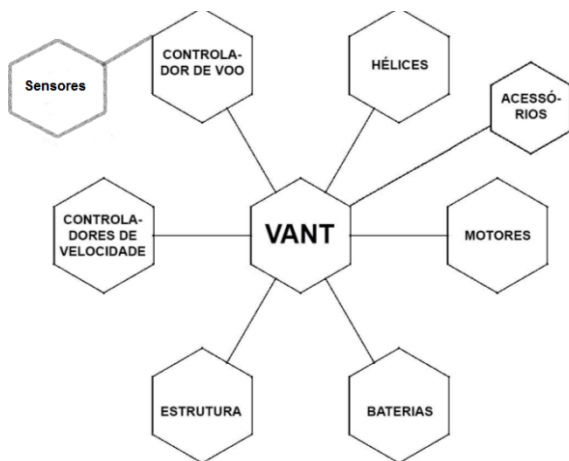
Para viabilizar o projeto e diminuir os custos, tanto do valor comercial do *drone*, como o de manutenção, optou-se por reduzir o tamanho do mesmo. No desenvolvimento do veículo aéreo foram realizados diversos estudos envolvendo aerodinâmica, eletrônica, mecânica, mecatrônica e aeronáutica.

## 2. DRONE PULVERIZADOR

### 2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No projeto de um VANT existem 6 componentes principais que devem ser detalhados e selecionados para se integrar uma aeronave funcional: estrutura, motores, hélices, controladores de velocidade, controlador de voo e baterias. A Figura 1 mostra o conjunto de componentes opcionais descritos nesta seção.

Fig. 1. Conjunto de componentes que compõe um VANT (DEMOLINARI, 2017)



#### A. Estrutura

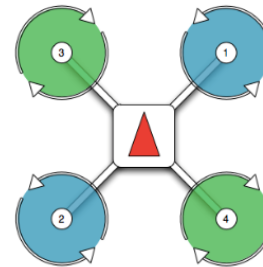
A estrutura básica do corpo do *drone* é formada por uma região central, onde é acoplado o controlador de voo, sensores, bateria, o reservatório do fluido e a bomba. Também faz parte da estrutura os braços que, em suas extremidades, são fixados os motores e, em sua extensão, os controladores de velocidade. A Figura 2 ilustra o formato simétrico quadrangular do corpo da aeronave (DEMOLINARI, 2017).

#### A. Motores

Neste projeto, foi utilizado um motor 13t 1000kv Drone F450 Outrunner Brushless Aeros que tem rotação de 1000 giros por minuto por volt, o que significa que, por exemplo, aplicando 2 volts, a rotação é de 2000 giros por minuto (TRINDADE, 2009). Somando a força dos motores e levando em

consideração que o peso ideal para voo é metade da capacidade do motor, os quatro motores são capazes de levantar 1,6Kg.

Fig. 2. Estrutura do quadrotor do corpo da aeronave (DEMOLINARI, 2017)



#### B. Hélices

Em se tratando de aviões, a eficiência de uma hélice é a razão entre força colocada e resultado obtido. Em termos de eficiência, a força colocada é a força que o motor precisará fazer para girá-la. Quanto mais força o motor fizer, maior será o consumo da bateria (MOLINA, 2019).

No projeto foram utilizadas hélices de 10 polegadas de diâmetro e 4,5 polegadas de passo teórico. Um passo maior gera propulsões maiores, exigindo mais torque do motor, consumindo mais bateria, um passo menor acarretaria em maior velocidade nas manobras, podendo causar instabilidade.

#### C. ESC

ESC é um componente que controla a velocidade de um motor eletrônico por meio de uma tecnologia conhecida como "PWM" (*Pulse-Width Modulation*), referindo se ao controle da largura de pulsos que, em frequências altas, pode gerar sinais de maiores ou menores voltagens (HUGES, 2013).

Os dados de entrada são fornecidos pelo controlador de voo, que são calculados pelos ESC's com a finalidade de ajustar a velocidade de cada motor que será convertido em informação de saída, proporcionando a estabilização da aeronave, fazendo com que cada motor gire em sincronia com os demais.

#### D. Bateria

As principais características de uma bateria que se deve levar em consideração, na replicação do projeto, são: carga, taxa de descarga, número de células e peso. A carga mede a quantidade de energia armazenada nas células da bateria e a unidade de medida é o ampere-hora. A taxa de descarga mede a corrente que a bateria é capaz de fornecer e é tratada pelos fabricantes pela designação C, por exemplo, uma bateria de 1000mAh e 2C seria capaz de fornecer uma corrente máxima de 2000mA. O número de células refere à quantidade de pequenas baterias contidas no conjunto (DEMOLINARI, 2016). A bateria utilizada neste projeto foi uma lipo (3S) de 2800mAh e 30C. Quando a bateria atinge a carga baixa, um alarme é disparado para evitar a queda do *drone* por falta de bateria.

#### E. Equipamento de pulverização

No protótipo, para pulverização foi utilizado um reservatório de 500 ml e uma bomba de aquário, visto que o peso total dos componentes resultou em 1,1Kg, e a carga máxima para os motores é de 1,6Kg.

#### F. Controlador de voo

A placa controladora Arduino UNO foi utilizada no projeto para realizar as programações de controle de voo, acoplada a um sensor de acelerômetro e um giroscópio.

O acelerômetro e o giroscópio têm função de estabelecer uma posição no plano, e estabilizar o *drone* nesta posição, definida através de calibragem realizada através de *software* disponibilizado pelo fabricante da placa Arduino, com o intuito de definir os sentidos do *drone*.

#### G. Movimentação

A movimentação do drone ocorre de acordo com a variação de velocidade dos motores.

##### 1) Hover

Nesse modelo as hélices giram na mesma velocidade, de modo a deixar o drone estacionado no ar.

##### 2) Throttle

Movimento obtido mediante a variação da velocidade das hélices simultaneamente, sendo responsável pelo movimento vertical do quadricóptero.

##### 3) Roll

Para esse movimento, é necessário alterar as velocidades das hélices simultaneamente. Se as hélices da direita ou da esquerda diminuem a rotação, o *drone* é guiado para o lado que tiver a rotação mais baixa.

##### 4) Pitch

Similar ao *Roll*, modifica as velocidades das hélices simultaneamente, mas, neste caso, são as frontais e traseiras, definindo o movimento para frente e para trás.

##### 5) Yaw

Responsável por fazer o *drone* girar sobre o seu próprio eixo. Este movimento é obtido enviando para dois ESC's, valores positivos e negativos para os outros dois ESC's, tornando a aceleração angular sobre o eixo de rotação diferente de zero.

#### H. Rádio controle

Para o uso de um *drone* multi-rotor, são necessários no mínimo quatro canais que executam os movimentos básicos de rolagem, arfagem, guinada e aceleração dos motores (translação vertical). Neste trabalho foi utilizado o modelo Rádio Turnigy com 6 canais digitais tgy-i6 2,4GHz (Figura 3), dos quais foram utilizados 5 canais, além dos canais de movimentação simples, um canal para o acionamento da bomba de pulverização.

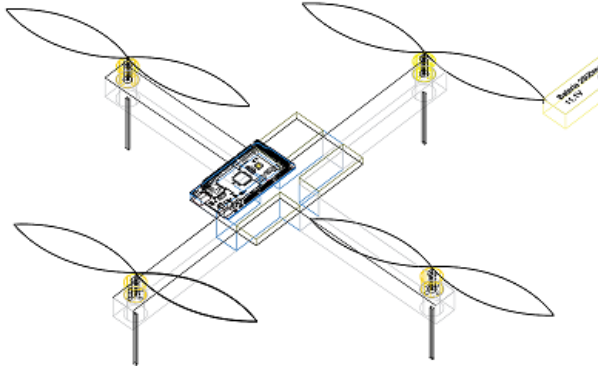
Fig. 3. Controle de Radio para o Drone



## 2.2. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma modelagem 3D do veículo aéreo na ferramenta Autocad, conforme ilustrado na Figura 4.

Fig. 4. Vista isométrica do *drone* no Autocad.



Posteriormente, foi montada uma maquete utilizando materiais recicláveis, ilustrada na Figura 5.

Fig. 5. Montagem da maquete a partir de materiais recicláveis.



Finalmente, o *drone* foi montado utilizando os componentes mostrados na Figura 5. A localização das peças, alinhamento e angulação entre os braços são de importantes. Nesse sentido, o componente que exige mais atenção é o acelerômetro e giroscópio, que devem estar posicionados no centro e direcionados para a parte frontal do *drone* (DRONE, 2019).

Para este projeto, considerando a potência dos motores, peso do *drone* e tamanho das hélices, os motores foram fixados com distância de 45 cm, a partir dos eixos de rotação. Os controladores de velocidade

foram presos no ponto médio entre o centro do *drone* e o eixo de cada motor.

Na interconexão dos componentes à bateria, foi utilizada uma unidade de distribuição de energia, que permite, através de conectores não soldados, maior facilidade na troca de componentes. A Figura 6 mostra o posicionamento da bateria e dos ESC.

Fig. 6. Posicionamento da bateria e dos ESC.



A placa Arduino UNO, foi fixada na parte central superior, juntamente com o receptor do rádio controle, e a placa de alimentação. A bateria, e o sistema de pulverização foram fixados na parte central inferior. A Figura 7 mostra o *drone* montado contendo os componentes descritos anteriormente.

Fig. 7. Drone pulverizador.



A redução do tamanho do *drone* resultou em uma baixa de custos de quase 99%, no mercado encontramos *drones* pulverizadores com preços acima de R\$52.000,00 [10], e o *drone* desenvolvido neste trabalho teve custo de R\$600,00. Além disso, o drone pulverizador deste projeto tem autonomia de voo de 15 a 20 minutos até a próxima

recarga e um alcance de 1500 metros de distância do usuário.

## 2.3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

### A. Programação

O programa que é carregado para a placa Arduino, é chamado *sketch*, e através da configuração feita em cada *sketch* e que possibilita ter vários tipos de comandos. Foram utilizados três *sketch*'s no projeto, um para configuração do rádio controle com o acelerômetro e giroscópio, outro para a configuração dos ESC e o último para configuração de voo (BROOKING, 2019).

### B. Calibragem do rádio controle, acelerômetro e giroscópio

Na calibragem do rádio controle, do acelerômetro e giroscópio, com a placa Arduino conectada ao computador através do seu *software* de programação, é possível fazer as configurações do controle, visualizando as informações no monitor do programa, que informa qual *stick* (alavanca do controle) mover no rádio controle. É solicitada a movimentação para a posição máxima, para cada posição dos *sticks*, depois é feita a configuração do acelerômetro e giroscópio, movimentando quarenta e cinco graus para cada direção, vertical e horizontal.

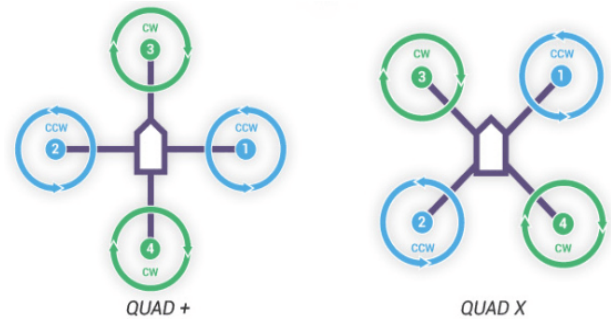
### C. Software controlador de voo

O *Sketch* de configuração de voo, quando carregado para a placa, dispensa a conexão com o computador. Nos primeiros segundos, o acelerômetro e giroscópio é calibrado conforme a “Calibragem do radio controle, acelerômetro e giroscópio”, levando em consideração o ângulo da plataforma que em que o *drone* está posicionado. Este é o *sketch* que possui a configuração para receber e enviar os comandos para os componentes de acordo com o que foi calibrado com os *sketch*'s anteriores.

### D. Rotação dos motores e direcionamento do drone

Com relação ao sentido de rotação dos motores, dois devem girar no sentido horário, e os outros dois no sentido anti-horário. Cada motor produz um empuxo e o torque sobre seu centro de rotação, bem como uma força de arrasto oposta à direção do veículo de fuga. Se todos os motores giram na mesma velocidade angular, com os motores um e três girando no sentido horário e os motores dois e quatro anti-horário, haverá torque líquido aerodinâmico e, conseqüentemente, a aceleração angular sobre o eixo de rotação é exatamente zero, o que implica que a guinada do rotor de estabilização de helicópteros convencionais não é necessária, conforme a Figura 8, a inversão de direção dos motores deve ser intercalada (STUDART, 2015).

Fig. 8. Esquemática do sentido de funcionamento dos motores [10]



### E. Resultados

Foram realizados diversos testes em um ambiente agrícola de pequeno porte e em locais de difícil acesso para pulverização de inseticidas.

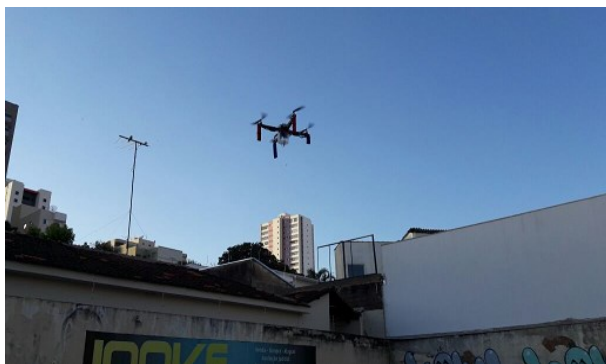
A Figura 9 mostra um dos testes realizados com o *drone* em movimento em uma área agrícola.

Fig. 9. Testes com o drone pulverizador em área agrícola.



A Figura 10 mostra testes realizados em uma área de difícil acesso para pulverização de inseticidas e controle de zoonoses.

Fig. 10. Testes com o *drone* para pulverização de inseticidas.



A distância máxima de alcance para o *drone* é de 1500 metros.

### 3. CONCLUSÕES

O objetivo de viabilização da pulverização, utilizando *drones* para atividades de menor demanda de capacidade de armazenamento foram atingidos. Neste projeto foi construído e testado um veículo aéreo de baixo custo para pulverização de inseticidas e para a agricultura de pequeno porte.

Não foram encontrados veículos aéreos não tripulados de baixo custo para pulverização agrícola e nem para pulverização de inseticidas e controle de zoonoses.

Pretende-se, como trabalhos futuros, inserir este projeto como produto comercial no mercado.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor. Acessado em 10 de Junho de 2019, em: [http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release\\_drone.pdf](http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf).

BROOKING J. Project YMFC-AL - The Arduino Auto-Level Quadcopter. Acessado em: Junho de 2019, disponível em [http://www.brokking.net/ymfc-al\\_main.html](http://www.brokking.net/ymfc-al_main.html).

CORREA M.A. Corrêa. Modelo de Veículos Aéreos não Tripulados Baseado em Sistemas Multi-Agentes. Tese de doutorado apresentada ao curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

DEMOLINARI H. C.. Projeto de Construção um Drone Hexacóptero. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Fluminense, 2016.

DRONE. Drone Center Tecnologia, Drone Pulverizador. Acessado em Julho de 2019, disponível em: <http://www.dronecenter.com.br/drone-pulverizador>.

HUGES A. e DRURY B. *Electric Motors and Drive*. Newnes, 4ª Edição, Amsterdam, Boston, Heidelberg, Londres, Nova York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo, 2013.

MARINHO D. Marinho (2015), Autorizações Para Voos de Vant, Entenda Melhor. Acessado em 28 de maio de 2019, em: [https://www.decea.gov.br/?i=midia-e-informacao&p=pg\\_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor](https://www.decea.gov.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor).

MOLINA M. Como Montar um Drone Você Mesmo - Hélices. Acessado em Junho de 2019. Disponível em: <http://www.molrc.com/?p=1222>.

STUDART A. (2015), Quadricópteros, Aprenda um pouco mais sobre esta maravilhosa máquina. Acessado de junho de 2019, disponível em: <http://blog.opovo.com.br/asaseflaps/quadricopteros-aprenda-um-pouco-mais-sobre-esta-maravilhosa-maquina/>.

TRINDADE R. H. Estudo de Máquinas Elétricas não Convencionais: Motor Brushless DC. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.