

ANTEPROYECTO MECÁNICO DE MULTIROTOR AGRÍCOLA PULVERIZADOR

PRELIMINARY MECHANICAL DESIGN FOR AGRICULTURAL SPRAYING MULTIROTOR

Fecha de Recepción : 30/11/2021
Fecha de Aprobación : 10/12/2021
Fecha de Publicación : 06/06/2022

DOI: <https://doi.org/10.26495/icti.v9i1.2166>

 Fabio de Paula Oliveria Fonseca¹

 Leonardo Maciel Costa²

 Felipe Diogo Lima dos Santos³

 Angie Lizeth Espinosa Sarmiento⁴

 Diego Mauricio Yepes Maya⁵



Resumen

El concepto de agricultura de precisión surgió con el uso de técnicas avanzadas y tecnológicas en el manejo de cultivos. La tecnología, cuando se usa correctamente, promueve una mayor seguridad y productividad. Reconocer el área plantada y tratar cada lugar según sea necesario es una de las ventajas que la tecnología ofrece al campo. Una de las actividades que se llevan a cabo en el tratamiento de varios cultivos es la pulverización de fertilizantes, donde el uso de aeronaves pilotadas a distancia es una forma de implementar tecnología, controlar la actividad y proteger a las personas frente a productos tóxicos. Este trabajo desarrolla el diseño mecánico preliminar de una aeronave de fuente de energía híbrida para pulverización, utilizando gasolina como combustible. Las principales ventajas de un sistema de energía híbrido son que no requiere el uso de múltiples baterías y el reabastecimiento rápido reemplaza una carga eléctrica. Se creó un modelo pequeño para cumplir con su actividad sin generar dificultades en la formación de pilotos a distancia y normativa legal.

Palabras Clave: Agricultura de precisión, pulverizador UAV (vehículo aéreo no tripulado), RPA agrícola (aeronave pilotada a distancia), multirotor híbrido.

Abstract

The concept of precision agriculture arose with the use of advanced and technological techniques in crop management. Technology, when used correctly, promotes increased safety and productivity. Recognizing the planted area and treating each location as needed is one of the advantages that technology offers to the field. One of the activities carried out in the treatment of several crops is the spraying of fertilizers, where the use of remotely piloted aircrafts is a way to implement technology, control the activity and protect people against toxic products. This work develops the preliminary mechanical design of a hybrid power spray aircraft, using gasoline as fuel. The main advantages of a hybrid power system are that it does not require the use of several batteries and that it is quickly refueled, replacing an electrical charge. A model was proposed to fulfill the spraying activity without difficulties in remote pilot training and legal regulations.

¹ Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Itajubá, Brazil, fabiofonseca@unifei.edu.br

² Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Itajubá, Brazil, leomaciellc@unifei.edu.br

³ Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Itajubá, Brazil, felipedioغو@unifei.edu.br

⁴ Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Itajubá, Brazil, angieespinosa@unifei.edu.br

⁵ Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Itajubá, Brazil, diegoyepes@unifei.edu.br

Keywords: Precision agriculture, sprayer UAV (Unmanned Aerial Vehicle), agricultural RPA (remotely piloted aircraft), hybrid multirrotor.

1. Introducción

Al igual que en la industria, los productores del sector agrícola también dependen de la mejora continua de la producción para mantener la competitividad comercial y la rentabilidad. Con la evolución de las técnicas de cultivo y la asociación con la tecnología, surgió el concepto de agricultura de precisión: un concepto amplio asociado al reconocimiento de la no uniformidad del área cultivada y de los cultivos, así como las técnicas de manejo más avanzadas (Tschiedel & Ferreira, 2002).

Entre los avances incluidos en el concepto de agricultura de precisión se encuentra el intenso control de la producción, desde la pre-siembra hasta la cosecha. Según Rodrigues e Barros (2019), los vehículos aéreos no tripulados son herramientas que contribuyen a la prevención de daños a los cultivos, actuando con teledetección. Según Bernardi et al. (2014), una RPA (aeronave pilotada a distancia) es capaz de reconocer plagas y monitorear la salud de la plantación con la ayuda de cámaras multispectrales.

Además de evaluar visualmente el área cultivada, las RPA se pueden utilizar para rociar fertilizantes foliares o pesticidas contra plagas: una tarea fundamental en muchos cultivos. Según Bernardi et al. (2014), para trabajar de acuerdo con la agricultura de precisión, es necesario obtener datos que detecten variabilidad espacial, ya que el área cultivada no es uniforme. Así, cada región localizada exige un tratamiento diferente; La aplicación de insumos debe realizarse con los productos más adecuados, en la cantidad y el tiempo adecuados. Esta demanda refuerza el potencial de los drones para cumplir con la tarea de aplicar pesticidas, pueden hacerlo siguiendo estrictamente la receta proporcionada por un agrónomo, por ejemplo.

Otras formas recurrentes de dispersión de plaguicidas sobre los cultivos son: manualmente, con el uso de tractores y con el uso de aviones agrícolas. Entre algunos problemas con estos métodos, podemos mencionar que el primero expone al trabajador al contacto directo con productos posiblemente tóxicos; la segunda forma mantiene un estrecho contacto con el operador con los pesticidas y limita el trabajo a los lugares donde el tractor puede acceder; el tercero se caracteriza por una alta deriva (dispersión incontrolada) de productos, que Pignati, Machado y Cabral (2007) lo caracterizan como un potencial de "accidente químico prolongado". De esta forma, se consolida el papel de los drones en la implementación de tecnología en el cultivo y la resolución de múltiples problemas de aplicación.

Es posible notar una amplia variedad de pequeños multirrotores en el mercado que operan con cámaras, pero existe un desafío en aumentar sus dimensiones para que lleven una carga útil de productos fitosanitarios. Jorge y Inamasu (2014) revelan que los drones a batería tienen una autonomía limitada, especialmente cuando se aumenta el peso de despegue, colocando una determinada carga. Con una duración de vuelo corta, es necesario comprar una gran cantidad de baterías para un trabajo continuo. Otro obstáculo es recargar las baterías en el campo; llevar algunas baterías y grupos electrógenos a combustión para cargar se convierte en una tarea costosa, ya que sus usuarios valoran la facilidad de transporte, manipulación y mantenimiento (Slogo, Moraes, & Venturini, 2018).

Dadas las necesidades prácticas y tecnológicas en la pulveización agrícola, se vuelve relevante evaluar posibles soluciones e innovaciones en RPA en este sector. El objetivo de este trabajo es desarrollar un diseño mecánico preliminar de una aeronave de operación práctica, calificada para trabajar según la legislación brasileña vigente, requiriendo poca formación de pilotos. El proyecto debe incluir el marco mecánico, definir los motores de propulsión, especificar la fuente de energía, el peso y la autonomía de la aeronave.

2. Material y métodos

Inicialmente, el objetivo es garantizar que el modelo preliminar proyectado pueda desarrollarse más y entrar en funcionamiento de acuerdo con las normas brasileñas para vehículos no tripulados. Los

organismos reguladores brasileños para RPA de pulverización son: ANAC, DECEA, ANATEL y SINDAG. Las principales regulaciones para el diseño y uso de RPA son el Reglamento de Aviación Civil Brasileña, las instrucciones complementarias E-94 (ANAC), el reglamento ICA-100 (DECEA), además de las resoluciones de ANATEL sobre transmisores de radio.

Como primer paso, se estudian las reglas y requisitos de operación, con el objetivo de determinar el tamaño de la aeronave y requisitos para su operación, principalmente.

El primer paso proporciona al proyecto datos de entrada, uno de los más importantes es el peso de despegue. Teniendo esto, se selecciona el tipo, cantidad y modelo de los motores de propulsión: una de las etapas más importantes del proyecto, ya que proporcionará el rendimiento deseado y tendrá un impacto directo en la duración del vuelo (Sarghini and De Vivo, 2017). En esta etapa se verifica la posibilidad de sustituir las baterías tradicionales por otra fuente de energía y se determina la potencia de la aeronave. Luego, se obtienen la forma y características de la aeronave según Figura 1.

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso



Una vez que se conocen el sistema de propulsión y su fuente de energía, se elabora una lista de los principales componentes del RPA. Posteriormente, se modela un marco mecánico para albergar los elementos descritos, determinando los materiales para la fabricación de cada pieza.

Finalmente, con los componentes principales, sus materiales y pesos, se realiza una simulación por ordenador de la resistencia mecánica, con el fin de optimizar la forma y peso del producto final.

3. Resultados

A partir del estudio de legislación, se decidió seguir el proyecto de un multirrotor clase 3, basado en la normativa ANAC. Esta clase permite el diseño y la documentación simplificados, así como la capacitación remota del operador. La elección se justifica por el objetivo de este trabajo de proponer un dron de operación práctica, con formación de pilotos simplificada.

Para la idoneidad de la clase 3 de ANAC, las principales limitaciones técnicas son: peso de despegue limitado a 25 kg y vuelo dentro del campo de visión del piloto únicamente (ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil, 2017). Por lo tanto, el peso total del producto se definió como 25 kg, contando la carga útil.

Otro punto a observar, además del registro de la aeronave, es la homologación del sistema de radiocontrol. El transmisor puede interferir con otras frecuencias de comunicación, por lo que las características del equipo serán evaluadas por la Agencia Nacional de Telecomunicaciones (ANATEL, 2016).

Para simplificar la operación del equipo en el campo, se intentó eliminar el reemplazo frecuente de baterías. Para solucionar este problema, se optó por embarcar en una unidad de potencia auxiliar (UPA), híbrida. Esta unidad debe tener un motor de combustión acoplado a un generador eléctrico, que suministra energía a los motores de propulsión. De esta forma, la energía (química) del combustible líquido se convertirá en energía eléctrica durante el vuelo.

A partir de esta configuración, se alcanzó el número de cuatro rotores, como equilibrio entre la viabilidad técnica y económica en la fabricación. Los componentes seleccionados para potencia y propulsión se muestran en la tabla 1.

El motor de combustión adoptado fue gasolina, de dos tiempos, con un bloque de aleación de aluminio. Este tipo de motor muestra un buen rendimiento y se eligió sobre el motor GLOW ya que el combustible de metanol es caro y peligroso. El modelo especificado en la tabla 1 fue tal que suplió la demanda de propulsión, estimada en 3kWe, determinada a través de los datos del fabricante basados en el peso de despegue establecido. Se consideró una eficiencia del alternador eléctrico del 70%, incluida la rectificación de voltaje alterno a continuo.

Tabla 1

Componentes de potencia y propulsión

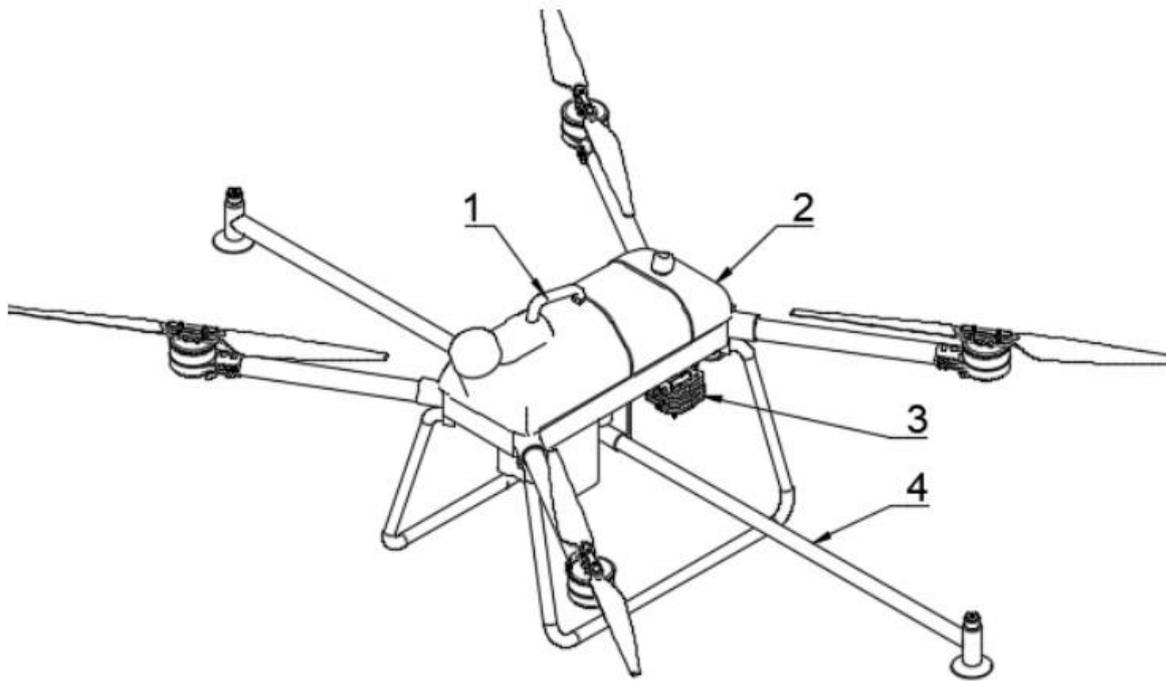
Elemento	Cantidad	Especificación
Motor de propulsión	4	Brushless 8020
Hélice	4	3090
Motor de combustión	1	Motor DLE85cc

Por seguridad, también se consideró el uso de baterías, que deben estar permanentemente en el dron, para amortiguar las fluctuaciones en la demanda y generación de energía, así como para servir como fuente de alimentación redundante en caso de falla del UAP. La capacidad de la batería debe ser mínima para garantizar la energía necesaria para un aterrizaje de emergencia.

Para albergar todos los componentes, se modeló la estructura mecánica y el diseño del equipo que se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Multirotor agrícola – visión general

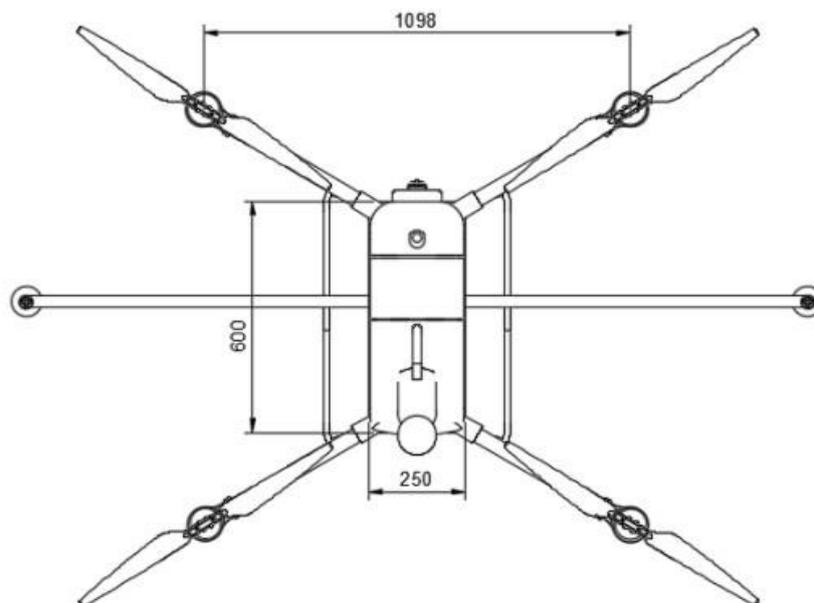


En la figura, el elemento 1 es el tanque de entrada; 2 es tanque de combustible; Unidad de potencia auxiliar 3 y kit de 4 pulverizadores.

Las principales dimensiones se pueden ver en la Figura 3.

Figura 3

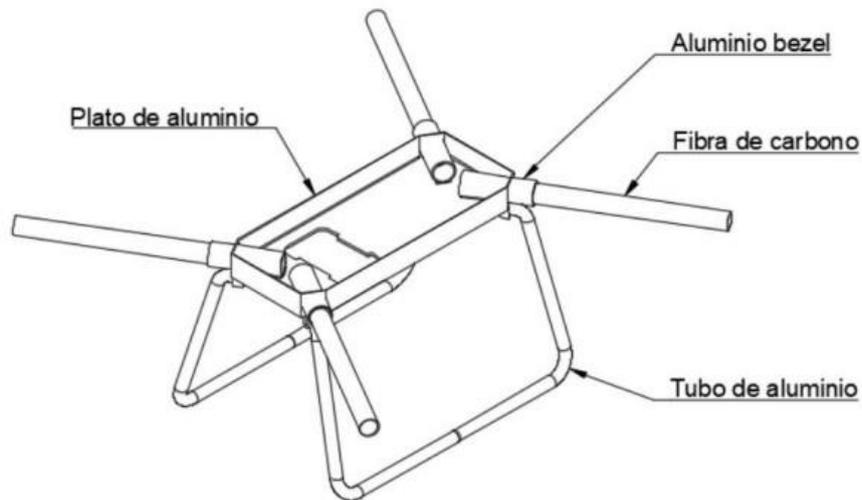
Dimensiones principales (mm)



El montaje del bastidor mecánico se definió mediante láminas de aleación de aluminio 6063, con biseles soldados para tubos de fibra de carbono, que reciben motores de propulsión. El marco debe estar construido íntegramente en aluminio soldado, a excepción de los tubos indicados en la Figura 4.

Figura 4

Detalles de materiales



El bisel que se muestra permite retirar los tubos de carbono para transportar el equipo. La tabla 2 corresponde a la caracterización de los materiales estructurales, todos los cuales se encuentran fácilmente en el mercado.

Para complementar la practicidad en la operación, se creó un accesorio que ayuda en la tarea de suministro de fertilizantes y combustible, contribuyendo a la seguridad del operador y la reducción de residuos: tiempo y fugas de productos durante el suministro. Este accesorio está en patente registrada (Patent No. BR 10 2021 025901 9, 2021).

Una vez que se conocen los componentes principales de la aeronave, se predice el peso de despegue, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 2

Materiales estructurales

Elemento	Dimensión característica	Material
Platos	Espesor: 3mm	Aluminio aleación 1200 H14
Tubo: tren de aterrizaje	D = 25,40 mm d= 19,50 mm	Aluminio aleación 6063-T5
Tubo: bezel	D = 50,80 mm d= 44,45 mm	Aluminio aleación 6063-T5
Tubo: motores	D = 40,00 mm d= 36,00 mm	Fibra de carbono

Para la geometría y materiales elegidos, al final, se obtuvo el peso total de 24.84 kgf; la carga útil es de 6,5 kgf y 1,43 kgf de gasolina (volumen de 2 L).

Tabla 3

Sistemas, componentes y pesos

Elemento	Peso (kgf)
Marco mecánico	4,99
Motores de propulsión	4,16
UAP*	3,42
Pilas	1,15
Tanques*	1,35
Kit de pulverización*	1,34
Electrónica*	0,5
Combustible	1,43
Insumos	6,5
Total	24,84

Según la estimación de potencia del motor DLE 85cc realizada por Zart et al. (2019), la aeronave podría volar durante más de una hora con un tanque de combustible.

Con el fin de garantizar la resistencia y seguridad del modelo, se realizó una simulación estructural aplicando tensiones en la parte del bastidor que soporta las distintas cargas durante el vuelo. La masa de los componentes se distribuyó sobre la plataforma principal y la fuerza de elevación se aplicó a los rotores, simplemente como se muestra en la figura 5.

Aunque la carga más crítica ocurre cuando la fuerza de soporte es máxima, cuando la aeronave acelera, la simulación se realizó estáticamente, fijando el punto central de la estructura. Por lo tanto, la fuerza distribuida sobre el marco mecánico representa la masa y la inercia de los componentes instalados en el mismo.

Figura 5

Fuerza de Sostenimiento

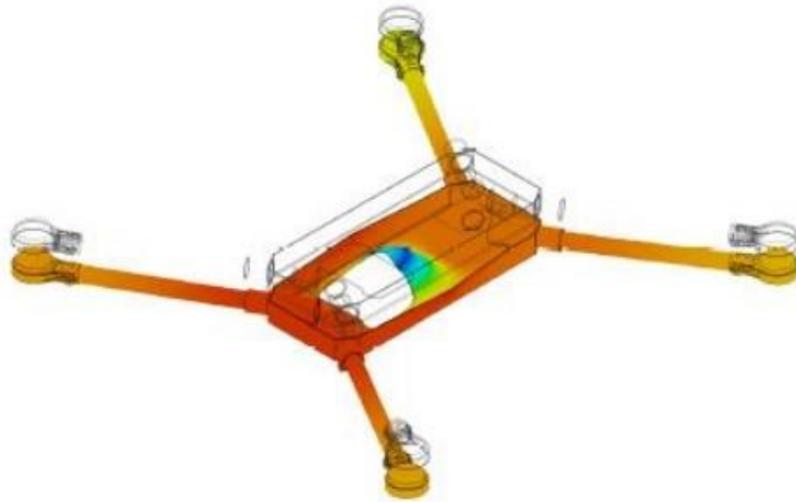


A partir de la entrada al software con la geometría y las cargas, se obtuvieron pequeñas deformaciones, como se muestra punto a punto en la figura 6.

Figura 6

Simulación de deformaciones en vuelo estático

[mm] 0  0.5867

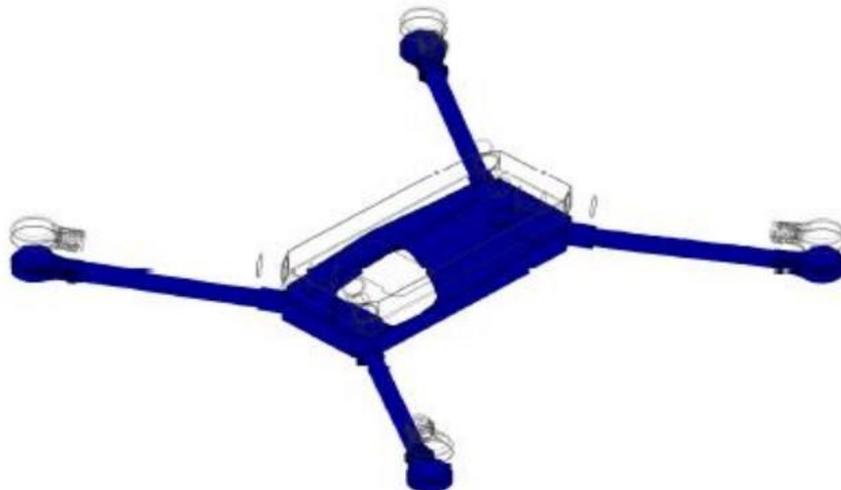


La causa de tal deformación provocó una carga en los materiales con un factor de seguridad cercano a 8 en casi toda la carrocería, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Factor de seguridad en la estructura

0  8



4. Conclusiones

El resultado de la estructura fue bastante robusto, ofreciendo suficiente factor de seguridad para soportar, además de la carga estática esperada, algunos impactos. Claramente se puede observar que el peso estructural podría reducirse sin dejar de preservar la seguridad al reducir el grosor de las placas, pero el mantenimiento del alto factor de seguridad se mantuvo por las razones: Los materiales considerados se encuentran fácilmente en el mercado y de costo reducido; al construir un prototipo, es prudente considerar condiciones de vuelo posiblemente críticas no completamente planificadas.

Se percibe en la distribución del peso que la masa del fertilizante era pequeña en comparación con el total de la aeronave. Esto fue consecuencia de la adición de la unidad de potencia auxiliar con el fin de eliminar la tarea de cambiar las baterías normalmente requeridas en los multirrotores. Por otro lado, incluso con vuelos cortos debido al volumen limitado de insum, es posible realizar vuelos secuenciales con intervalos rápidos. Se espera que aumente la productividad. Alternativamente, se puede considerar disminuir la masa de combustible y aumentar la masa de fertilizante, si las pruebas indican esta viabilidad después de la fabricación del modelo.

En general, la unidad híbrida ofreció energía satisfactoriamente para operar la RPA agrícola por un tiempo mayor al observado con baterías solo, permitiendo varios despegues en secuencia, debido a la mayor concentración de energía por peso de gasolina. Por tanto, satisface el objetivo de ser una aeronave de uso práctico, sin necesidad de cursos avanzados de especialización de piloto, ya que es apto como RPA Clase 3 por ANAC.

Para el pulverizador, se proporcionaron una bomba de diafragma, un caudalímetro y dos difusores centrífugos. La bomba es capaz de ofrecer un caudal ajustable de acuerdo con la deposición requerida en la planta y la velocidad de vuelo del dron, con la ayuda del monitoreo realizado por el medidor de flujo. Dependiendo de la mezcla de entrada y del alcance deseado para el chorro, los rotores centrífugos pueden cambiar su rotación y ajustar el tamaño de las gotas, inclusive.

5. Referencias

- ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. (2017). Orientações para Usuários de Drones (1a ed). Assessoria de Comunicação Social - ASCOM. Retrieved from https://www.gov.br/anac/ptbr/assuntos/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf
- ANATEL. (2016). Manual de Orientações: Homologação de Drones (Version 2). Retrieved from <https://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=347841&pub=original&filtro=1&documentoPath=347841.pdf>
- BERNARDI, A. C. de C., NAIME, J. de M., RESENDE, A. V., BASSOI, L. H., & INAMASU, R. Y. (2014). Agricultura de Precisão: Resultados de um Novo Olhar.
- Fonseca, F. de P. O., Sarmiento, A. L. E., Maya, D. M. Y., and Martins, G. F. (2021). Patent No. BR 10 2021 025901 9. Brasil.
- Jorge, L. A. C., & Inamasu, R. Y. (2014). Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro técnico-científico (ALICE) (pp. 109–134). Disponible en <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1003485>
- Pignati, W. A., Machado, J. M. H., & Cabral, J. F. (2007). Acidente rural ampliado: O caso das “chuvas” de agrotóxicos sobre a cidade de Lucas do Rio Verde - MT. *Ciencia e Saude Coletiva*, 12(1), 105–114. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100014>
- Rodrigues, S. S., & Barros, M. M. (2019). O Uso de VANT e do Sensoriamento Remoto como Ferramenta de Melhoria das Técnicas de Agricultura de Precisão. *Revista Digital Simonsen* N°10, 61–77.
- Sarghini, F., and De Vivo, A. (2017). Analysis of preliminary design requirements of a heavy lift multicopter drone for agricultural use. *Chemical Engineering Transactions*, 58, 625–630. <https://doi.org/10.3303/CET1758105>

- Slogo, A. G., Moraes, D. D., & Venturini, M. S. (2018). DEFINIÇÃO DE REQUISITOS DE PROJETO PARA UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA (Universidade Federal de Santa Maria). Universidade Federal de Santa Maria. Retrieved from https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/428/2019/07/Relatório_CPIO-II.pdf
- Tschiedel, M., & Ferreira, M. F. (2002). Introdução À Agricultura De Precisão: Conceitos E Vantagens. *Ciência Rural*, 32(1), 159–163. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782002000100027>
- Zart, J. C. I. G., Kenedy, M. P., Luduvico, M. S., Sehnem, R. M., & Silva, L. S. (2019). Projeto Preliminar De Uma Aeronave Não Tripulada De Propulsão Híbrida Para Pulverização Agrícola. 1–15. <https://doi.org/10.29327/2cab2019.224876>