

SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PROPOSTAS PELA EQUIPE DRONIFLY PARA A COMPETIÇÃO FÓRMULA DRONE SAE BRASIL 2017

Wellington Carlos da Conceição¹, Tales Pulinho Ramos², Michael de Oliveira Resende³, Filipe Andrade La-Gatta⁴, Thiago da Silva Castro⁵, Tiago Pulinho Ramos⁶, Vinícius Teixeira de Freitas da Conceição⁷, Vinícius Landim Amaral⁸, Ramon Moratori Teixeira⁹, Matheus de Paula Rezende¹⁰, Henrique Faria Ribeiro¹¹

RESUMO: O objetivo deste trabalho é apresentar as soluções tecnológicas propostas pela Equipe DronIFly para a realização de missões específicas utilizando um drone tipo quadrotor. Estas missões fazem parte da 1^o Competição Fórmula Drone, que é uma iniciativa educacional da SAE Brasil voltada para alunos do ensino técnico de nível médio, e tem como premissa que as equipes sejam capazes de buscar soluções de projeto criativas, inovadoras e multidisciplinares que satisfaçam aos requisitos e restrições impostas no regulamento da competição. Os principais problemas para o cumprimento das missões estavam relacionados à exigência de um sistema de navegação confiável, segurança física do drone e o alijamento preciso de um projétil em um alvo pré-definido. As soluções propostas para resolução destes problemas tiveram um excelente desempenho e foi determinante para o sucesso da equipe na competição.

PALAVRAS-CHAVE: VANT, quadrotor, sistema de navegação.

INTRODUÇÃO

Os VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) são aeronaves que possuem a capacidade de sustentar voo sem a presença de uma pessoa a bordo, podendo ser controladas remotamente ou voar de maneira autônoma. Este tipo de tecnologia apresenta crescimento considerado nos últimos anos, principalmente pelo acentuado

desenvolvimento tecnológico nas áreas de eletrônica, sensoriamento e automação (ALVES, 2012).

Apesar desses veículos terem seu uso primário em aplicações militares, principalmente em missões de reconhecimento e espionagem, há um grande aumento na utilização em aplicações civis. Quando

¹ Wellington Carlos da Conceição, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, wellington.conceicao@ifsudestemg.edu.br

² Tales Pulinho Ramos, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, tales.ramos@ifsudestemg.edu.br

³ Michael de Oliveira Resende, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, michael.resende@ifsudestemg.edu.br

⁴ Filipe Andrade La-Gatta, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, filipe.lagatta@ifsudestemg.edu.br

⁵ Thiago da Silva Castro, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, thiago.castro@ifsudestemg.edu.br

⁶ Tiago Pulinho Ramos, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, tiago.pulinho@gmail.com

⁷ Vinícius Teixeira de Freitas da Conceição, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, viniustfc11@hotmail.com

⁸ Vinícius Landim Amaral, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, viniamaral99@yahoo.com.br

⁹ Ramon Moratori Teixeira, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, ramon.moratori@gmail.com

¹⁰ Matheus de Paula Rezende, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, matheusrezende123789@gmail.com

¹¹ Henrique Faria Ribeiro, IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, fribeirorrique@hotmail.com

considerado em aplicações civis, podem-se destacar pesquisa ambiental, o mapeamento e a monitoração de uma região, o gerenciamento de queimadas, a agricultura, a inspeção de dutos e linhas de transmissão de energia elétrica, o salvamento e a exploração de áreas de difícil acesso (SANTOS, 2014).

Os VANTs podem ser classificados como de asa fixa e asa móvel ou rotativa. Os modelos de asa fixa apresentam formato semelhante aos aviões convencionais, possuindo sustentação aerodinâmica a partir do fluxo de ar nas asas. Estes tipos de aeronaves são utilizados normalmente na exploração e missões em áreas extensas, pois apresentam velocidades mais elevadas e melhor autonomia. Os veículos de asa móvel do tipo multicóptero possuem excelente controlabilidade posicional, além da capacidade de pairar durante o voo sem a necessidade de velocidade horizontal. A sustentação durante o voo das aeronaves de asas rotativas baseia-se no equilíbrio de forças criadas pelo empuxo desenvolvido pelas hélices no ar (COSTA, 2012). Dentre estes tipos de veículos, destacam-se os quadrotoros, devido à sua versatilidade e simplicidade de construção e funcionamento.

No Brasil, a regulamentação sobre a utilização de aeronaves não tripuladas foi instituída recentemente. O objetivo desta regulamentação é tornar viáveis as operações destes equipamentos, preservando-se a segurança das pessoas e também contribuindo para o desenvolvimento sustentável e seguro do setor.

Esse normativo foi elaborado levando-se em conta o nível de complexidade e de risco envolvidos nas operações das aeronaves e do tipo de equipamentos usados nas mesmas. Dessa forma, as operações de aeronaves não tripuladas (de uso recreativo, corporativo, comercial ou experimental) devem seguir as novas regras da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Detalhes sobre este regulamento podem ser observados na Resolução nº 419 (ANAC,

2017).

Neste trabalho, a designação "drone", que geralmente é adotada como uma terminologia comercial para se referir aos VANTs, será utilizada.

Conforme mencionado, e levando-se em conta este cenário de grande investimento e desenvolvimento deste tipo de aeronave, o objetivo deste trabalho é apresentar as soluções tecnológicas propostas pela Equipe DronIFly, para que o drone que foi projetado e construído pelo grupo seja capaz de cumprir missões específicas. Estas missões fazem parte da 1ª Competição Fórmula Drone, que é uma iniciativa de caráter educacional da SAE Brasil (SAE BRASIL, 2017a).

METODOLOGIA

Competição Fórmula Drone

A Competição Fórmula Drone é uma iniciativa de caráter educacional promovida pela SAE BRASIL e tem como principal foco estudantes e professores do ensino profissional técnico de nível médio.

A competição é focada no desenvolvimento de um projeto que engloba a construção de uma aeronave de asas rotativas, desde sua concepção, detalhamento do projeto até sua montagem. O objetivo é que a aeronave seja capaz de cumprir certas missões que se assemelham aos problemas encontrados no cotidiano, como pouso preciso em locais de difícil acesso, mapeamento de regiões inóspitas e salvamento.

Conforme regulamento, a partir de um modelo básico e padronizado de aeronave, as equipes poderiam embarcar dispositivos para que as missões fossem executadas com maior assertividade e em um curto espaço de tempo. Destaca-se que o drone poderia ser controlado remotamente por rádio controle ou realizar as missões de forma autônoma; por exemplo, com a ajuda de um sistema de navegação por GPS (Global Positioning System). Ainda

segundo o regulamento, as missões que fossem realizadas de forma autônoma, ou seja, sem a interferência humana durante o voo, receberiam uma maior pontuação.

A Tabela 1 apresenta de forma resumida a descrição das missões que deveriam ser cumpridas no decorrer da competição.

Tabela 1 - Descrição das missões

Missão	Descrição	Objetivo	Dificuldades
1	Pouso de Precisão	O drone deverá ser capaz de pousar em um alvo sinalizado no solo, sendo que é informada a coordenada do GPS de tal ponto.	Coordenadas do GPS confiáveis
2	Localização de Alvo	Utilizando o drone, a equipe deve realizar medições entre pontos pré-definidos no campo de prova.	Coordenadas do GPS confiáveis
3	Alijamento de Objeto	Utilizando o drone, um objeto com peso 15 gramas deve ser alijado de uma altura de pelo menos cinco metros e atingir um alvo sinalizado no solo.	Interferência no alijamento, principalmente devido ao vento
4	Passagem por Túnel	O drone deve passar por um túnel de 2,0 m de comprimento, com altura e largura de 1,2 m, sem colidir com as paredes do mesmo.	Posicionamento e segurança física da aeronave

Dessa forma, os seguintes problemas deveriam ser resolvidos:

- Interferência eletromagnética que possa causar alguma distorção no sinal do módulo GPS e bússola;
- Evitar a interferência do vento ou outra variável que possa atrapalhar o alijamento do projétil no alvo;
- Aumentar a segurança do drone, mantendo sua integridade física durante o cumprimento das missões no campo de prova.

ESTRUTURA FÍSICA DO DRONE

Conforme especificado no regulamento da competição, foi utilizado um drone tipo quadrotor com frame F450 com a configuração X4. A Figura 1 ilustra esta estrutura.

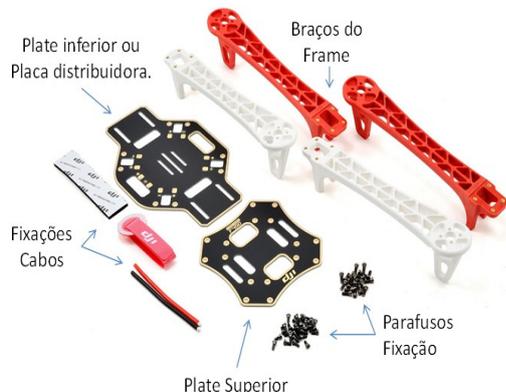


Figura 1 (a) - Estrutura física do drone: Peças da estrutura do *frame*.



Figura 1 (b) - Estrutura física do drone: Estrutura montada.

Fonte: SAE BRASIL, 2017a (adaptado pelo autor).

O frame é a estrutura mecânica que fornece a base rígida de montagem dos motores, placas controladoras e todos os outros componentes necessários ao seu correto funcionamento. As características do frame como peso e rigidez influenciam diretamente no funcionamento do drone. O peso está relacionado com a autonomia de voo, ou seja, quanto maior o peso menor a autonomia no ar. A baixa rigidez deste componente pode ocasionar excesso de vibração em toda estrutura da aeronave, podendo danificar junções e desestabilizar o drone em voo (DEMOLINARI, 2016).

COMPONENTES ELÉTRICOS DO DRONE

O esquema de interligação dos componentes elétricos do drone é apresentado na

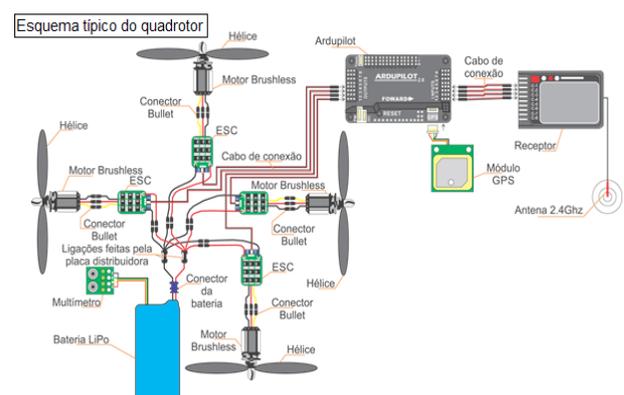


Figura 2 - Esquema de ligação dos componentes eletrônicos.

Os principais componentes são detalhados a seguir:

- Placa controladora: tem como função processar os sinais de entrada e criar saídas de controle adequadas de acordo com

o comando recebido. Esta placa eletrônica também é capaz de proporcionar estabilização autônoma, navegação por waypoints (coordenadas GPS) e telemetria (envia dados da aeronave para a estação em terra). A placa controladora utilizada neste projeto é a ArduPilotMega (APM) modelo 2.6 com GPS. Esta placa é formada por um sistema de hardware e software livres baseado na plataforma arduino.

- **Eletronic SpeedController(ESC):** elemento de potência utilizado para o controle da velocidade dos motores. No caso do quadrotor, devem-se inserir quatro ESCs, um para cada motor.
- **Motor:** os motores utilizados na aeronave são do tipo brushless (sem escovas) de 850KV/V. Acopladas aos motores estão as hélices, responsáveis por deslocar o ar, criando o empuxo necessário à movimentação do drone. Neste projeto utilizou-se quatro hélices de duas pás, com diâmetro de 10" (254 mm) e passo de 4,5" (114,3 mm).
- **Bateria:** foram utilizadas baterias de Lítio-Polímero (LiPo) de 5.200 mAh, 3S, com tensão nominal de 11,1 V. Estes tipos de bateria são mais seguros e menos prejudiciais ao meio ambiente, no entanto, requerem cuidados especiais, pois são bem sensíveis e qualquer manuseio indevido pode ocasionar a ruptura do isolante e curto circuito dos elementos, causando explosão ou combustão da mesma. Para monitorar o estado da bateria via telemetria foi necessário o uso de um power module que transfere esta informação à controladora.
- **Rádio controle:** para que o drone fosse controlado remotamente, foi utilizado um rádio controle com frequências de 2,40 até 2,48 GHz. Dessa forma, os comandos do piloto são recebidos por um receptor no drone e enviados para processamento pela placa controladora. A Figura 3 apresenta a montagem final do drone.



Figura 3 – Montagem final do drone.

Soluções técnicas adotadas

Como mencionado anteriormente, para que o projeto tivesse um resultado satisfatório, foi necessário desenvolver soluções técnicas para que o drone pudesse cumprir as missões propostas de forma correta e com um desempenho aceitável.

Os principais problemas encontrados e as soluções adotadas foram descritos a seguir:

1. Interferência eletromagnética que possa causar alguma distorção no sinal do módulo GPS e bússola

Um dos maiores problemas encontrados na obtenção de um resultado satisfatório no desempenho do quadrotor para efetuar as tarefas de forma precisa está relacionado à interferência eletromagnética que afeta principalmente a bússola da placa controladora. Esta interferência aumenta proporcionalmente na medida em que a corrente drenada pelos circuitos de potência (ESC e fios dos motores) aumenta, e ainda devido ao campo magnético criado ao redor dos motores no momento em que os mesmos estão girando. Portanto, é de fundamental importância a existência de uma blindagem no módulo de GPS e bússola para que o sinal não tenha interferência prejudicial ao correto funcionamento da aeronave.

Para a resolução desse problema uma estrutura em alumínio foi adaptada em torno do módulo GPS e bússola, protegendo-o das interferências eletromagnéticas. Esta estrutura é apresentada na Figura 4.



Figura 4 – Estrutura para blindagem do módulo GPS e bússola.

2. Interferência no alijamento do projétil

Nessa missão, a aeronave deveria ser capaz de alijar um prisma retangular de dimensões 60 x 40 x 15 mm, de 15 gramas, de uma altura maior que 5 metros e atingir um alvo demarcado no solo.

Para o cumprimento dessa missão, além do posicionamento perfeito do drone em relação ao alvo, foi necessário projetar um dispositivo de alijamento que diminuísse os efeitos da interferência do vento ou outra variável que poderia atrapalhar o arremesso do projétil no alvo.

A Figura 5 apresenta um esquemático mostrando o funcionamento do dispositivo de alijamento projetado.

Este dispositivo é composto basicamente pela base, que é uma estrutura de sustentação de todos os componentes, um servomotor que funciona como um gatilho de disparo, o extrator e uma mola de seção circular.

O projétil será carregado dentro da base de alijamento, sendo que o mesmo ficará pressionado na parte superior pelo conjunto extrator mais mola, e ficará apoiado sobre o gatilho que se encontra na parte inferior do dispositivo. No momento do alijamento, o servomotor será energizado, liberando o gatilho, e desta forma o projétil será arremessado em função da atuação da mola. O acionamento do servomotor é realizado a partir de um canal do receptor do rádio controle embarcado no *drone*. A Figura 6 apresenta o dispositivo de alijamento projetado acoplado ao drone utilizado na competição.

(a) Antes do disparo (b) Depois do disparo

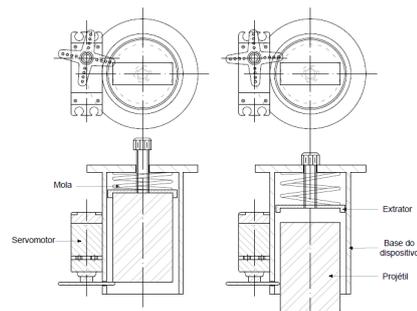


Figura 5 – Esquemático de funcionamento do dispositivo de alijamento.



Figura 6 – Dispositivo de alijamento acoplado ao drone.

O projeto detalhado do dispositivo de alijamento pode ser observado no Apêndice A.

3. Segurança do drone

Para aumentar a integridade física do drone durante o cumprimento das missões no campo de prova, foi adaptado um protetor de hélices para evitar que choques mecânicos danificassem a aeronave. A Figura 7 ilustra a aeronave com o dispositivo de proteção das hélices acoplado ao frame.



Figura 7 – Dispositivo de proteção das hélices acoplado ao drone.

RESULTADOS/DISCUSSÃO

As análises realizadas em relação ao desempenho da blindagem desenvolvida neste projeto foram feitas utilizando o software MissionPlanner, que é uma GSC (GroundControlStation, ou estação de controle terrestre) de código aberto, e que apresenta a opção de calibração da bússola (ARDUCOPTER, 2017).

Esta análise tinha como objetivo avaliar a interferência eletromagnética na bússola em função da utilização da blindagem utilizada no projeto. Os testes foram realizados considerando as mesmas condições físicas e climáticas para os casos com e sem a blindagem, e o módulo GPS e bússola se encontravam a 15 cm de altura em relação ao platesuperior da aeronave.

As Figuras 8 e 9 foram obtidas a partir do MissionPlanner, e mostram a curva da interferência eletromagnética na bússola (curva em vermelho) e a curva de corrente em função do percentual da aceleração dos motores (curva em verde). Para estas figuras tem-se no eixo x em porcentagem, medidas relacionadas à aceleração, no eixo y a esquerda tem-se medidas em porcentagens relacionadas à interferência, e no eixo y a direita, valores de corrente em ampères.

O resultado da Figura 8 foi obtido para o funcionamento do drone sem a utilização da blindagem eletromagnética. Observa-se que a máxima interferência apresentada foi de 20%.

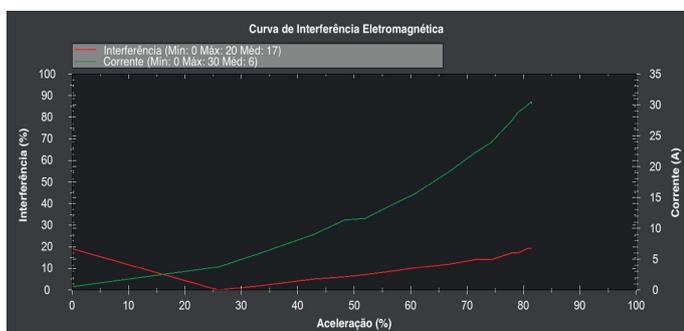


Figura 8 – Curva de interferência eletromagnética sobre a bússola em função da corrente requerida para o funcionamento dos motores (sem a blindagem).

A Figura 9 mostra o resultado encontrado para o funcionamento do drone com a blindagem eletromagnética. Neste caso, a máxima interferência observada foi de 5%.

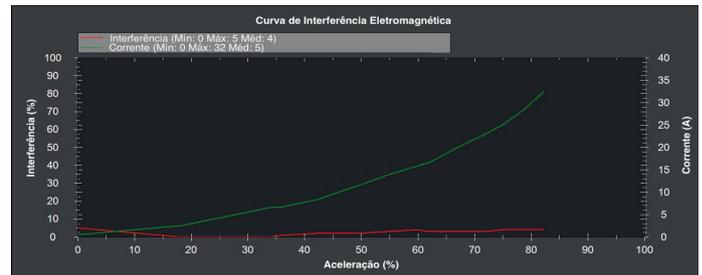


Figura 9 – Curva de interferência eletromagnética sobre a bússola em função da corrente requerida para o funcionamento dos motores (com a blindagem).

Comparando-se as duas curvas, é possível observar que com a utilização da blindagem há uma grande diminuição na interferência eletromagnética, demonstrando a eficácia da solução adotada neste projeto.

Para verificar o desempenho do dispositivo de alijamento foi analisado o tempo em que o projétil permaneceu em movimento no ar. Ressalta-se que quanto maior for o tempo em que o objeto permanece no ar em deslocamento, maior será a influência de fatores externos, principalmente da ação do vento. Portanto, o dispositivo de alijamento foi projetado com o objetivo de diminuir o tempo que o objeto permanecia em movimento.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros considerados para o dimensionamento do dispositivo de alijamento.

Tabela 2 – Parâmetros de projeto do dispositivo de alijamento

Parâmetro	Valor
Altura de alijamento (m)	5,0
Massa do projétil (g)	15,0
Aceleração da gravidade (m/s ²)	9,8
Constante elástica da mola (N/m)	1.409,5

Para esse dimensionamento utilizou-se os conceitos físicos relativos à conservação de energia e movimento vertical para baixo uniformemente variado. Devido a curta

trajetória do projétil, a resistência do ar foi desconsiderada para fins de cálculo. A Tabela 3 apresenta os principais resultados encontrados utilizando o dispositivo de alijamento e do projétil em queda livre.

Tabela 3 – Resultados para queda do projétil

Parâmetro	Resultado	
	Queda livre	Dispositivo de alijamento
Velocidade inicial (m/s)	0,0	4,45
tempo de queda (s)	1,01	0,65

Comparando-se os resultados encontrados, verifica-se que com o dispositivo de alijamento há uma diminuição de aproximadamente 36% no tempo de permanência do projétil no ar. Com isto o objeto fica menos susceptível à interferência do vento durante o seu deslocamento, apresentando maior precisão no cumprimento da missão.

A Figura 10 ilustra a atuação do dispositivo de proteção das hélices. A Figura 10 (a) simula uma queda da aeronave sem o dispositivo de proteção, e a Figura 10 (b) mostra a atuação da proteção das hélices para as mesmas condições.



Figura 10 (a) – Dispositivo de proteção das hélices: Aeronave sem proteção das hélices



Figura 10 (b) – Dispositivo de proteção das hélices: Aeronave com proteção de hélices

Pode-se destacar ainda, que a utilização do dispositivo de proteção das hélices em nada afetou a estabilidade da aeronave durante o voo, conforme ilustra a Figura 11.



Figura 11 – Aeronave em voo utilizando o dispositivo de proteção das hélices.

Os resultados oficiais da competição podem ser observados pela Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado Final Fórmula Drone SAE Brasil – 2017.

Posição	Nome da Equipe	Total Missões	Total Relatório e Apresentação	Total Vídeo	Penalidades	Total Geral
1	DroniFly	178,00	106,50	38,10		322,60
2	SkyBotz Drone Team	143,00	94,10	39,50	20,00	256,60
3	CPIIBots	119,00	65,20	21,50		205,70
4	CPIIDrones	99,05	63,50	25,30		187,85
5	Robótica Maracanã	112,00	28,80	0,00		140,80
6	HelibRA	0,00	62,70	23,60		86,30
7	Leopoldina	0,00	30,80	8,00		38,80
8	Optimus Drones	0,00	0,00	19,60		19,60
9	Yellow Drones	0,00	0,00	0,00		0,00
10	SJBots	0,00	0,00	0,00		0,00
11	Angry Bodes	0,00	0,00	0,00		0,00
12	Cefast Drones	0,00	0,00	0,00		0,00

Fonte: SAE BRASIL, 2017b (adaptado pelo autor).

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com as soluções tecnológicas adotadas pela equipe para a realização das missões relativas à competição foram satisfatórios. As soluções encontradas exigiram um estudo aprofundado e analítico de cada problema, e ainda foram criativas e multidisciplinares.

A estrutura metálica utilizada como blindagem para interferências eletromagnéticas teve um excelente desempenho, principalmente para que o drone pudesse realizar as missões de forma autônoma e

com precisão, e ainda fosse o mais estável possível durante o voo.

Em relação ao dispositivo de alijamento, o projeto desenvolvido foi importante para que a equipe alcançasse a melhor pontuação no cumprimento da missão durante a competição. Ressalta-se que no melhor alijamento, o projétil atingiu uma distância de 17 cm do centro do alvo. Destaca-se ainda, que o dispositivo projetado em nada afetou a estabilidade da aeronave.

A aeronave construída mostrou-se bas-

tante segura, eficiente, e de fácil operação após diversos voos autônomos, utilizando coordenadas GPS, e voos manuais. titude e de velocidade de vento.

Em trabalhos futuros pretende-se realizar as missões de forma autônoma utilizando processamento de imagem. Outro estudo seria o de incorporar diferentes tipos de dispositivos de controle para que a aeronave tenha uma maior estabilidade durante o voo, como por exemplo, sensores de altitude e de velocidade de vento.

ABSTRACT: *The aim of this paper is to present technological solutions proposed by DronIFly Team to the realization of specific missions using a drone of the type quadrotor. The semissions are part of the 1st Competition Fórmula Drone, which is an education alinitiative of SAE Brasil oriented to students of technical education of medium level. Its assumption is to make groups capable of searching for creative, innovative and multidisciplinary solutions of projects that satisfy the requirements and restrictions imposed on the competition rules. The main problems to fulfill them is sions were related to the demands of a trustful brows ingssystem, physical safety of the drone and the precise fling of a project ile in a predefined target. The proposed solutions to solve these problems had an excellent performance and it was crucial to the success of the team on the competition.*

KEYWORDS: UAV, quadrotor, navigationsystem.

REFERÊNCIAS:

ALVES, A. S. C. **Estudo e aplicação de técnicas de controle embarcadas para estabilização de voo de quadricópteros. Tese(Doutorado), Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, 2012.**

ANAC, Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E nº 94. Aprovado pela Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017.

ARDUCOPTER COMMUNITY. AdvancedCompass Setup. Disponível em: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-compass-setup-advanced.html>. Acessado em julho de 2017.

ARDUPILOT. Assembly Instructions. Archived:APM2.x Wiring QuickStart. Disponível em: <http://ardupilot.org/copter/docs/connecting-the-apm2.html>. Acessado em julho de 2017.

COSTA, E. B. **Algoritmos de Controle Aplicados à Estabilização do Voo de um Quadrotor.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, 2012.

DEMOLINARI, H. S. **Projeto de Construção um DroneHexacóptero, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Fluminense, UFF, Niterói, 2016.**

SAE BRASIL. **1º Competição SAE BRASIL Helidesign 2017 – Regulamento da Competição.** Disponível em: <http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/sae-brasil-helidesign/regras>. Acessado em abril de 2017a

SAE BRASIL. **1º Competição SAE BRASIL Helidesign 2017 – Resultado Final SAE Brasil Fórmula Drone.** Disponível em: <http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/sae-brasil-helidesign/resultados>. Acessado em maio de 2017b.

SANTOS, M. F. **Controle tolerante a falhas de um sistema de propulsão de helicópteros.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, 2014.

Submetido em: 25/07/2017

Aceito em: 08/11/2017

APÊNDICE A – PROJETO DO DISPOSITIVO DE ALIJAMENTO

