

Impacto do Nivelamento de Rotores em Drone Multirotor

Antonio Augusto Groehs de Oliveira | antonioagooliveira02@gmail.com¹

Luiz Felipe Nascimento dos Anjos | luizfelipeanjos0408@gmail.com²

Gabriel Beu Nogueira de Macedo | gabriel.macedo@ifsc.edu.br³

Trabalho de Pesquisa
DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Este artigo compara os impactos do nivelamento de rotores em drone multirotor, evidenciando as características de estabilidade, controle de guinada e eficiência energética. Foram realizados ensaios de voo com o drone utilizando três tipos diferentes de nivelamento de rotores: desnivelados, nivelados, e nivelados com 3° de inclinação. Em seguida, foi feita a análise dos *logs* de voo em cada configuração, comparando os impactos causados por cada configuração na aeronave.

Palavras-chave: drone hexarotor; nivelamento de rotores; controlabilidade de guinada.

Introdução

No processo de construção de um drone multirotor, um dos desafios intrínsecos enfrentados é o nivelamento correto dos rotores, a fim de garantir que os vetores de força sejam direcionados para cima, permitindo que as hélices forneçam a propulsão necessária para a sustentação do voo. Caso algum rotor esteja inclinado, irá ocasionar um desvio do torque de sustentação, gerando torque para o movimento de giro horizontal da aeronave, forçando a controladora de voo à compensar esse desvio, com o acionamento diferenciado de certos rotores para a estabilização da orientação da aeronave, e evitar o giro indesejado.

Neste trabalho, serão abordados os impactos na estabilidade, controle de guinada e eficiência energética, causados por diferentes configurações de nivelamentos dos rotores de um drone multirotor, através da análise, comparação dos *logs* de voo e dos ensaios de voo realizados com um mesmo drone hexarotor utilizando três diferentes configurações de rotores: desnivelados, nivelados e nivelados com 3° de inclinação.

¹ Egresso do curso de Tecnólogo em Sistemas de Energia do IFSC, Câmpus Florianópolis.

² Estudante do curso Técnico Integrado em Mecatrônica do IFSC, Câmpus Florianópolis.

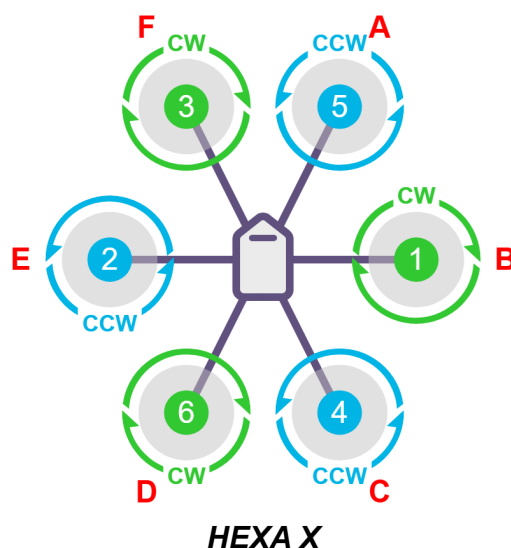
³ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica do IFSC, Câmpus Florianópolis.

Fundamentação teórica

No âmbito do projeto de pesquisa “Desenvolvimento de um Drone Híbrido Multirotor Classe 2 ANAC Para Aumento de Autonomia de Voo”, foi necessário a construção de um protótipo, com tubos de fibra de carbono, sendo usados para fixar os rotores da aeronave. Apesar da resistência estrutural, um dos desafios enfrentados para um bom desempenho, é o alinhamento correto dos rotores da aeronave. O alinhamento do *frame* (estrutura) já proporciona certo grau de nivelamento entre os rotores, porém o ideal é o nivelamento do vetor de força de cada rotor estar perpendicular ao chão, proporcionando melhor estabilidade, e redução nos comandos de correção de orientação por parte da controladora.

Em um drone multirotor, metade dos rotores giram em sentido horário (CW) e os outros em sentido anti-horário (CCW), conforme a Figura 1.

Figura 1 – Sentido de giro dos rotores de um drone hexarotor.



Fonte: Ardupilot (2024).

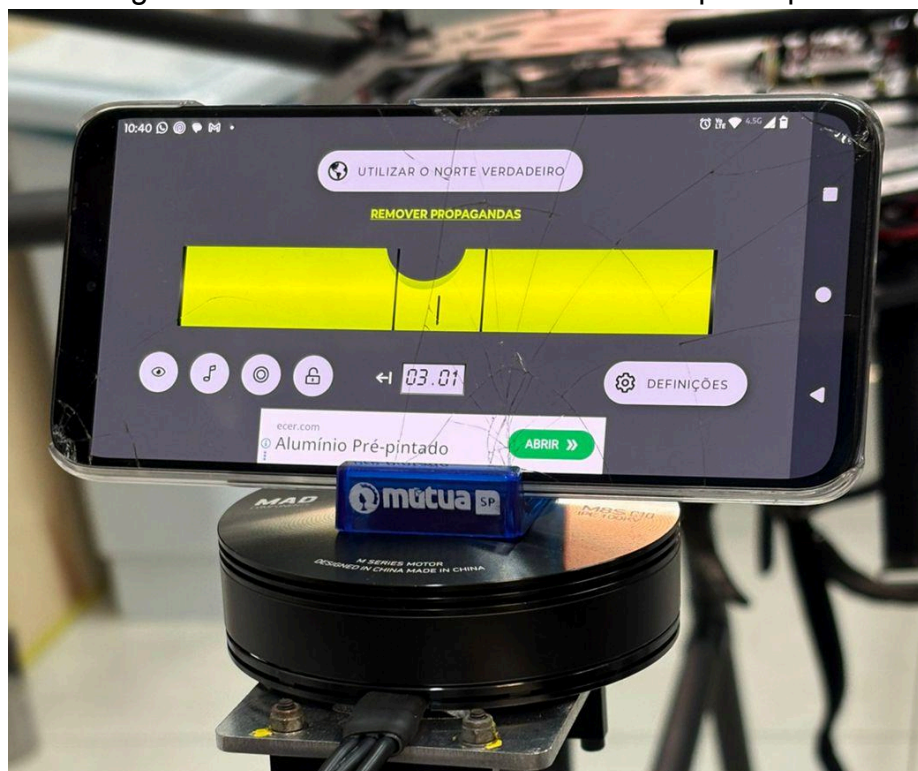
Para realizar o movimento de guinada, a controladora de voo precisa acelerar os rotores que giram em um dos sentidos e desacelerar os que giram no sentido oposto, criando o torque necessário para girar o drone. O artigo de Holda et al. (2018) demonstrou que com uma simples modificação na inclinação dos rotores de um drone resultaria em

ganhos de eficiência e de controle no giro em torno do eixo vertical do drone (guinada - yaw). Este efeito ocorre pois o nivelamento inclinado dos rotores formam um pequeno ângulo com a vertical, que leva a parte do torque de sustentação do drone também servir como um torque lateral, que melhora a movimentação de guinada da aeronave, reduzindo a amplitude da variação de potência enviada pela controladora aos rotores.

Procedimentos metodológicos

Para avaliar o desempenho do drone multirrotor em desenvolvimento pelo laboratório, foram realizados testes com os rotores: desnivelados, nivelados, e nivelados com 3° de inclinação. Para o nivelamento dos rotores, primeiro foi nivelada a estrutura central do drone (*frame*) com nível analógico de bolha e também comparado com nível digital. Depois foram nivelados cada rotor, sem mudar a posição do drone, como mostrado na Figura 2. As análises de *logs* de voo foram feitas no *software* Mission Planner, em que é possível obter a aceleração de cada rotor separadamente, possibilitando uma análise comparativa entre os resultados obtidos.

Figura 2 – Nivelamento de rotor do drone protótipo.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Resultados e discussões

Os ensaios de voo foram realizados no IFSC câmpus Florianópolis, em três diferentes datas, porém com condições climáticas similares, reduzindo os possíveis impactos nos dados coletados.

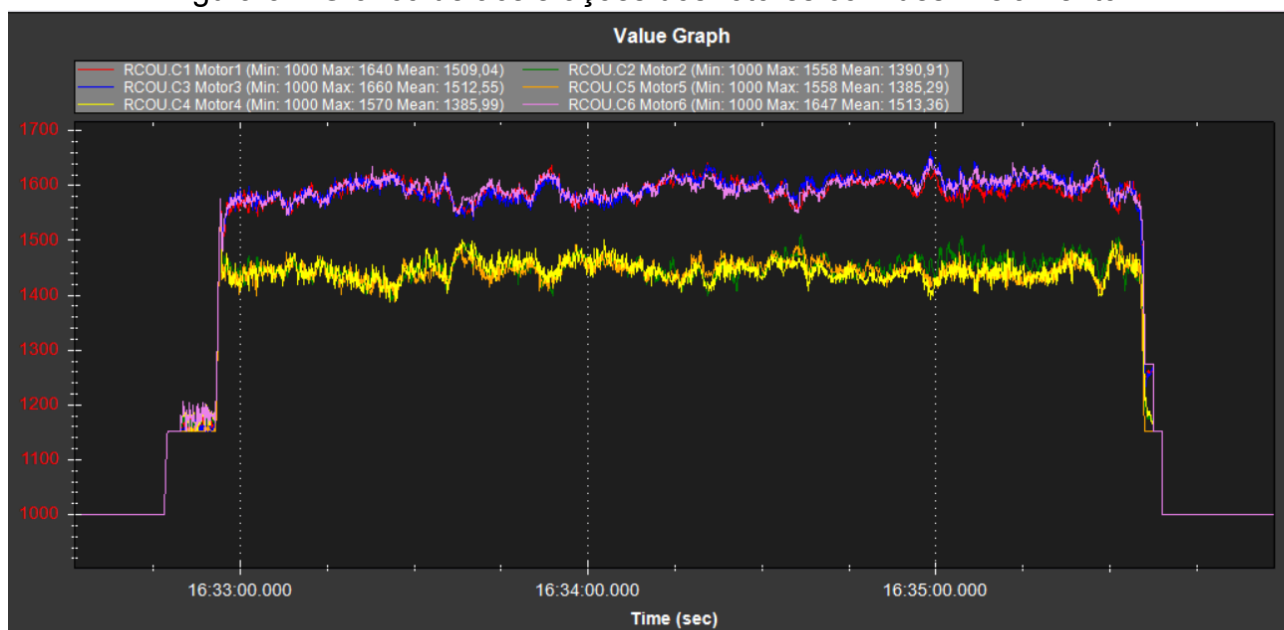
No primeiro ensaio, foi feito um nivelamento sem precisão. Com isso, alguns rotores formaram um pequeno ângulo aleatório com a vertical, sendo que a maioria dos rotores ficou com esse ângulo para o mesmo lado, indicando uma característica sistêmica do montador. Durante o voo, foi possível observar que o drone decolou com uma tendência de girar em sentido horário. Depois, a controladora de voo conseguiu corrigir a orientação do drone. Também foi observado uma instabilidade no voo, com a aeronave balançando muito e dificultando o controle pelo piloto.

Na Figura 3 é possível identificar que a controladora atuou para conter a tendência de guinada, onde três rotores opostos estavam operando com uma aceleração menor que o esperado, enquanto os outros três estavam com uma aceleração maior. Esta divisão de esforços vem da necessidade da controladora realizar correções na orientação do drone para evitar o giro indesejado. Também foi possível observar que a controladora de voo comandou os rotores de menor aceleração próximos a 1400 de PWM (*Pulse Width Modulation*), região de instabilidade para este drone (abaixo de 40% da potência nominal do rotor). Esta configuração apresentou pouca eficiência, por operar fora da faixa padrão de funcionamento, com registro de consumo em voo de 3.040 Watts.

Com a identificação destes problemas, os rotores foram corretamente nivelados, com o vetor força dos rotores perpendiculares ao chão. Neste segundo voo houve uma melhora na estabilidade da aeronave, sem a tendência de guinada na decolagem e nem as oscilações de instabilidade observadas no voo anterior, levando a uma melhor controlabilidade pelo piloto. Na análise dos logs foi observado a aproximação das acelerações requisitadas em cada rotor, a qual é possível observar a diferença quando comparadas a Figura 3 com a Figura 4. Neste ensaio, a controladora de voo pôde manter todos os rotores funcionando em uma faixa de operação próxima a 1500 PWM, referente à 50% da potência nominal dos rotores. Esta configuração demonstrou ligeira melhora de

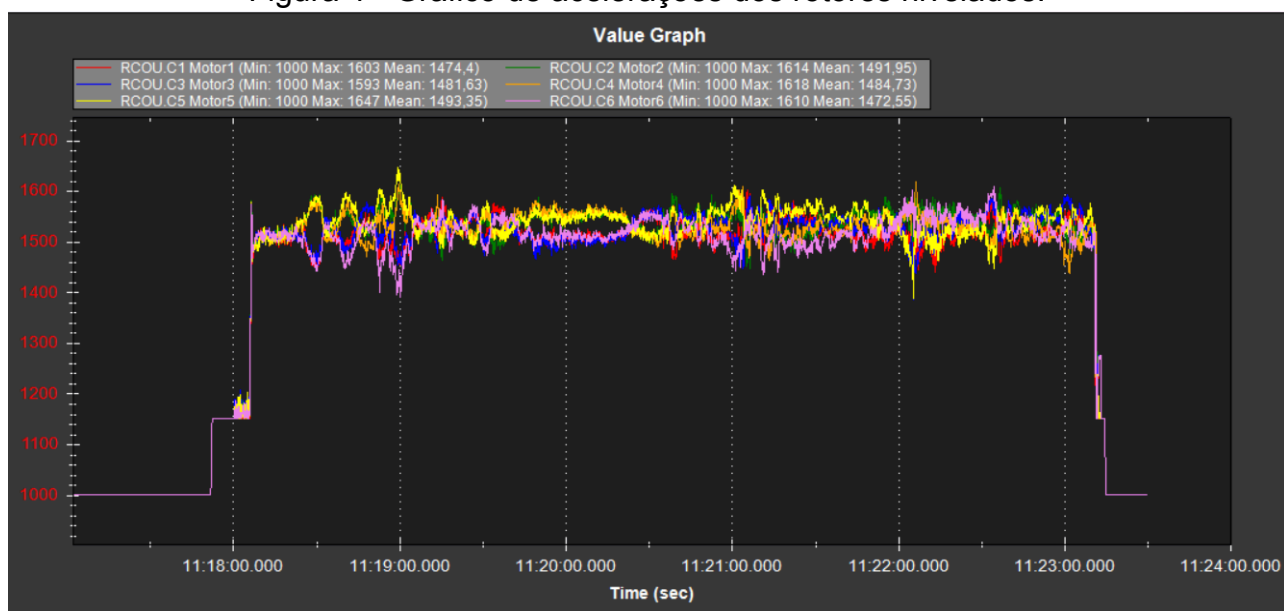
eficiência, com o registro de consumo de potência de 3.014 Watts, apresentando uma redução de 0,84% comparado a quando desnivelado.

Figura 3 – Gráfico de acelerações dos rotores com desnivelamento.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

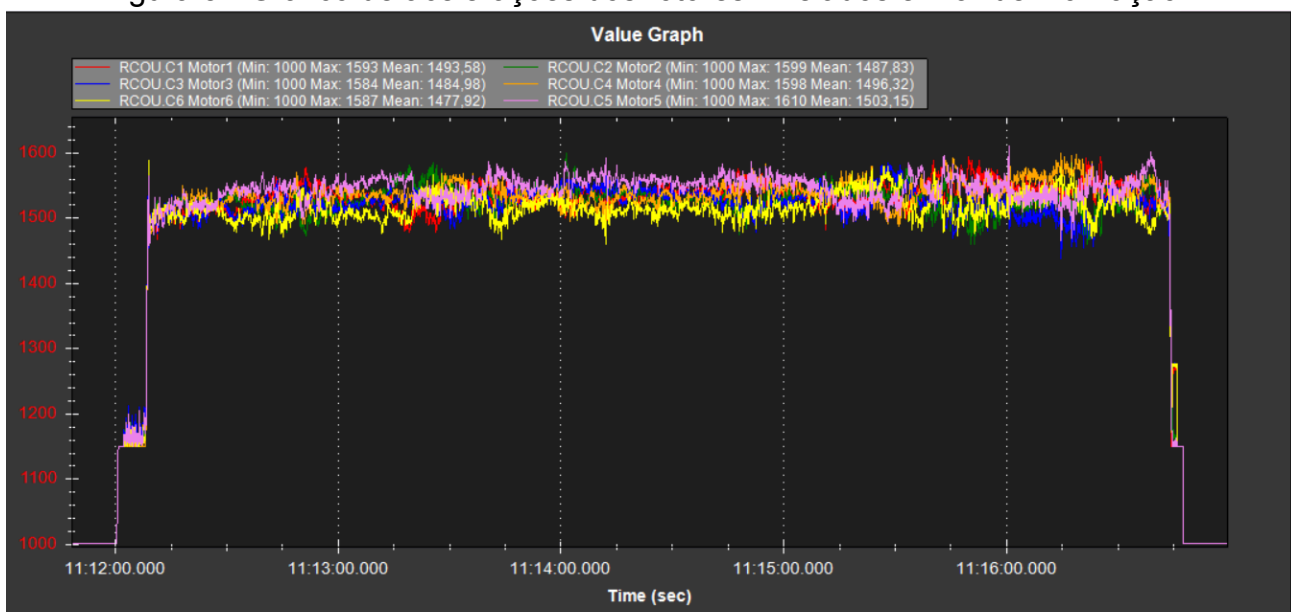
Figura 4 - Gráfico de acelerações dos rotores nivelados.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Por fim, foi realizado o ensaio com os rotores nivelados com uma inclinação de 3° com a vertical. Nessa configuração, o vetor força dos rotores não é mais perpendicular ao chão, e a inclinação faz com que parte da força de sustentação gere uma compensação lateral, o que melhora a movimentação de guinada da aeronave. No *log* foi observado que as acelerações de cada rotor ficaram mais constantes, variando menos a amplitude para realizar correções de guinada. A figura 5 apresenta esses dados. Nos registros de consumo, foi apresentado consumo de potência de 3.082 Watts, demonstrando um aumento de 1,37% quando comparado a configuração desnivelada e de 2,20% para a nivelada, ocasionado pela perda de sustentação vertical dos rotores devido a inclinação, que leva a um aumento da potência requisitada para manter o drone pairado.

Figura 5 - Gráfico de acelerações dos rotores nivelados em 3° de inclinação.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Considerações finais

Com os ensaios, coleta e análise de dados, foi possível observar os impactos causados pelas diferentes configurações de nivelamento dos rotores no drone, alcançando o objetivo principal proposto por este trabalho. O desalinhamento evidenciou um consumo energético maior e muita instabilidade no voo, além de três rotores estarem operando com potências na faixa de 40% do valor nominal, se mostrando uma opção não



recomendada. O nivelamento perpendicular ao chão trouxe melhor equilíbrio entre os rotores, confirmando os ganhos em eficiência e estabilidade quando comparado a configuração anterior. Esta configuração se mostrou a mais eficiente entre as testadas. O nivelamento com inclinação de 3° mostrou ainda mais ganhos na estabilidade e na movimentação de guinada, sendo a melhor configuração nesses aspectos, porém com o custo de um maior consumo de energia. Esse aumento no consumo de energia implica em menor autonomia de voo.

Conclui-se que é necessário a análise do uso do drone para definir qual a melhor opção: entre rotor nivelado perpendicular ou com 3° de inclinação. Casos em que controle e estabilidade são prioritários, recomenda-se o uso com inclinação. Casos em que a prioridade seja a melhor eficiência energética e maior autonomia de voo, recomenda-se o uso sem inclinação.

Este trabalho contribuiu na formação prática e científica dos discentes envolvidos, agregando conhecimento no planejamento de ensaios e testes de voo, análise de dados, e elaboração de resultados, além de experiência prática no trabalho com drones multirotores.

Referência ao fomento recebido

Este trabalho foi realizado com o apoio do Instituto Federal de Santa Catarina - campus Florianópolis (IFSC) e da Fundação Stemmer para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (FEESC), através da participação no projeto de pesquisa PFLN-2506.0023, no âmbito do Polo de Inovação e Unidade Embrapii do IFSC.

Referências

ARDUPILOT. **Copter Documentation: Connect ESCs and Motors**. Ardupilot, 2024.
Disponível em: <https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html>. Acesso em: 30 abr. 2026.



HOLDA, Conrad et al, *Tilting multicopter rotors for increased power efficiency and yaw authority*. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS (ICUAS)**, 2018, Dallas. Anais [...]. IEEE, 2018. p. 143–148.c