# Simulação de voo vertical de um quadricoptero usando software livre

Raif C. Gomes<sup>1</sup>, Franscisco José A. de Aquino<sup>2</sup>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, IFCE.

E-mail¹: raif.carneiro@gmail.com; E-mail²: fcoalves\_aq@ifce.edu.br

Departamento de Telemática

Av. Treze de Maio, Nr. 2081, Campus Fortaleza

Fortaleza/CE, Brasil, 60040-531

Resumo – este trabalho tem como objetivo, apresentar uma simulação computacional de um voo vertical autônomo de um quadricoptero, VANT (Veículo Aéreo Não Tripulável) caracterizado por uma estrutura cruzada e a presença de quatro motores para gerar o seu movimento. Assim, para a implementação da simulação, foi feito um levantamento bibliográfico, o qual subsidiou, teoricamente, a pesquisa e experimentos concernentes aos modelos matemáticos e ao comportamento de um corpo rígido livre no espaço. Posteriormente, esses foram aplicados no software de modelagem matemática livre, Scilab, versão 5.4.0. Portanto, a partir das simulações realizadas, foram coletados dados que auxiliarão na construção de uma estrutura física e no desenvolvimento de um sistema de controle real para um quadricoptero autônomo. Logo, possibilitando, futuramente, a construção de um VANT com maior estabilidade, baixo custo e menor probabilidade de falhas.

## I. INTRODUÇÃO

É notável o crescimento do uso de *drones* ou VANT's, principalmente, no reconhecimento de áreas que possam ou não apresentarem risco à vida humana, na vigilância de barragens, plantações e regiões de fronteiras. Isso se dá, de acordo com [1], graças a maior eficiência e baixo custo que os quadricopteros possuem em relação as soluções empregadas no passado, como por exemplo: veículos aéreos tripulados.

Segundo [2], os VANT's podem ser classificados em dois grupos: os *drones* de asas rotativas e de asas fixas. Dentre esses, o que mais vem sendo utilizado, hodiernamente, é o VANT com asas rotativas, chamado quadricoptero ou *quadrotor*, caracterizado por possuir quatro motores. Sendo tipicamente pequenos e de estrutura cruzada simples, os quadricopteros desempenham funções que antes somente veículos aéreos tripulados poderiam realizar. Atualmente, podem ser controlados autonomamente ou por controle remoto, tendo em vista que, conforme [3] são mais fáceis de serem controlados em relação aos outros *drones*, por isso são mais usados em aplicações que necessitam de uma alta estabilidade de voo.

Assim, com a grande disponibilidade de VANT's no mercado para o público em geral, a preços razoáveis, os quadricopteros têm sido popularizados para diversas

funcionalidades. Nesse contexto, este trabalho apresenta a simulação do voo vertical autônomo de um quadricoptero, usando o software de modelagem Scilab versão 5.4.0, o qual fomenta a construção de um quadricoptero com maiores níveis de eficiência e controle. Na figura 1, é exposto um protótipo de um *drone* usado como base para a implementação da simulação desenvolvida.

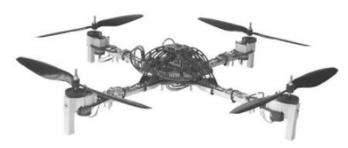


Figura 1 -Protótipo de um quadricoptero [2]

#### II. ÂNGULOS DE EULER

Para desenvolver a simulação proposta, foi feito um levantamento bibliográfico, o qual subsidiou na escolha de formulações e modelos matemáticos empregados nesta pesquisa. Essa escolha deu-se a partir das proposições de [4] que contribuíram para melhor exposição, definição dos teoremas adotados. Ademais, outras referências imprescindíveis para o desenvolvimento deste trabalho foram: [3] e [2], pois viabilizaram uma abordagem concisa e aplicada das equações que regem as interações de um corpo rígido livre no espaço.

Nessa perspectiva, notou-se a necessidade de utilizar-se o Teorema de Euler, o qual segundo [4], consiste na explicação de que sucessivas rotações de um corpo rígido podem ser representadas por uma única rotação e dos ângulos de Euler, os quais são usados para especificar a orientação de um corpo girante em relação ao sistema inercial de referencial fixo na terra, expostos pela Figura 2.

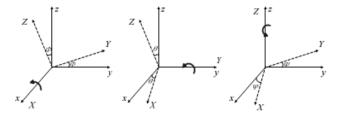


Figura 2 – Diagrama de Euler [7]

Nesses termos, de acordo com [5], a integração dos conceitos matemáticos discutidos, anteriormente, permite suprir as necessidades no que se diz respeito a análise dos movimentos do *drone* simulado, podendo ser representada por uma matriz rotacional, a qual foi implementada no software Scilab, obtendo o trecho de código retratada na Figura 3.

Figura 3 – Trecho de código implementado através das premissas expostas

## III. EQUAÇÕES DE MOVIMENTO

Posteriormente, foram feitos os cálculos das forças atuantes na estrutura do quadricoptero, a partir das equações da força e a do momento angular, conforme indicado por [4]. Essas podem ser observadas, respectivamente, por (1) e (2).

$$dP/dt = F \tag{1}$$

Onde:

dP - Derivada do momento linear

dt - Derivada do tempo

F - Força

$$dL/dt = N (2)$$

Onde:

dL - Derivada do momento angular

dt - Derivada do tempo

N - Torque

Diante disso, as expressões expostas foram decompostas para que os parâmetros necessários para o estudo do movimento do quadricoptero fossem obtidos. Portanto, encontrou-se (3) e (4), as quais estão em conformidades com os resultados encontrados por [5], que segue a mesma linha de raciocínio apresentada neste artigo, decompondo as variáveis a partir da segunda lei de Newton:

$$F = m*dV + m*(We x V)$$
(3)

Onde:

F - Força

 $\boldsymbol{m}$  - Massa

dV- Derivada da velocidade linear

We - Velocidade angular

V - Velocidade linear

$$N = In*dWe + (We x (In*We))$$
 (4)

Onde:

*In* - Matriz identidade

dWe - Derivada da velocidade linear

We - Velocidade angular

Tais expressões matemáticas contribuíram para o cálculo da velocidade e aceleração linear e angular. Dessa forma, viabilizando o controle do espaço percorrido pelo *drone* e as rotações realizadas por ele. Consequentemente, as equações foram implementadas no Scilab, versão 5.4.0.

## IV. SOFTWARE SCILAB

O Scilab trata-se de uma plataforma computacional numérica livre, a qual faz uso de uma linguagem de programação de alto nível e numericamente orientada. Por ser uma ferramenta livre, tal *software* possui uma ampla utilização no meio científico, tendo sido criado em 1990 pela Instituição de Pesquisa Nacional da França [6].

Além de possuir centenas de funções matemáticas, o Scilab permite a visualização de dados gerados durante a execução da simulação a partir de gráficos 2D/3D e é compatível com as plataformas Linux, Mac OS e Windows. Por isso, dado os recursos citados, o Scilab foi o *software* escolhido para que as simulações do modelo criado fossem concretizados de forma eficiente e confiável.

## V. CONTROLE DE ACELERAÇÃO DOS MOTORES

Inicialmente, foram feitas 50 simulações, nas quais se observou que a altura máxima especificada de 0.2 metros para o quadricoptero se estabilizar não era respeitada. Tal problema ocorria, já que a aceleração e a velocidade do quadricoptero aumentavam rapidamente, mas no momento de desaceleração, o *drone* possuía uma alta taxa de energia inercial, impedindo o decaimento da forças de elevação vertical do VANT em tempo hábil. A problemática citada pode ser observada na Figura 4, a qual expõe a não estabilização do quadricoptero na altura determinada.

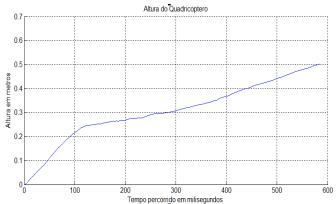


Figura 4 –O gráfico mostra a desestabilização da altura obtida pelo quadricoptero

Esse problema foi solucionado por meio do controle minucioso da aceleração e velocidade em que o quadricoptero adquiria em sua elevação vertical, impondo um limite máximo de aceleração e velocidade, respectivamente, de 0,1m/s² e 0,2m/s. E no que corresponde, ao limite mínimo de aceleração e velocidade foram usados os seguintes valores: -0,1 m/s² e -0,05 m/s. Os limites numéricos estipulados da aceleração e velocidade, são frutos de diversos testes, os quais tinham o objetivo de procurar valores ótimos para o quadricoptero simulado. Em função disso, na Figura 5, é exposto um fluxograma que descreve a técnica de controle citada.

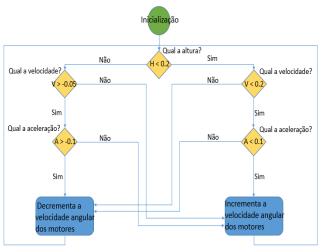


Figura 5 - Fluxograma da técnica de controle desenvolvida

Assim, através da técnica de controle empregada, foram feitas limitações no ganho de aceleração e velocidade por parte do *drone* simulado, o que fomentou na diminuição dos efeitos provocados pela inércia, ocasionando na estabilização do quadricoptero a uma altura de 0,2 metros, como é exposto na Figura 6.

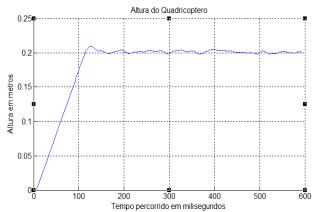


Figura 6 –O gráfico expõe o momento de estabilização do quadricoptero

# VI. CONTROLE DE ESTABILIZAÇÃO

Após o aprimoramento do modelo inicialmente desenvolvido, por meio das correções descritas, realizou-se mais 100 testes, os quais resultaram na descoberta de um novo problema no que se diz respeito às características específicas que cada motor integrante do quadricoptero

possuía. Esse consiste no tempo de resposta que cada rotor apresentava, visto que ao aplicar-se um mesmo nível de tensão elétrica em todos os motores, o empuxo produzido por eles era diferenciado em um dado intervalo de tempo. Tal comportamento está em conformidade com os resultados dos experimentos de [3], o qual através de um *encoder* mediu as velocidades angulares dos quatros rotores utilizados em seu *drone*. Desta forma, cada motor apresentou especificações únicas, provando que as características funcionais de um motor elétrico só podem ser mensuradas através de experimentos práticos. Logo, a problemática descrita pode ser observada na Figura 7, a qual expõe a relação de altura *versus* tempo que cada motor do quadricoptero está em relação ao solo.

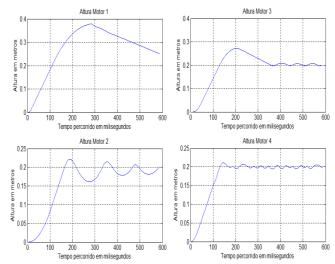


Figura 7 -Espaço percorrido por cada motor do drone

Com base na Figura 7, percebe-se a presença de oscilações na distância percorrida por cada rotor, já que que todos os seus movimentos são impulsionadas pelo empuxo gerados por seus motores. Nessa perspectiva, o quadricoptero apresentou um comportamento instável, devido as diferentes performances dos seus rotores modelados.

Contudo, para que ocorra a estabilização ideal do *drone*, cada motor dever possuir comportamentos exatamente iguais. Todavia, como discutido, isso não é possível em condições reais dada as características singulares dos rotores. Portanto, a alternativa desenvolvida para contornar tal problema, foi a aplicação de níveis diferenciados de voltagem para cada motor utilizado. Buscando dessa forma, a compensação das forças geradas por cada rotor.

Tal técnica, fomentou uma maior estabilidade do quadricoptero, pois possibilitou um comportamento mais estável e com mínimas diferenças na performance dos motores simulados, já que observou-se uma diferença ínfima ao comparar o espaço percorrido por cada rotor em um determinado intervalo de tempo. Diante disso, através da técnica descrita acima, os novos resultados podem ser visualizados na Figura 8.

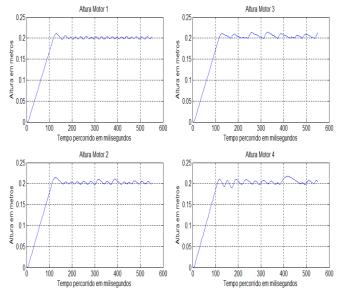


Figura 8 -Espaço percorrido por cada motor do *drone* com algoritmos de controle

#### VII. CONCLUSÃO

Portanto, diante das aplicações dos algoritmos de controle desenvolvidos e testados no *software* Scilab, percebeu-se que a técnica mais eficiente para melhorar a estabilidade do quadricoptero, dá-se por meio da aplicação de níveis diferenciados de voltagens nos rotores, os quais tendem a responder de formas distintas. Isto é, com as injeções de diferenças de potenciais variadas nos motores, esses tendem a funcionar com maior equidade, fato que confere maior estabilidade de voo ao quadricoptero. Logo abaixo, segue a Tabela I, que faz uma comparação entre as metodologias e resultados encontrados neste artigo, juntamente, com [7] e [5].

Tabela I – Comparação de Metodologias e Resultados

Autor	Metodologia	Resultado
Gomes e Aquino.	Estabilização do <i>drone</i> usando limites máximos e mínimos de aceleração e velocidade.	Controle de estabilização abrupto, ocorrendo pequenas oscilações durante voo simulado.
Li e Li (2011).	Uso de PID ( <i>Proportional-Integral-Derivative</i> ) para o controle de estabilização do quadricoptero.	Controle de estabilização suave, apresentando pequenas oscilações durante voo simulado.
Jiřinec (2011).	Uso do PID em conjunto com a linearização das equações de movimento para estabilização do <i>drone</i> .	Sistema de controle de estabilização ótimo, ocorrendo ínfimas oscilações durante voo simulado.

Com a observação da Tabela I, fica claro que os resultados obtidos neste trabalho estão análogos com os trabalhos de [7] e [5]. Diante do exposto, conclui-se que foi possível simular e controlar, computacionalmente, um quadricoptero de forma estável, eficiente e confiável.

Ademais, convém destacar que com o uso do Scilab, software livre, todas as equações e técnicas de estabilização foram implementadas gratuitamente, o que possibilita o desenvolvimento de modelos e simulações desses por um público abrangente sem restrições. Logo, sendo uma importante ferramenta para a construção e estabilização de quadricopteros autônomos para diversos fins.

## REFERÊNCIAS

- [1] Stochero, Tahiane. "Polêmicos e revolucionários, mais de 200 'drones' voam no país sem regra". G1, São Paulo, 23 março. 2013.
  - Disponível:<a href="http://g1.globo.com/brasil/noticia/2013/03/polemicos-e-revolucionarios-mais-de-200-drones-voam-no-brasil-sem-regra.html">http://g1.globo.com/brasil/noticia/2013/03/polemicos-e-revolucionarios-mais-de-200-drones-voam-no-brasil-sem-regra.html</a>>. Acesso em: 10 julho. 2013.
- [2] Güçlü, Anil. "Attitude and altitude control of an outdoor quadrotor". Thesis (Master of Science in Mechatronics Engineering) – The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Atilim University, Ankara(TR), 2012.
- [3] Costa, Sérgio Eduardo Pereira Aurélio Pereira da. "Controlo e imulação de um quadrirotor convencional". Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeroespacial) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa (PT), 2008.
- [4] Lemos, Nivaldo A. Mecânica analítica, 2.ed. São Paulo, 2007. 386p.
- [5] Jiřinec, Tomáš. "Stabilization and control of unmanned quadcopter". Thesis (Master of Science in Space Engineering) – Faculty of Eletrical Engineering, Czech Technical University, Prague (CZ), 2011.
- [6] Scilab Enterprises. About Scilab. Disponível em: <www.scilab.org/scilab/about >. Acesso em 13 julho. 2013.
- [7] Li, Jung e Li, Wung. "Dynamic Analysis and PID Control for a Quadrotor", in International Conference on Mechatronics and Automation, Beijing, China, 2011.