

# CONTROLE DIGITAL ADAPTATIVO PARA VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS: IMPLEMENTAÇÃO E TESTES

Rafael Cavalcanti Neto<sup>1</sup>; Gilson Jerônimo da Silva Junior<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudante do Curso de Engenharia Eletrônica - CTG - UFPE; E-mail: rafaelcneto@gmail.com,

<sup>2</sup> Docente/pesquisador do Depto de Eletrônica e Sistemas - CTG - UFPE. E-mail: gilsonjr@gmail.com.

**Sumário:** A presente pesquisa se propõe fazer um estudo comparativo entre um veículo aéreo não tripulado, neste caso um quadricóptero, com um sistema de controle PID (Proporcional-Integral-Derivativo) e o mesmo modelo com um sistema de controle digital adaptativo. Os procedimentos que compõem este estudo contemplam a montagem de um quadricóptero, a modelagem matemática da planta no tempo discreto, o projeto e análise dos sistemas de controle, e experimentos realizados em laboratórios. No projeto dos controladores é utilizada uma sintonia por métodos analíticos, que são realizados com o auxílio do *software* de cálculo numérico Scilab. Espera-se que os resultados do controle digital adaptativo sejam mais eficientes com relação a complexidade aritmética e a precisão, assim, ao fim da pesquisa, conjectura-se que seja possível desenvolver um projeto de um quadricóptero de baixo custo.

**Palavras-Chave:** controle digital adaptativo; controle PID; modelagem no tempo discreto; quadricóptero;

## INTRODUÇÃO

Muitos dos avanços da ciência e engenharia ocorrem graças ao controle automático de sistemas, então a constante evolução na área de controle gerou várias consequências, desde o alto desempenho e precisão nos processos industriais até a evolução de sistemas que permitem a estabilidade e robustez necessárias para aplicações autônomas. Essa evolução, nos dias atuais, é muito estudada para a crescente aplicação em veículos aéreos não tripulados, devido a suas aplicações militares e civis, e junto com suas aplicações cresce uma inquietação relacionada ao seu custo e a sua segurança durante voo. Percebe-se então a importância de discutir sobre a eficiência de seu sistema de controle, uma vez que quando aprimorado permitirá aplicações mais confiáveis, podendo melhorar a complexidade aritmética e a precisão, além de possivelmente diminuir seu custo.

Alguns trabalhos científicos estudaram algumas etapas isoladas que tangenciam esta pesquisa, como modelamento e controle de um quadricóptero grande (Pounds, Mahony, & Corke, 2010) e controle adaptativo robusto para quadricóptero (Nicol, Macnab, & Ramirez-Serrano, 2011), porém nenhum deles tem como objetivo real uma comparação direta, com caráter experimental para complementar a análise dos dados. É nesse ponto em que esta pesquisa se diferencia das antecessoras.

## MATERIAIS E MÉTODOS

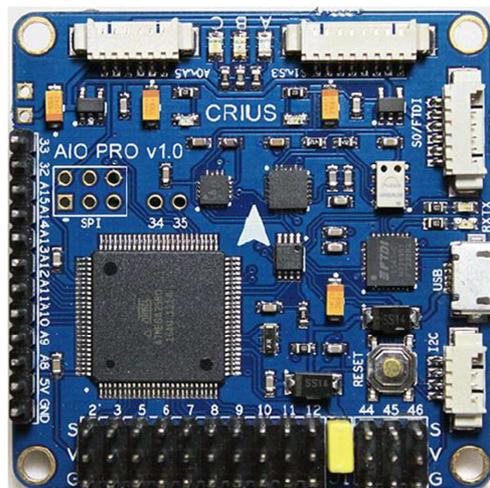
O projeto de pesquisa proposto tem 3 (três) etapas distintas, fora capacitação contínua, são elas: a montagem do quadricóptero, que envolve a especificação do *hardware* e a implementação do *firmware* de captura de sinais dos sensores; o modelamento da planta, projeto dos sistemas de controle e simulação; e a implementação do sistema de controle no quadricóptero, envolvendo testes. Esta pesquisa, de forma geral, é um estudo de caso que

tem etapas análises teóricas e etapas experimentais em laboratório. Abaixo será descrito a metodologia utilizada em cada uma das etapas supracitadas.

Na primeira seguinte, montagem do quadricóptero, foram escolhidos materiais e equipamentos utilizados em modelos de quadricóptero pessoais, que não são para aplicação comercial. Todos os componentes necessários para a construção de um modelo de 4 (quatro) hélices foram adquiridos, montados e testados, o quadricóptero montado pode ser observado na figura 1, que se encontra abaixo. Nesta especificação também foi selecionada a placa *Crius AIO PRO v1.0*, mostrada na figura 2, como controladora de voo. É necessário fazer a *firmware* que captura as informações dos sensores para utilizar na realimentação do sistema de controle, procedimento em que deve ser levantado os dados que caracterizam os sensores (acelerômetros, giroscópios e barômetros).



**Figura 1** - Quadricóptero montado para aplicação na pesquisa



**Figura 2** - A placa *Crius AIO PRO v1.0*, contém um microcontrolador além de acelerômetros e giroscópios para fazer a realimentação do controle.

A segunda etapa consiste na modelagem da planta em tempo discreto, na análise desta para o projeto dos sistemas de controle PID e CDA, e a simulação no *software* de cálculo numérico Scilab. No projeto dos controladores é utilizada uma sintonia por métodos analíticos, utilizando a alocação dos polos, lugar geométrico das raízes e resposta em frequência para garantir a estabilidade. A sensibilidade a uma perturbação em impulso e a

resposta uma entrada em degrau são utilizadas para verificar as características qualitativas e robustez.

Finalmente, na implementação do sistema de controle no quadricóptero, é utilizado o microcontrolador *ATmega2560*, presente na placa de controle de voo citada acima, com o *firmware* implementado em C++. Além disso é proposto uma maneira de realizar experimentos em laboratórios que permita a comparação de eficiência de diversos sistemas de controles implementados no quadricóptero.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

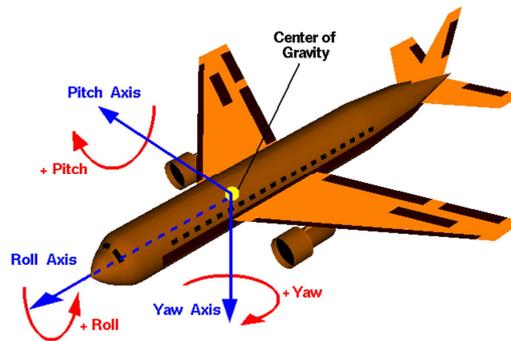
Durante a etapa de montagem do quadricóptero foi feita a implementação no *firmware* das rotinas de captura de dados dos sensores que seriam utilizados no sistema de controle em malha fechada. Na tabela 1 é possível as sensibilidades de cada uma das variáveis de realimentação, que são utilizados no modelamento do sensor agregado a planta.

<b>Acelerômetro</b>	<i>Escala completa</i>	+/- 8g
	<i>Sensibilidade</i>	512 LSB/g
	<i>Variável medida</i>	Aceleração nos eixos x, y e z
<b>Giroscópio</b>	<i>Escala completa</i>	+/- 2000°/seg
	<i>Sensibilidade</i>	0,2442°/seg
	<i>Variável medida</i>	Velocidade Angular em torno dos eixos x, y e z.
<b>Altitude</b>	<i>Sensibilidade</i>	1 cm/bit
	<i>Velocidade de variação</i>	1 cm/seg

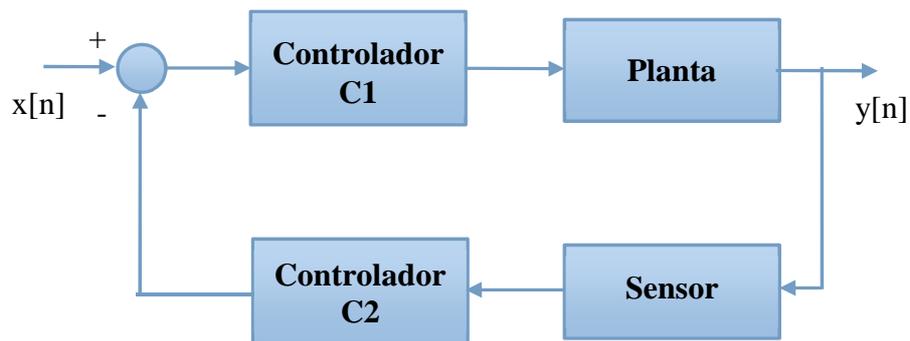
Tabela 1. Resumo dos dados de obtidos pelos sensores e utilizados para realimentação

Ao iniciar o procedimento de modelamento matemático foi verificado que a planta é MIMO (*multiple input multiple output*), porém é possível simplificá-la em 4 (quatro) sistemas SISO (*single input single output*), sendo 1 (um) sistema translacional, que permita o quadricóptero elevar ou diminuir sua altitude de voo, e 3 (três) sistemas rotacionais. Nestes últimos três, as variáveis a serem controladas são os ângulos de Tait-Bryan, que são respectivamente empenamento (*pitch*), cabeceio (*yaw*) e balanceio (*roll*). Na figura 3 é possível observar os três ângulos em uma aplicação aeroespacial.

Desta maneira o diagrama de blocos de um sistema completo pode ser observado na figura 4. O controlador C2 é utilizado para implementar o controlador que vai ser responsável pelo controle em si da planta, enquanto o controlador C1 é utilizado para compensar as constantes calculadas na planta.



**Figura 3** - Ângulos de Tait-Bryan em aplicação aeroespacial.



**Figura 4** - Formato do sistema de controle implementado.

Devido a as dificuldades enfrentadas não foi possível até o presente momento terminar as atividades planejadas. Dos quatro sistemas de controle SISO que precisam ser projetados três foram realizados e simulados, um destes teve sua implementação para testes iniciada.

### CONCLUSÕES

Dos resultados adquiridos através do *software* de cálculo numérico Scilab, foi possível perceber que o controle digital adaptativo apresentou uma melhora de desempenho quando comparado com o PID. Porém não foi possível realizar o experimento com o quadricóptero até o momento. Caso se prove na experimentalmente válida a hipótese, como esperado, abrem-se oportunidades de estudo que podem dar continuidade a esta pesquisa, como por exemplo a utilização de microcontroladores mais simples sem unidade de ponto flutuante em *hardware* trabalhando com controle digital adaptativo.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Inovação Multidisciplinar - i9 e Prof. Frederico Nunes do departamento DES pelo espaço cedido para realização do experimento e ao graduando em engenharia eletrônica na UFPE Paulo Freitas de Araujo Filho por sua colaboração contínua.

### REFERÊNCIAS

- [1] P. Pounds, R. Mahony, P. Corke. Modelling and control of a large quadrotor robot. Elsevier - Control Engineering Practice 18 (2010)
- [2] C. Nicol, C.J.B. Macnab, A. Ramirez-Serrano. Robust adaptative control of a quadrotor helicopter. Elsevier - Mechatronics 21 (2011)