

# Desenvolvimento de uma plataforma de validação constituída de um helicóptero de 1- DoF e projeto de um controlador PID

Autores: Vinícius Natan de Oliveira, Adilson de Souza Cândido (orientador) - IFSP Campus  
Bragança Paulista - E-mail para contato: [candido@ifsp.edu.br](mailto:candido@ifsp.edu.br)

- 01
- 02
- 03
- 04

- 05
- 06
- 07
- 08
- 09
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17



**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE VALIDAÇÃO  
CONSTITUÍDA DE UM HELICÓPTERO DE 1-DOF  
E PROJETO DE UM CONTROLADOR PID**

Vinicius Natan de Oliveira<sup>1</sup>, Adilson de Souza Cândido<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia de Controle e Automação, IFSP - *campus* Bragança Paulista.

<sup>2</sup>Professor Doutor do curso de Engenharia de Controle e Automação, IFSP - *campus* Bragança Paulista

## INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

### Contextualização

Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é um termo genérico que identifica uma aeronave que pode voar sem tripulação, normalmente projetada para operar em situações perigosas e repetitivas em regiões consideradas hostis ou de difícil acesso (FURTADO et al., 2008).

Atualmente os VANTs estão alcançando um ponto crítico no que se refere a possibilidades de aplicações no cenário civil/comercial, além de restrições devido à falta de regulamentação ocasionada, principalmente, pela dificuldade na comprovação da segurança do voo.



## INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Uma destas principais limitações da ampliação da utilização dos drones recai na crescente dificuldade do desenvolvimento da concepção de estratégias de controle que sejam mais eficientes, confiáveis e tolerantes a falhas, aplicadas a aeronaves sujeitas a ambientes e situações cada vez mais complexos.

Diante disto, propõe-se nesta pesquisa o projeto e o desenvolvimento de estratégias de controle PID (Proporcional-Integral-Derivativo), que servirá como base para a validação do ambiente de controle de abordagens mais complexas.

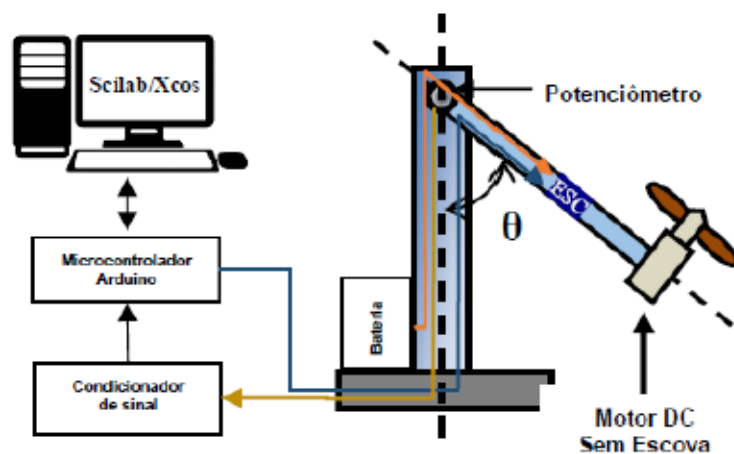
## DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA

A plataforma de validação de estratégias de controle a ser desenvolvida neste projeto é constituída de um protótipo de um helicóptero de 1-DoF que apresenta uma hélice acoplada a um motor de corrente contínua sem escovas fixada a uma haste articulada. Ligado ao motor tem-se o ESC (controlador de velocidade eletrônica, do inglês Electronic Speed Controller), responsável pelo controle de velocidade do motor. Este sistema utiliza um microcontrolador do tipo Arduino, onde foi implementado um controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID). Para fins de análise da proposta, utilizou-se do software computacional livre Scilab/Xcos para realizar simulações de um modelo equivalente da planta.



DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE VALIDAÇÃO CONSTITUÍDA DE UM HELICÓPTERO DE 1-DOF  
E PROJETO DE UM CONTROLADOR PID

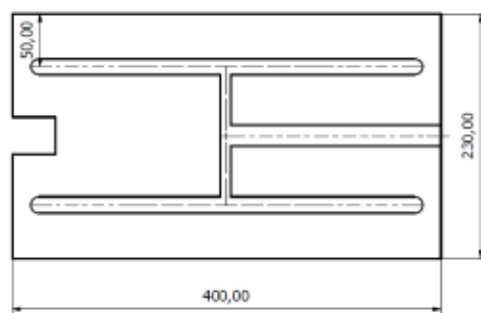
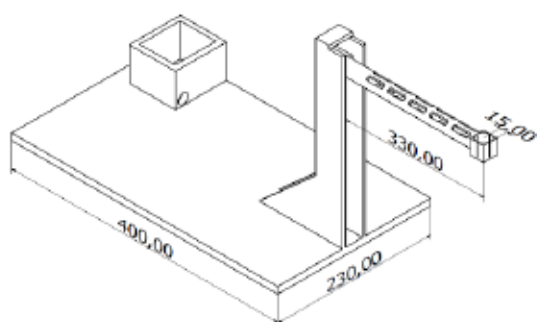
## DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA



Representação da bancada de validação do modelo geral de um helicóptero de um grau de liberdade.

## DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA

A estrutura do protótipo representada abaixo pode ser dividida entre uma base com ventosas para fixação e haste fixa vertical em madeira, e haste móvel articulada perfurada em PVC.



DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE VALIDAÇÃO CONSTITUÍDA DE UM HELICÓPTERO DE 1-DOF  
E PROJETO DE UM CONTROLADOR PID



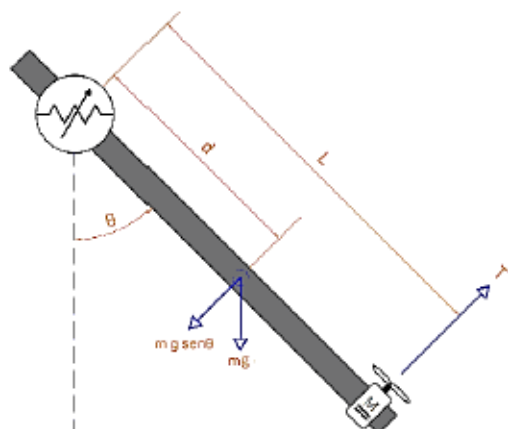
## DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA



Montagem final da estrutura mecânica do protótipo.

Conforme é possível observar, há um suporte para um transferidor na extremidade da haste fixa vertical a fim de se identificar o deslocamento angular entre esta haste fixa e a móvel, equivalente ao ângulo de arfagem do protótipo da aeronave.

## DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA



### Modelagem Matemática

A figura ao lado apresenta o diagrama de corpo livre do protótipo do helicóptero de 1-DoF a ser considerado para o desenvolvimento do modelo matemático. Na extremidade da haste móvel há um motor DC acoplado a uma hélice que proporcionará a força de sustentação.

## DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA

A função de transferência da planta de 1-DoF pode ser descrita como sendo:

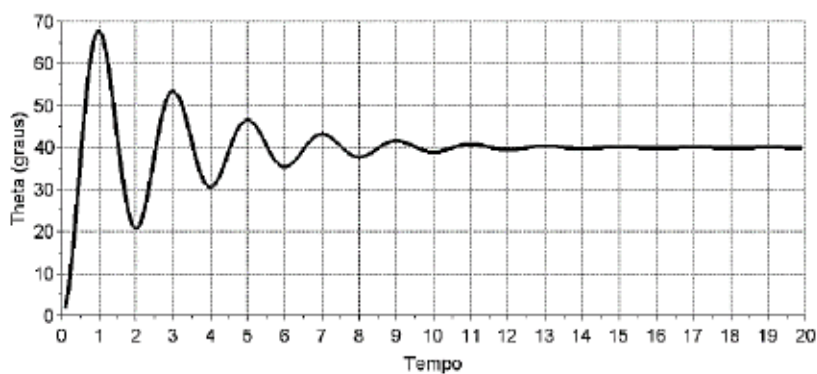
$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{\frac{K_m}{J}}{s^2 + \frac{c}{J}s + \frac{mgd}{J}}$$

Em que:

- $\theta$  = posição angular
- $V$  = tensão aplicada no motor
- $K_m$  = parâmetro de relação (tensão-propulsão)
- $J$  = momento de inércia
- $c$  = coeficiente de atrito viscoso
- $m$  = massa da haste móvel
- $g$  = aceleração da gravidade
- $d$  = distância entre o centro de massa e o ponto de articulação

## DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA

Em malha aberta, como resultado da simulação mostrada abaixo foi considerado a aplicação de uma tensão fixa de 2,5 V. Nestas condições, o ângulo de arfagem da haste móvel se estabilizou em 40°.

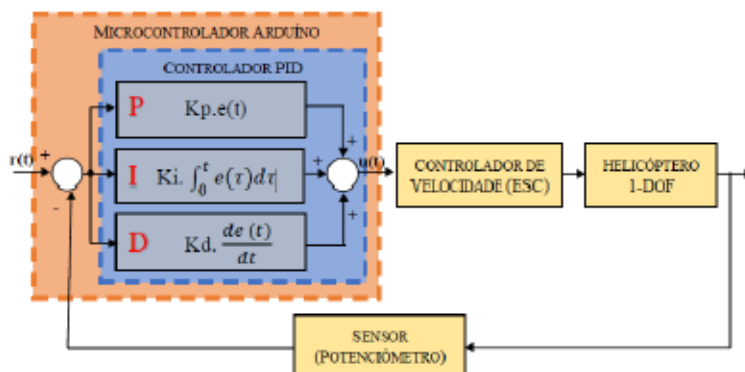


DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE VALIDAÇÃO CONSTITUÍDA DE UM HELICÓPTERO DE 1-DOF  
E PROJETO DE UM CONTROLADOR PID

## DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA

### Implementação do controlador PID

O objetivo do controlador PID representado ao lado e implementado neste projeto é manter o ângulo  $\theta$  relacionado com o ângulo de arfagem do protótipo em um valor pré-estabelecido pelo usuário (limitado entre zero a aproximadamente 100 graus).

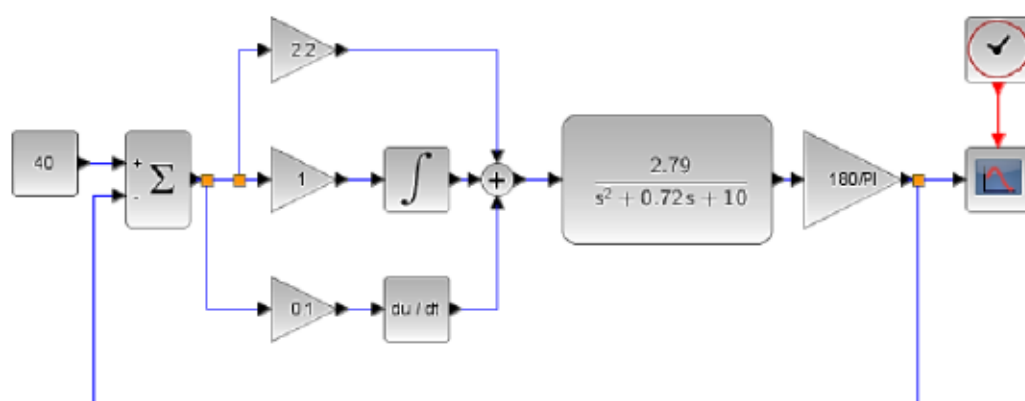


## DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA

### Atuação do controlador PID

Este controlador, exige a sintonia de três parâmetros:  $K_p$  (proporcional),  $K_i$  (integral) e  $K_d$  (derivado), atuando tanto no regime transitório quanto no regime permanente do sistema.

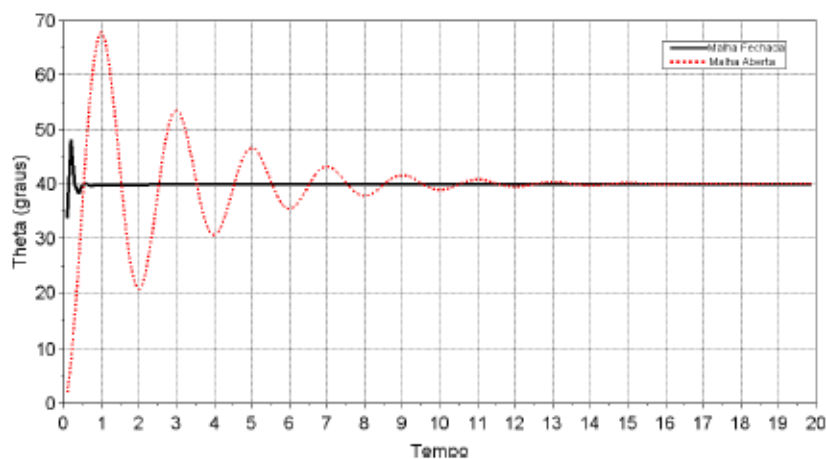
- Ação  $K_p$  - pode reduzir as oscilações da variável de controle (ângulo de arfagem), mas não garante que a mesma esteja no valor desejado (referência).
- Ação  $K_i$  - elimina o erro em regime permanente.
- Ação  $K_d$  - reduz as oscilações do sobressinal da resposta de saída.

**DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA****Simulação via software Scilab/Xcos**

Parâmetros de simulação obtidos em (KIZMAZ, AKOSY e MURUCH, 2010)

## RESULTADOS E CONCLUSÃO

A fim de melhorar o desempenho da resposta de saída, fecha-se a malha de controle deste sistema e aplica-se o controlador PID. O resultado comparativo é mostrado abaixo:





## RESULTADOS E CONCLUSÃO

Portanto, os resultados de simulação no ambiente Scilab/Xcos demonstraram a viabilidade desta solução no que se refere a utilização de recursos de baixo custo para a validação de estratégias de controle do tipo Proporcional-Integral-Derivativo, bem como por permitir a análise gráfica do sistema em um ambiente dedicado computacional.

Para trabalhos futuros pretende-se ampliar o grau de liberdade desta aeronave, incluindo, por exemplo, uma segunda haste articulada acoplada a dois motores e a realização da análise da robustez desta estratégia de controle. Ademais, faz-se necessário a realização da identificação da planta desenvolvida em bancada a fim de se obter os parâmetros equivalentes para a simulação.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo (PIBIFSP), pelo incentivo financeiro neste projeto no que se refere ao desenvolvimento das atividades de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação.

## BIBLIOGRAFIA

FURTADO, V. H. et al. "Aspectos de segurança na integração de veículos aéreos não tripulados (VANT) no espaço aéreo brasileiro". Anais do VII Simpósio de Transporte aéreo-Sitraer, p. 506-517, 2008.

KIZMAZ, H.; AKOSY, S. e MURUCH, A. *Sliding mode control of suspended pendulum*, Modern Electric Power Systems, 2010, Wroclow, Poland.

SCILAB ENTERPRISES. About Scilab. Disponível em: <[www.scilab.org/scilab/about](http://www.scilab.org/scilab/about)>. Acesso em: 01 nov. 2016.

KIZMAZ, H.; AKOSY, S. e MURUCH, A. *Sliding mode control of suspended pendulum*, Modern Electric Power Systems, 2010, Wroclow, Poland.

GOMES, R. C.; THÉ, G. A. P. Estratégia de Navegação Tolerante a Falha de Motores em Quadrirotores com Controle PID. In: ENCONTRO ANUAL DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E SEMANA ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO. 1, 2015. Frederico Westphalen. Anais... 2015. p. 116-123.