

# Sistemas de Defesa: Uma abordagem para desvios de obstáculos no auxílio do controle de um quadricóptero em tempo real

Bruno da Silva Giovanini

Paulo F.F. Rosa<sup>1</sup>  
(Orientador)

<sup>1</sup>Instituto Militar de Engenharia - IME  
Laboratório de Robótica e Inteligência Computacional  
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Defesa

3 de fevereiro de 2015

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão
- 9 Referências

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão
- 9 Referências

# Introdução I

- Crescente utilização para missões civis e militares
- Voos em ambientes fechados e restritos
- Risco de colisão com equipamentos críticos e sensíveis
- Difícil controle e manuseio

# Introdução II

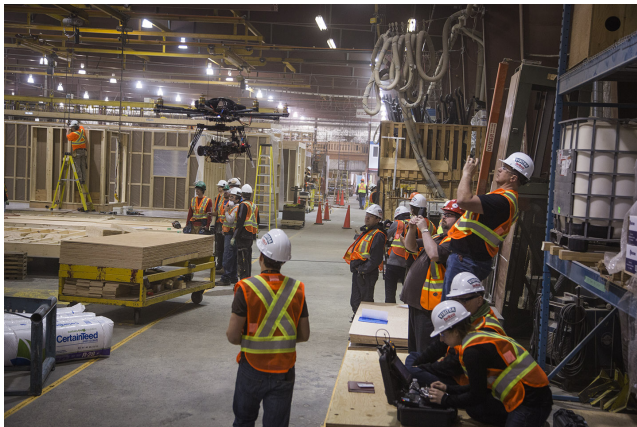


Figura: Filmagem *indoor*

# Introdução III



Figura: Inspeção de equipamentos sensíveis

# Objetivo

- Evitar colisões de um quadricóptero, estimando constantemente a trajetória futura do veículo, com base na sua dinâmica, seu estado atual, o *input* de controle corrente e a distância para os obstáculos, medida através de sensores ultrassônicos embarcados
- Maior segurança no voo desta plataforma em ambientes restritos

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias**
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão
- 9 Referências



# O quadricóptero - A Plataforma

- Veículo voador com quatro rotores com decolagem e aterrissagem vertical [9]

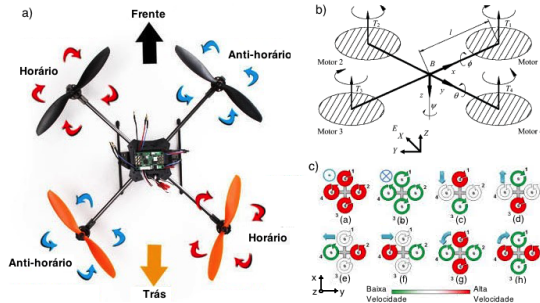


Figura: Plataforma Parrot Ardrone 2.0. Fonte [1]

# O quadricóptero - Dinâmica de Voo I

- Seis graus de liberdade com quatro atuadores
- Mantem estabilidade com 4 motores independentes e controle eletrônico

# O quadricóptero - Dinâmica de Voo II



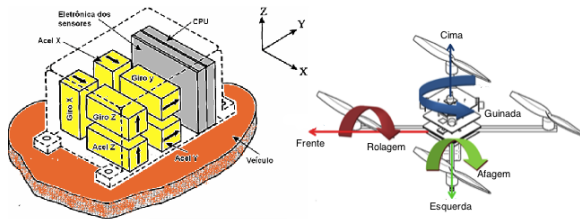
**Figura:** Estrutura e orientação dos motores (a), as forças e momentos atuando no quadricóptero (b) e os movimentos gerados a partir das variações de velocidades dos motores (c). Fontes [2], [8] e [4].

# Sistemas embarcados para navegação

- Obtenção de informações sobre a posição, velocidade e atitude de um veículo com relação a um dado referencial
- Fornecidas por sensores inerciais: acelerômetros e giroscópios
- Magnetômetros incluídos melhoram a medida da atitude do veículo

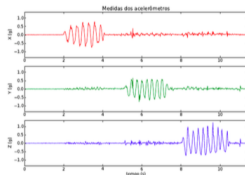
# IMU I

- Componente eletrônico onde estão montados os sensores.
- Três acelerômetros: aceleração linear ( $x, y, z$ )
- Três giroscópios: velocidade angular ( $\phi, \theta, \psi$ )

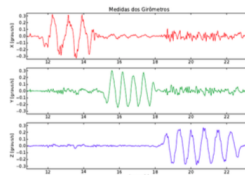


**Figura:** Estrutura do Sistema de Navegação acoplada ao veículo (esquerda) e os movimentos gerados no quadricóptero (direita). Fonte [5]

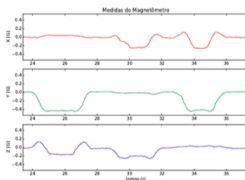
## IMU II



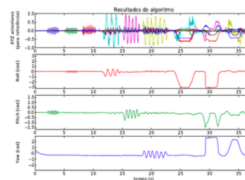
(a) Medições do acelerômetro



(b) Medições do giroscópio



(c) Medições do magnetômetro



(d) Resultado após o processamento das medições dos sensores

**Figura:** Gráfico das medições dos sensores inerciais da IMU do VANT-IME.  
 Fonte [3]

# Controle PID I

- Método comum para controle de robôs
- Controle fechado que reage a mudanças no ambiente captadas por sensores
- Três parâmetros constantes: Proporcional (P), Integral (I) e Derivativo (D)

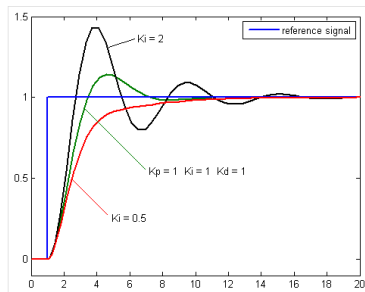
# Controle PID II

- Proporcional (P)
  - É tipicamente o erro.
  - Fórmula:  $A - B$ , onde  $A$  é a posição atual e  $B$  é onde deveria estar
- Integral (I)
  - É o acúmulo dos erros passados no tempo.
  - Fórmula:  $A/t_1 + B/t_2 + C/t_3$ , sendo  $A$  o erro em  $t_1$ ,  $B$  em  $t_2$  e  $C$  em  $t_3$
- Derivativo (D)
  - É a mudança do erro no tempo.
  - Fórmula:  $(A - B)/t$ , sendo  $A$  o erro inicial e  $B$  o erro depois do tempo  $t$



## Controle PID III

- Cada parâmetro tem seu ganho  $K$  associado
- Soma ponderada:  $P * K_p + I * K_i + D * K_d$



**Figura:** Desempenho do sistema para diferentes ganhos  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ . Fonte [6]

# PID para quadricópteros I

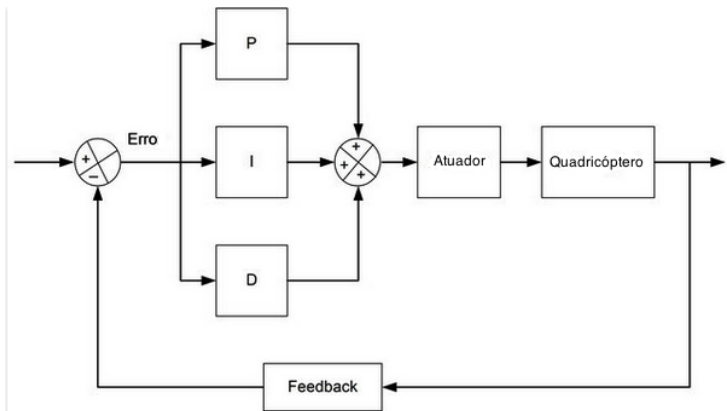


Figura: Controle PID de um quadricóptero. Fonte [7]

# PID para quadricópteros II

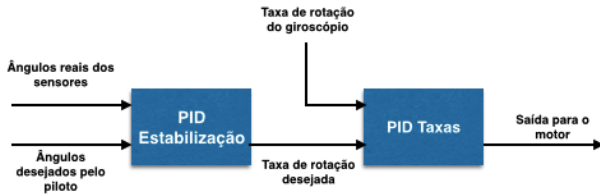


Figura: Controle PID por eixo. Fonte [7]

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero**
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão
- 9 Referências

# O Problema: Segurança em voo para quadricóptero I

- Auxiliar o controle da plataforma com base na dinâmica, estado atual, controle corrente e distância para obstáculos
- Dado  $\mathcal{X} \subset \mathbb{R}^n$  o espaço de estados do robô,  $\mathcal{U} \subset \mathbb{R}^n$  o espaço do *input* de controle,  $t$  o tempo,  $\mathbf{x}(t)$  o estado do robô no tempo  $t$  e  $\mathbf{u}(t)$  o *input* de operação no tempo  $t$ . A dinâmica do robô é uma função em  $\mathbf{f} \in \mathcal{X} \times \mathcal{U} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$  e é dada pela relação 1:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) \quad (1)$$

- Com  $\mathbf{x}_0 = \mathbf{x}(0)$  e uma constante de *input* de operação  $\mathbf{u}$ , o estado do robô será:

$$\mathbf{x} = \mathbf{g}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) \quad (2)$$

onde  $\mathbf{g} \in \mathcal{X} \times \mathcal{U} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathcal{X}$  é a solução da equação diferencial 1

# O Problema: Segurança em voo para quadricóptero II

- Obstáculos restringem as posições possíveis do robô
- Sendo  $\mathcal{O} \subset \mathbb{R}^3$ , a subárea do espaço  $\mathbb{R}^n$  de movimentos possíveis do robô ocupadas por obstáculos e as regiões escondidas por eles quando vistas robô e  $\mathcal{R}(x)$ , a subárea ocupada pelo robô no estado  $x \in \mathcal{X}$
- O Problema: Definir a menor variação de controle  $\Delta \mathbf{u} \in \mathcal{U}$  necessária para evitar colisão na janela de tempo  $t \in [0, \tau]$ , onde  $\tau$  é um horizonte de tempo já definido:

$$\begin{aligned} &\min: \Delta \mathbf{u} \\ &\text{Sujeito a: } \forall t \in [0, \tau], \mathcal{R}(\mathbf{g}(\mathbf{x}, \mathbf{u} + \Delta \mathbf{u}, t)) \cap \mathcal{O} = \emptyset \end{aligned} \tag{3}$$

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia**
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão
- 9 Referências

# Metodologia I

- Divisão em etapas

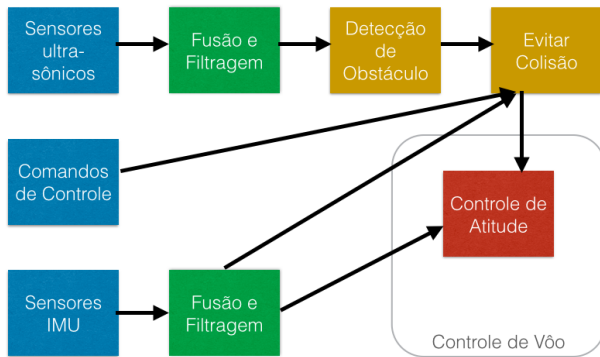


Figura: Etapas do método



# Metodologia II

- Componentes necessários
  - Plataforma de voo (quadricóptero) com interface de comunicação e SDK código aberto
  - Sensores ultrassônicos
  - *Computer on module* para embarque na plataforma: Raspberry PI
- Software necessário
  - Matlab com pacote Simulink
  - Kit de desenvolvimento para quadricópteros do Matlab Simulink
  - Raspberry Pi Support from MATLAB

# Metodologia III

- Estratégia de implementação

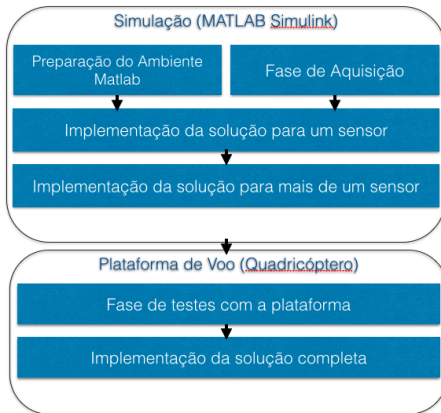


Figura: Estratégia de implementação

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma**
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão
- 9 Referências

# Cronograma

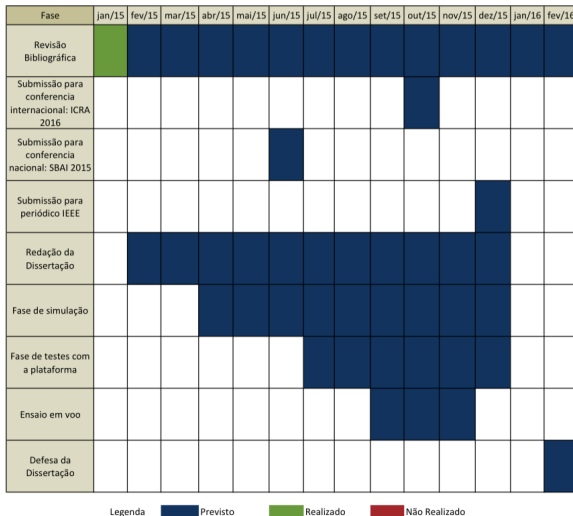


Figura: Cronograma físico.

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta**
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão
- 9 Referências

# Viabilidade da proposta

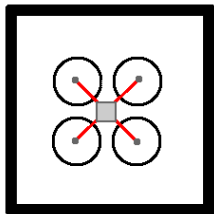
- Quatro quadricópteros com 45cm de diâmetro
- Dois Raspberry PI modelo B com processador de 700MHz, 512MB de memória
- Sensores ultrassônicos
- Matlab R2013a com Simulink

# Sumário

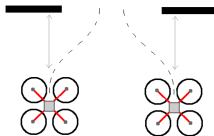
- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados**
- 8 Conclusão
- 9 Referências

## Resultados esperados

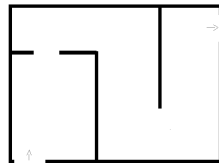
- Foram elaboradas três missões



**Figura:** Missão 1.  
Veículo cercado e estabilizado



**Figura:** Missão 2:  
Veículo em  
movimento com  
obstáculo a frente.  
Desvio pelos lados



**Figura:** Missão 3:  
Trajeto completo  
num ambiente com  
obstáculos



# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão**
- 9 Referências

# Conclusão

- Enfoque em um tema surgente e relevante
- Inúmeras aplicações na área de defesa
- Construção do módulo de desvio de obstáculos da plataforma VANT-IME

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão
- 9 Referências**

# Referências I



*AR.Drone Developer Guide.*



*Quadcopter (x-mode build log).*



R. A. da Paixao, P. F. F. Rosa, and J. M. M. Neto.

An attitude heading and reference system: basic concepts and prototype.

*In Industrial Electronics (ISIE), 2011 IEEE International Symposium on, pages 2225–2230. IEEE, 2011.*



J. M. B. Domingues.

Quadrotor prototype.

*Universidade Tecnica de Lisboa. Dissertacio, 2009.*



J. A. F. JUNIOR.

Simulação e implementação em tempo real de sistemas de navegação inercial integrados ins/gps.

*Master's thesis, IME, 2009.*

## Referências II



R. Kingdom.

Pid controller tutorial for robots.



O. Liang.

Quadcopter pid explained and tuning.



A. A. Mian and W. Daobo.

Modeling and backstepping-based nonlinear control strategy for a 6 dof quadrotor helicopter.

*Chinese Journal of Aeronautics*, 21(3):261–268, 2008.



A. L. Salih, M. Moghavvemi, H. A. Mohamed, and K. S. Gaeid.

Flight pid controller design for a uav quadrotor.

*Scientific Research and Essays*, 5(23):3660–3667, 2010.

## Perguntas?

bsgiovannini@gmail.com

