

Petrobras Expo Robótica



Automação de Embarcações de Superfície Não Tripuladas e Veículos Aéreos

José Paulo Vilela Soares da Cunha
Tiago Roux de Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica (PEL)
Faculdade de Engenharia (FEN)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Rio de Janeiro, 28 de novembro de 2018

Financiamento: FAPERJ, CNPq e CAPES

Petrobras Expo Robótica



Parte I: Embarcações de Superfície

Introdução: Embarcações de Superfície



- Tripuladas;
- Não tripuladas (*unmanned surface vessels* – USVs):
 - Autônomas (*autonomous surface vessels* – ASVs);
 - Teleoperadas.

Introdução: Aplicações de USVs



- Estudos oceanográficos, fluviais e atmosféricos;
- Busca submarina e de superfície com câmeras e sonares;
- Retirada de poluentes;
- Inspeção de navios;
- Apoio a operações com veículos submarinos autônomos (AUVs) e outros USVs;
- Repetidor de comunicação;
- Vigilância ...



Características de USVs

- **Propulsão:**
 - Motores elétricos;
 - Motores à combustão interna;
 - Velas.
- **Fontes de Energia:**
 - Baterias;
 - Painéis fotovoltaicos;
 - Combustíveis;
 - Ventos e correntes marinhas.
- **Comunicação:**
 - Rádio;
 - *Wi-Fi*;
 - 4G,
 - Satélite ...

Resposta Dinâmica de USVs

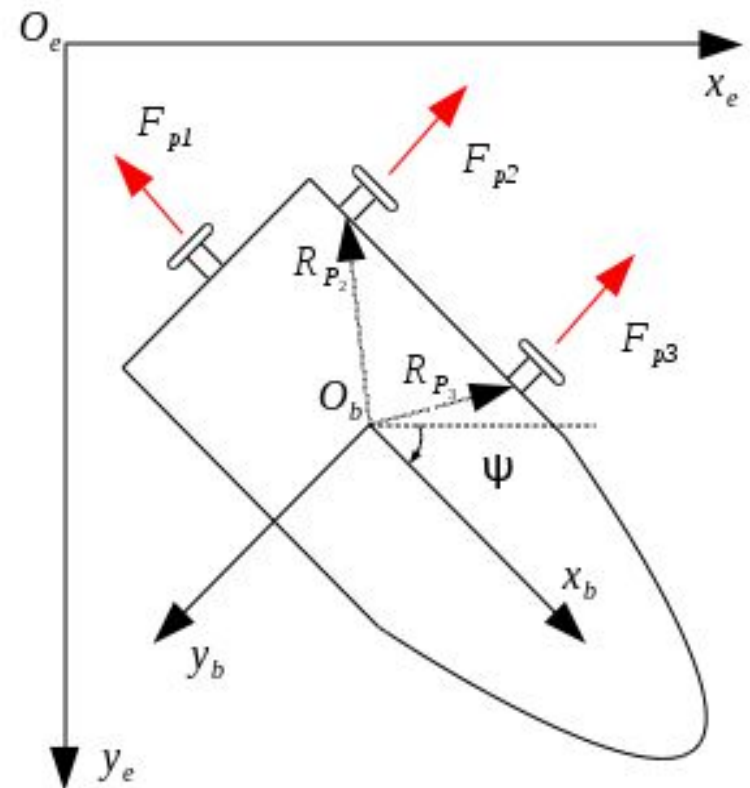


- **Parâmetros importantes** (Fossen, 2011; Rosario, 2017):
 - Massa, momentos de inércia e massas adicionais;
 - Centros: flutuação, massa e arraste;
 - Coeficientes de arraste;
 - Disposição e características dos propulsores.
- **Perturbações:**
 - Correnteza;
 - Ondas;
 - Vento;
 - Efeitos de equipamentos extra.

Sistema de Propulsão



- Alternativas para comando:
 - Propulsores orientáveis (ex.: motores de popa);
 - Lemes;
 - Composição de forças:



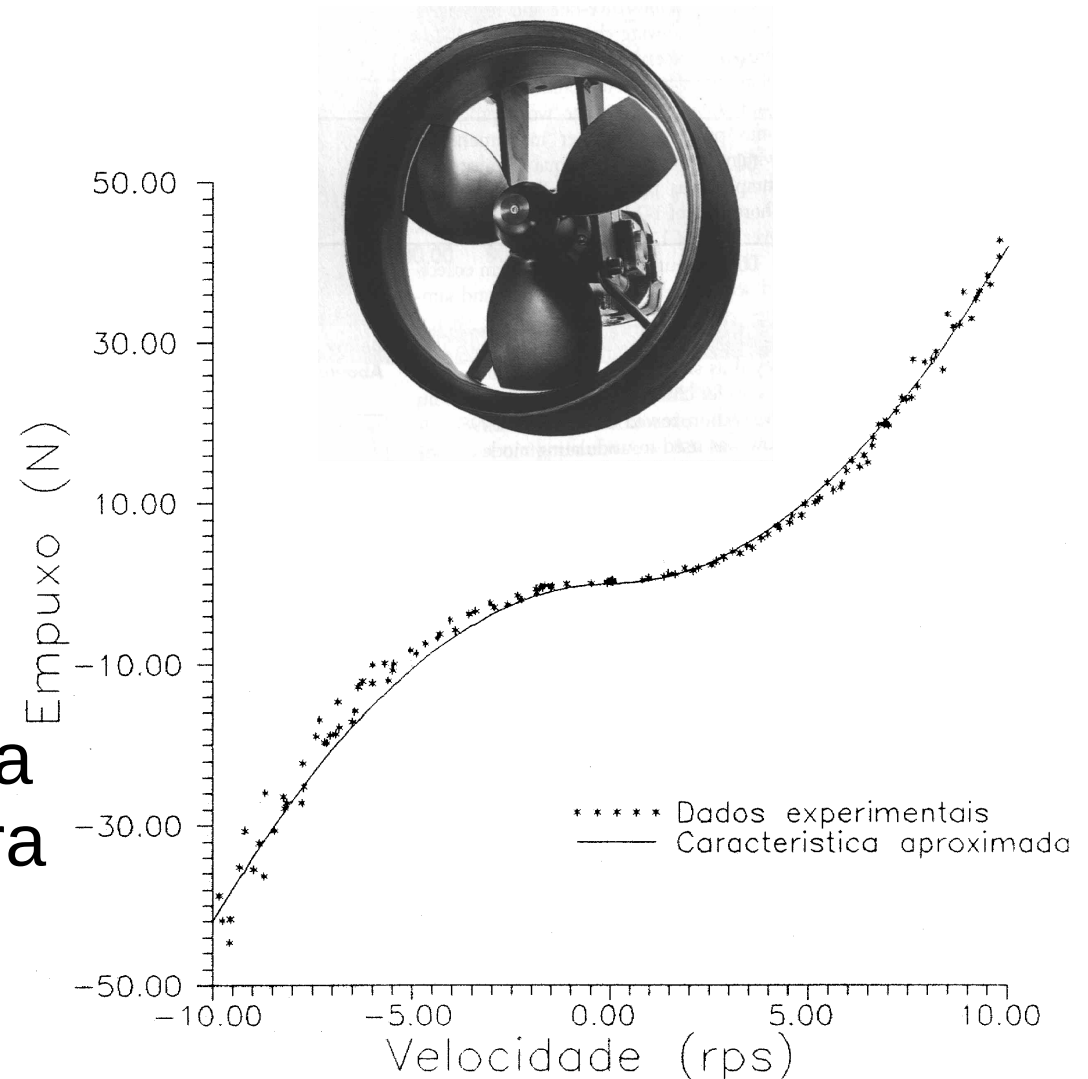
Propulsores

- Hélice + motor

- Empuxo do hélice
(Hsu *et alli*, 2000):

$$F_p = \alpha n_p |n_p|$$

- Característica quadrática
pode ser linearizada para
facilitar controle





Desenvolvimento de USVs

- Desenvolver USVs:
 - Pequeno porte,
 - Baixo custo,
 - Autônomos ou teleoperados.
- Aquisição de dados ambientais e meteorológicos.
- Promover trabalhos multidisciplinares:
 - Controle de embarcações;
 - Propulsão elétrica;
 - Energia solar;
 - Comunicação e sensores sem fios;
 - Autonomia.

1º USV Desenvolvido



- Monocasco





Arquitetura do 1º USV

- Comunicação, instrumentação e controle centralizados num *netbook*.
- Unidade de comando em terra: *laptop*.
- Sistema operacional Linux.
- Comunicação *Wi-Fi*.
- *Dois motores de popa elétricos* fixos.
- Alimentação: bateria 12V x 115Ah para barco.
- Desenvolvido por Schultze (2012).

Teste do 1º USV



2º USV em Desenvolvimento



- Catamarã



Arquitetura do 2º USV

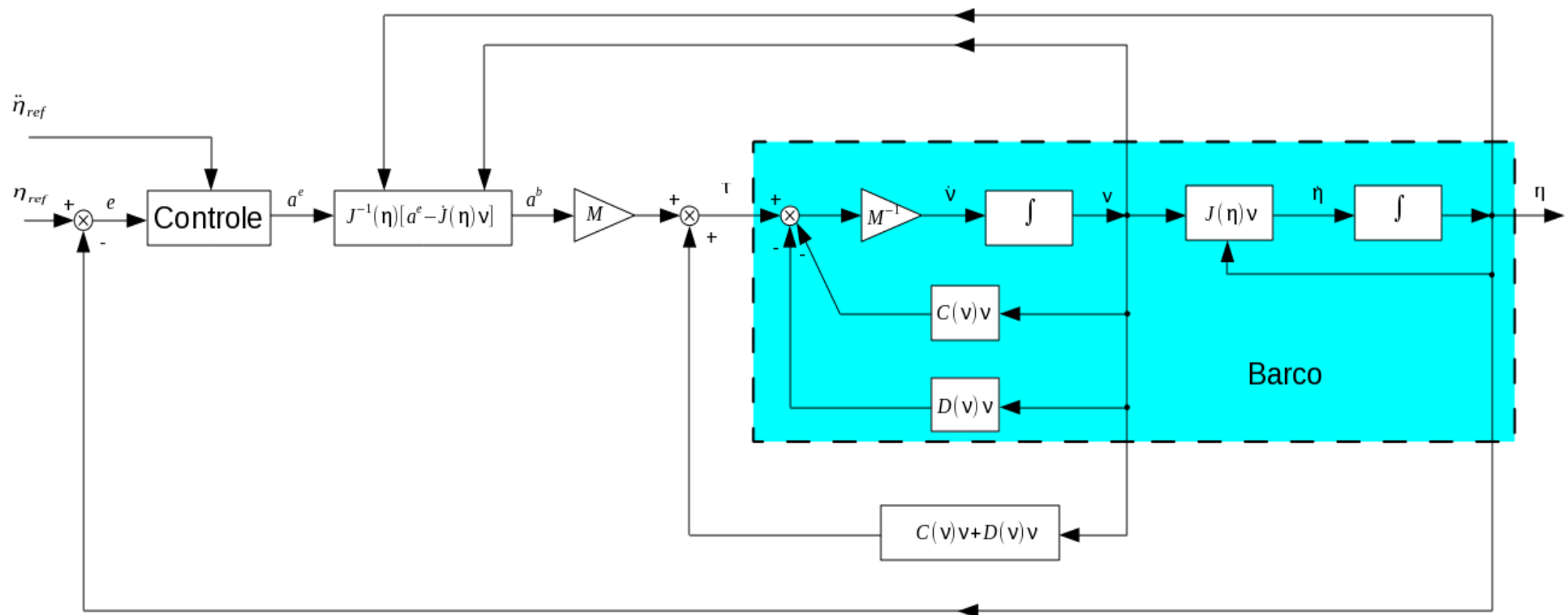


- Para ampliar autonomia operacional:
 - Energia fornecida por baterias e painéis fotovoltaicos;
 - Auto-ancoragem para economia de propulsão.
- Comunicação por roteadores *Wi-Fi* com maior alcance.
- Esquematizado por Pinto e Mok (2015).

Rastreamento de Trajetória para USV



- Estratégia (Rosario e Cunha, 2016 e 2017):
 - Linearização por realimentação e
 - Controle a estrutura variável – VSC.



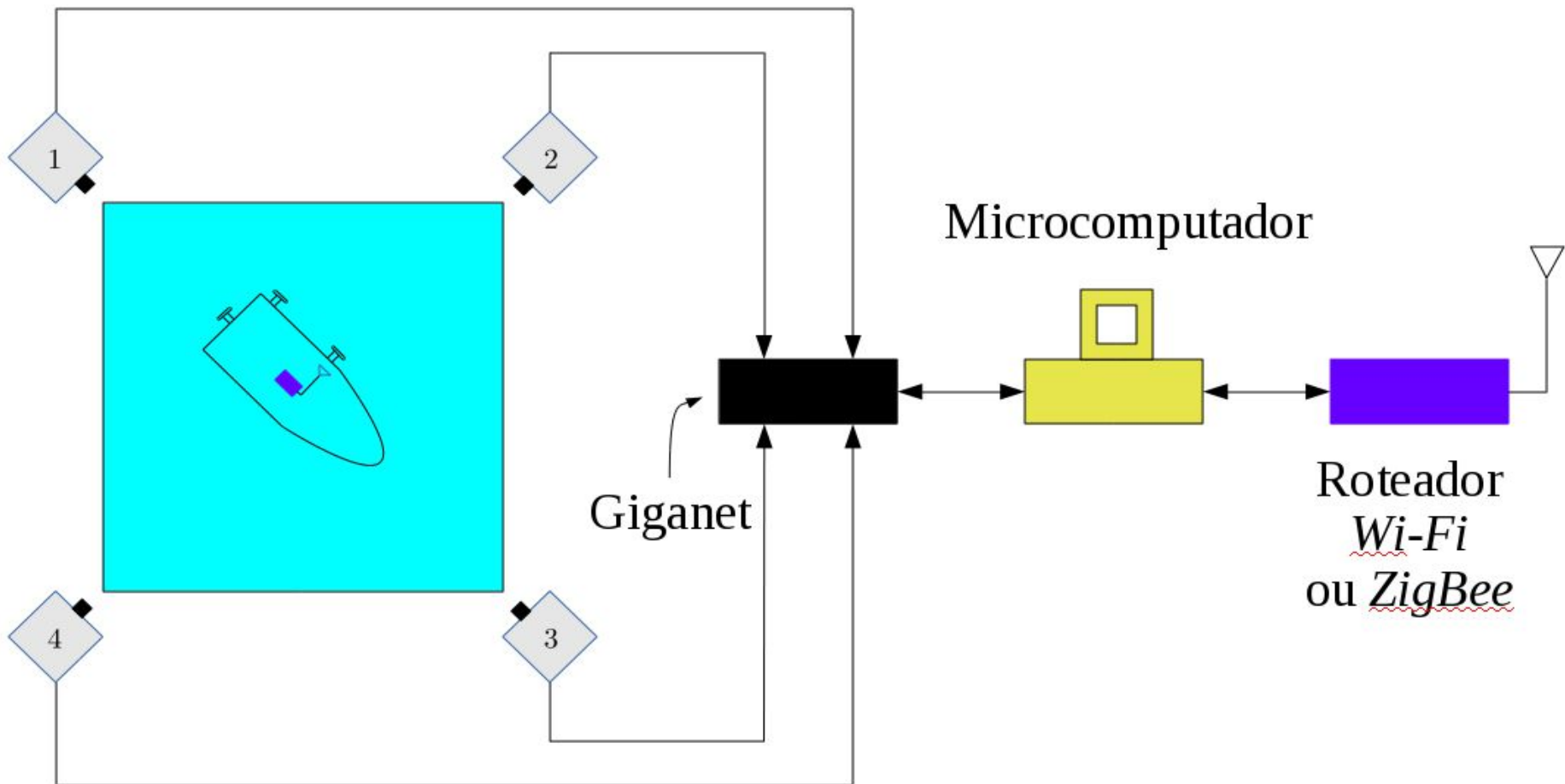
Sistema Visual de Captura de Movimento



- 4 câmeras T10S – 1 *megapixel*;
- 3 câmeras V5 – 5 *megapixel*;
- *LEDs estroboscópicos quase infravermelhos*;
- Alvos: esferas refletoras fixadas nos veículos;
- *Software Vicon Tracker*:
 - Medição da posição, orientação e velocidade 3D;
 - Amostragem até 1 kHz;
 - Precisão melhor que 1 mm.



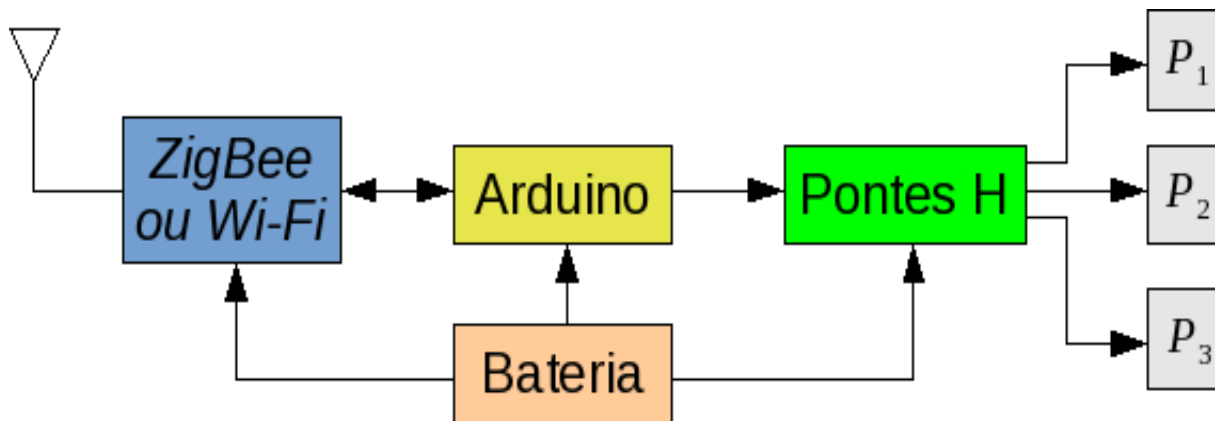
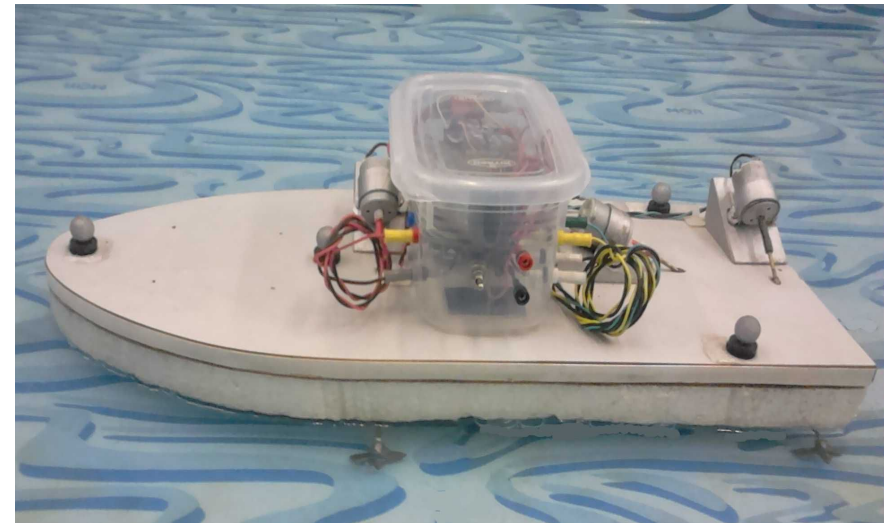
Sistema para Teste de Controladores



Barco para Teste de Controladores



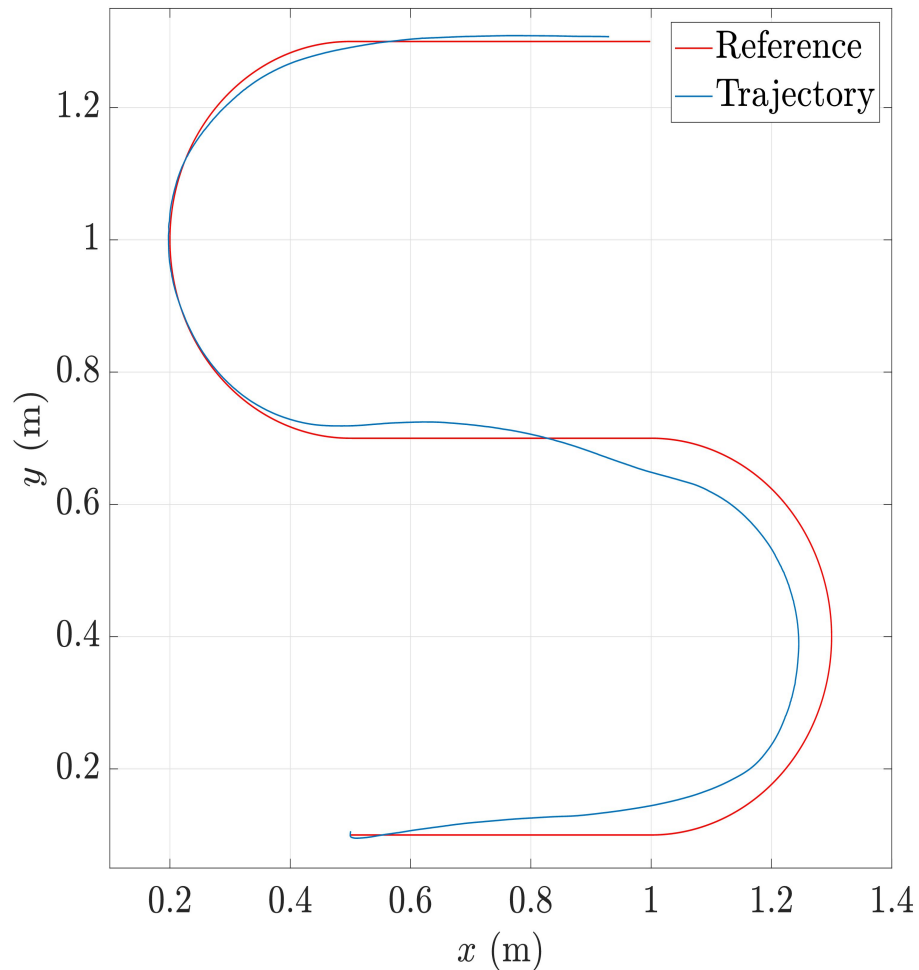
- Velocidade máxima: 0,26 m/s;
- Comprimento: 0,48 m;
- Massa: 1,3 kg;
- Três propulsores.



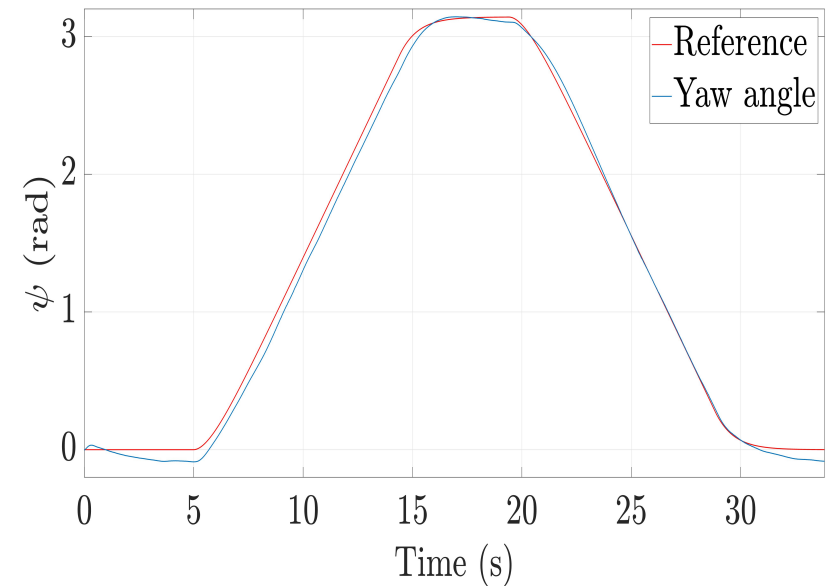
Experimentos: Rastreamento de Trajetória com Controle PD



(a) Trajectory in the horizontal plane



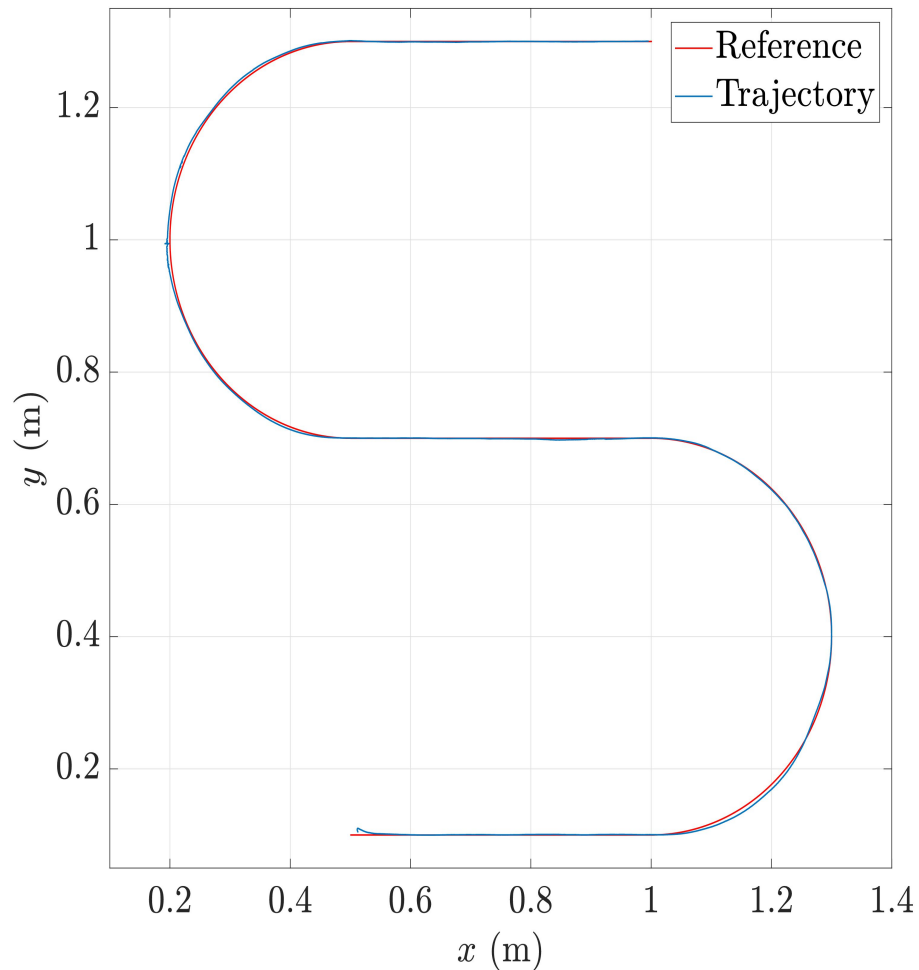
(b) Yaw angle



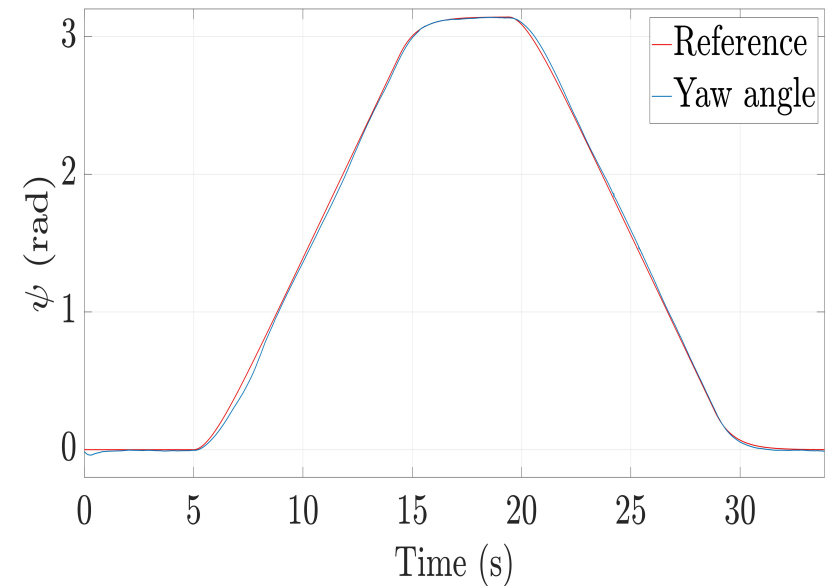
Experimentos: Rastreamento de Trajetória com VSC



(a) Trajectory in the horizontal plane



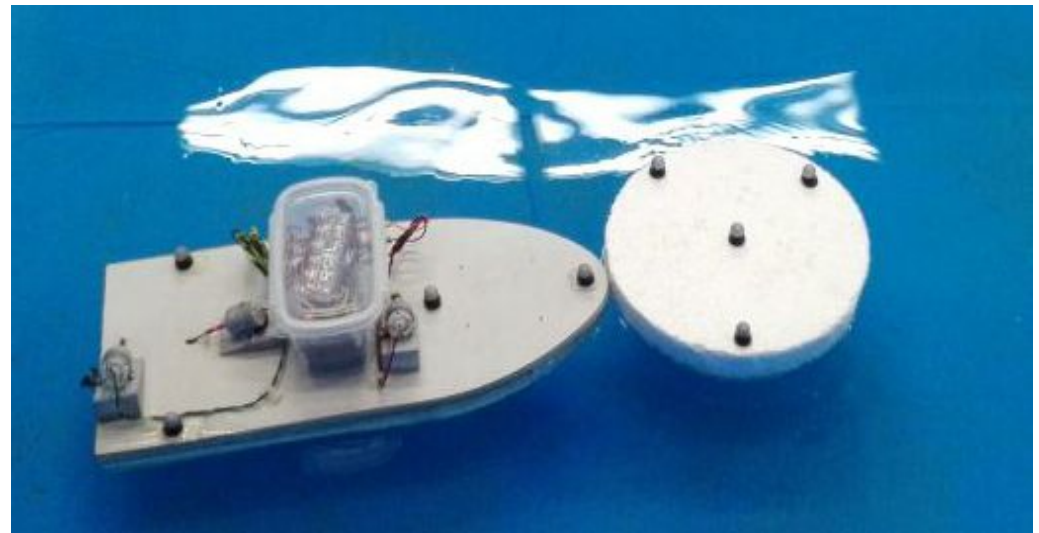
(b) Yaw angle



Barco Empurrando Carga Flutuante



- Aplicações:
 - Mover cargas flutuantes;
 - Mover barcos enguiçados;
 - Atracar barcos.
- Empurrar dispensa amarras.



Barco Empurrando Carga Flutuante

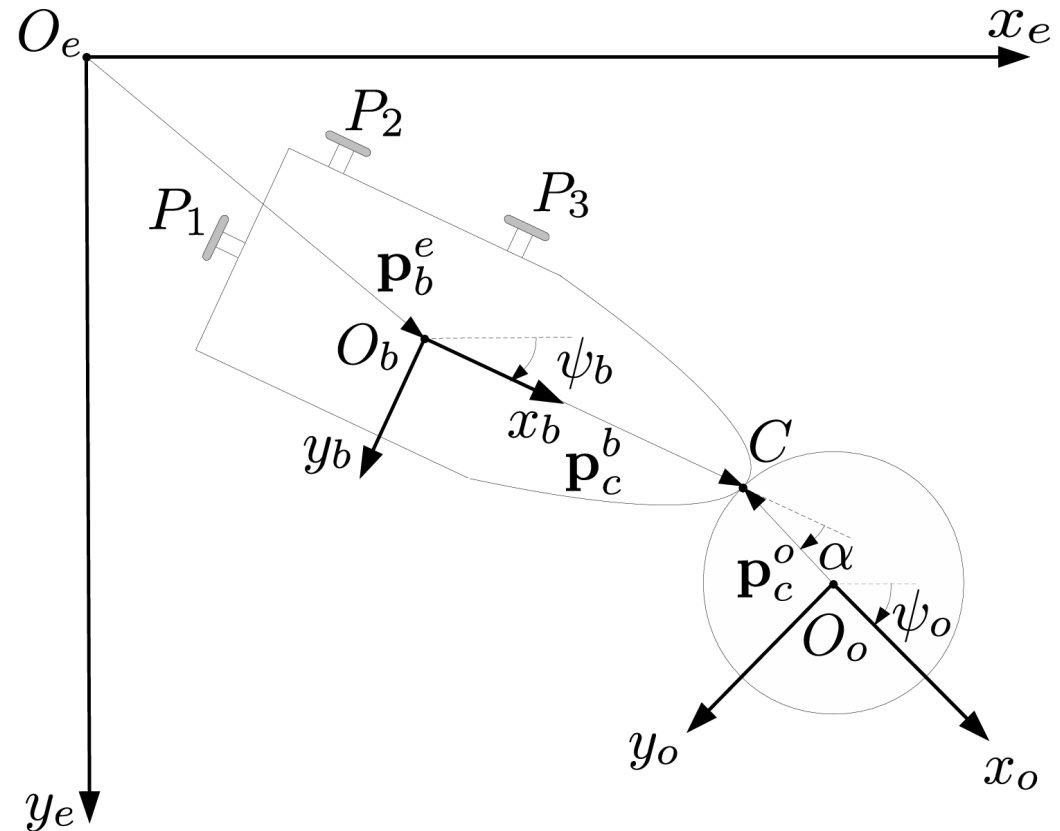


- **Dificuldades:**

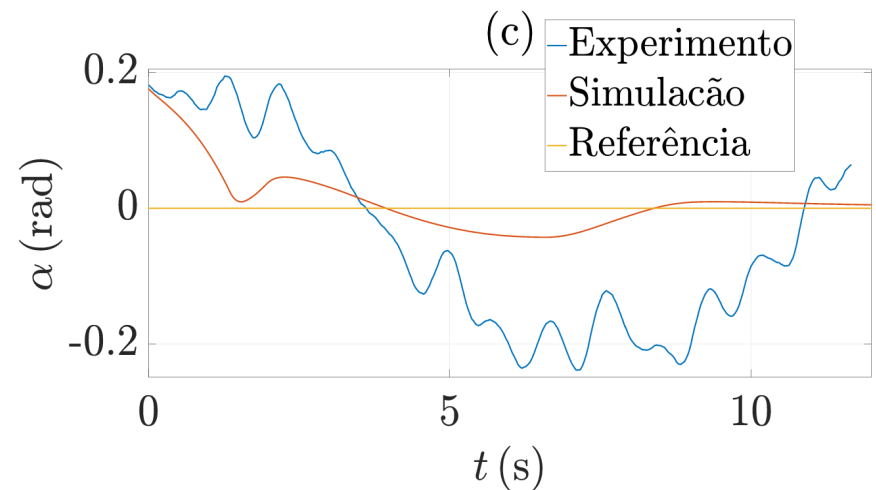
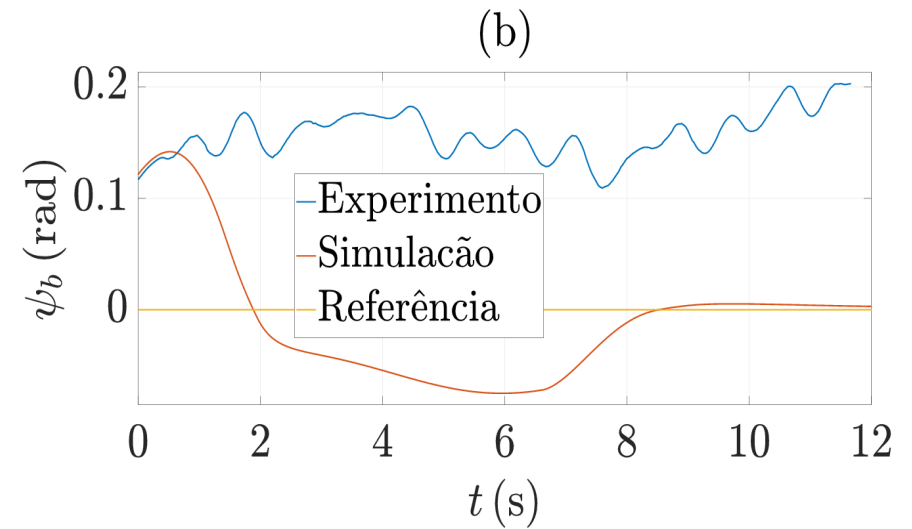
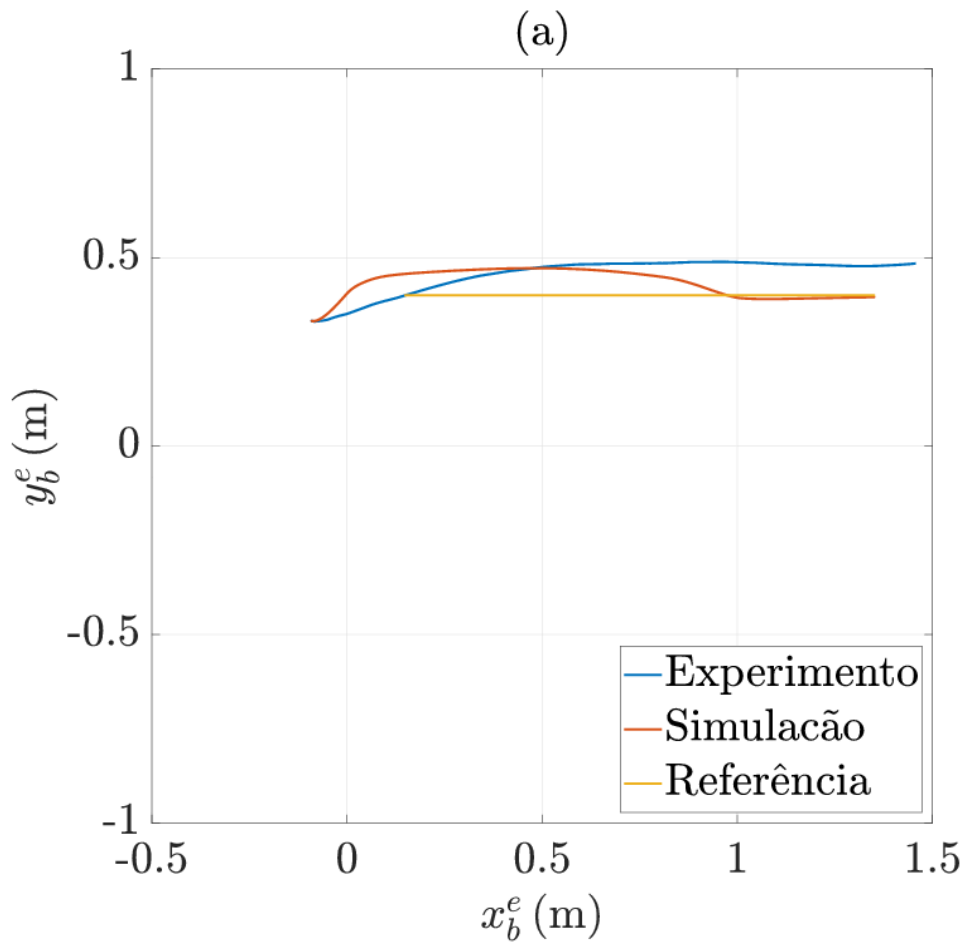
- Sistema subatuado:
3 propulsores x 4 graus de liberdade;
- Dinâmica instável;
- Perturbações.

- **Solução** (Rosario e Cunha, 2018):

- Linearização parcial por realimentação;
- Controle a estrutura variável.



Barco Empurrando Carga Flutuante



Petrobras Expo Robótica

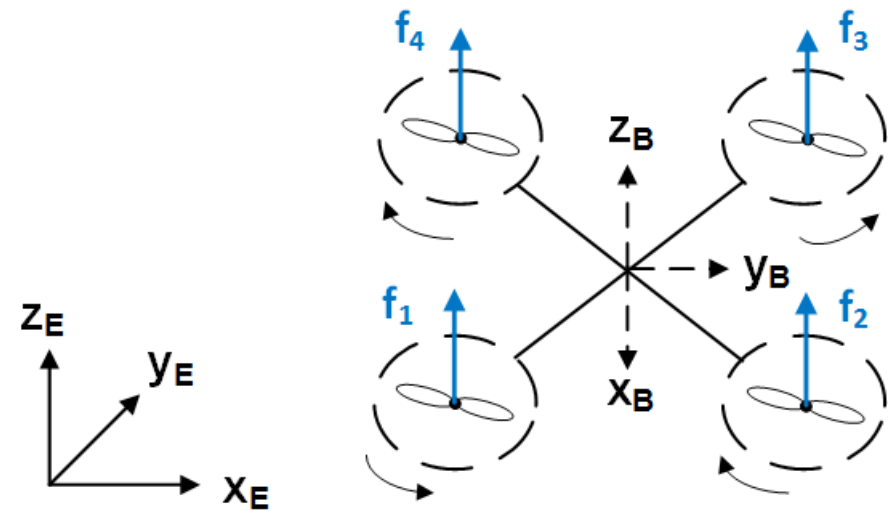


Parte II: Veículos Aéreos

Modelagem da Dinâmica de um Quadrrrotor



- Sistemas de coordenadas:
 - Referencial fixo do sistema de captura de movimento;
 - Referencial móvel, com eixos fixados próximo ao centro de gravidade do quadrrrotor.
- Referências: Gomes *et alli* (2014a, 2014b, 2016)



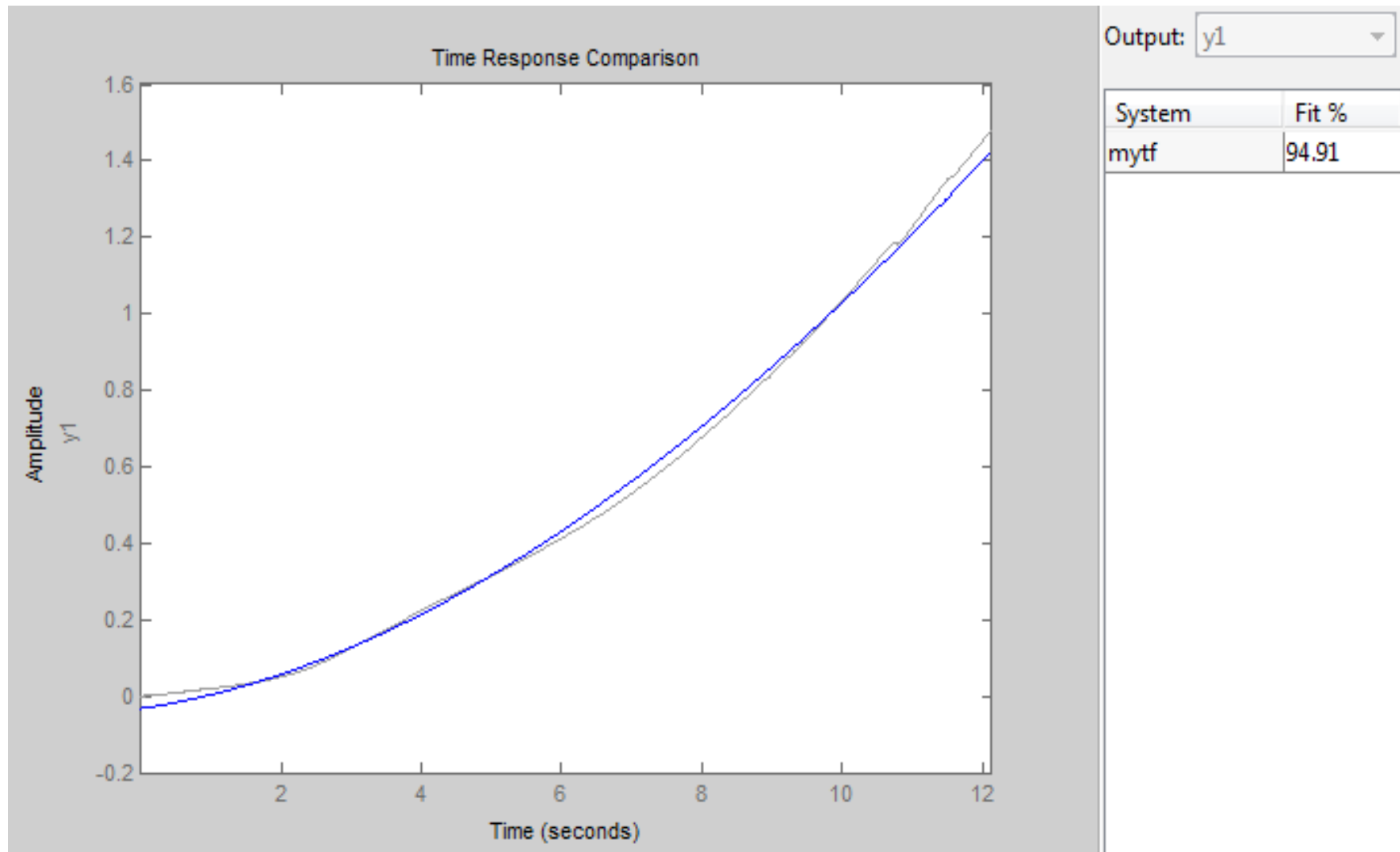


Modelagem da Dinâmica de um Quadrrrotor

- Em vez de usarmos modelagem física,
- Foi usada modelagem por identificação entrada/saída:
 - Entradas são comandos dos controladores internos;
 - Saídas são coordenadas de posição.
- Inclui o controle interno do quadrrrotor.
- Função de transferência:

$$H(s) = 2 \frac{s+1}{s(s+0,05)}$$

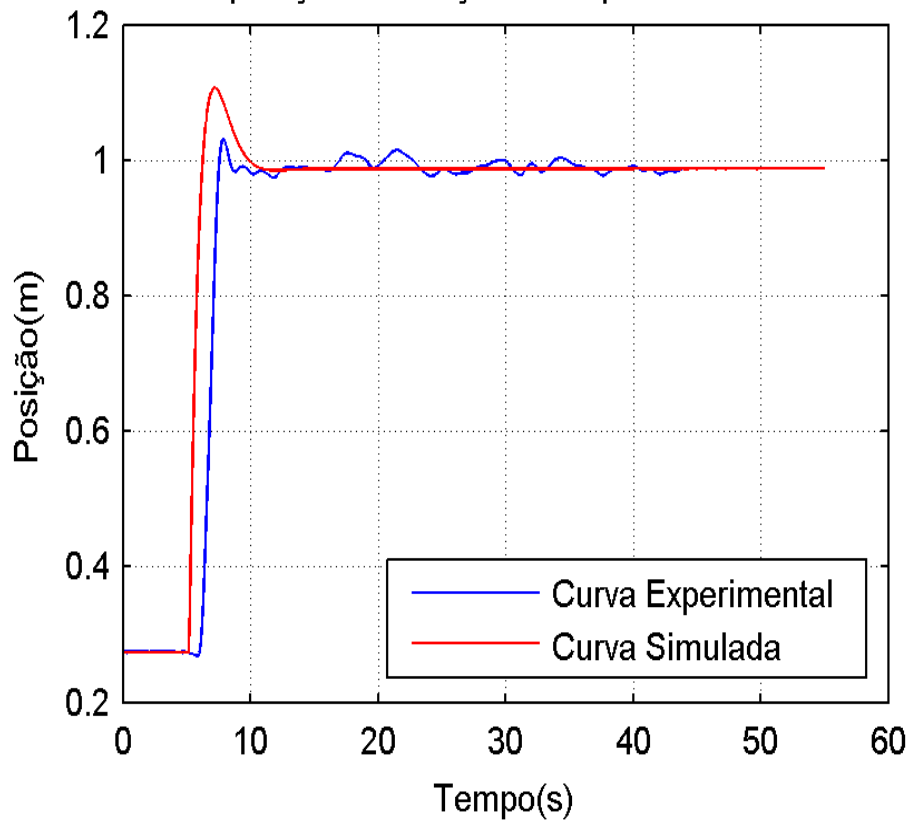
Modelagem da Dinâmica de um Quadricóptero



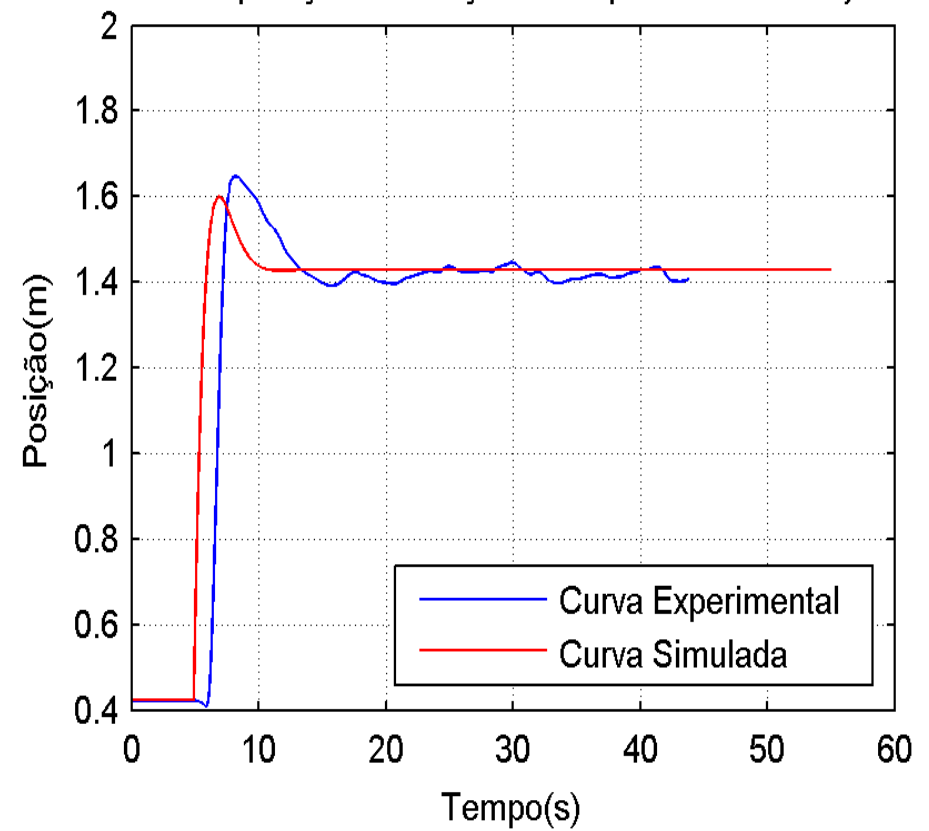
Controle PD do Quadrrrotor



Comparação Simulação vs. Experimento- Eixo x

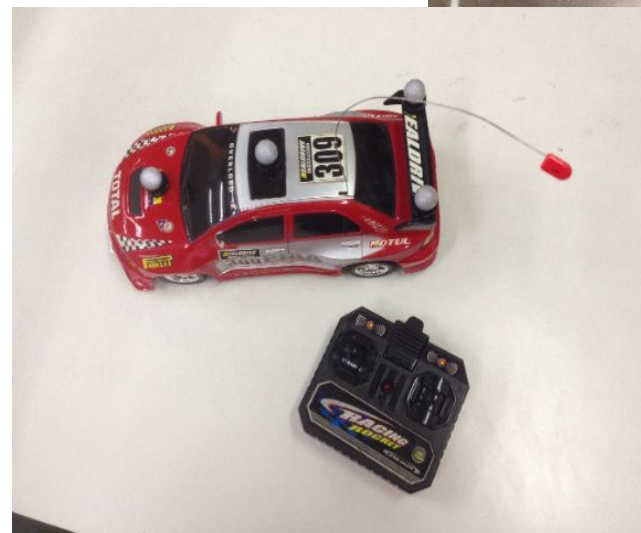
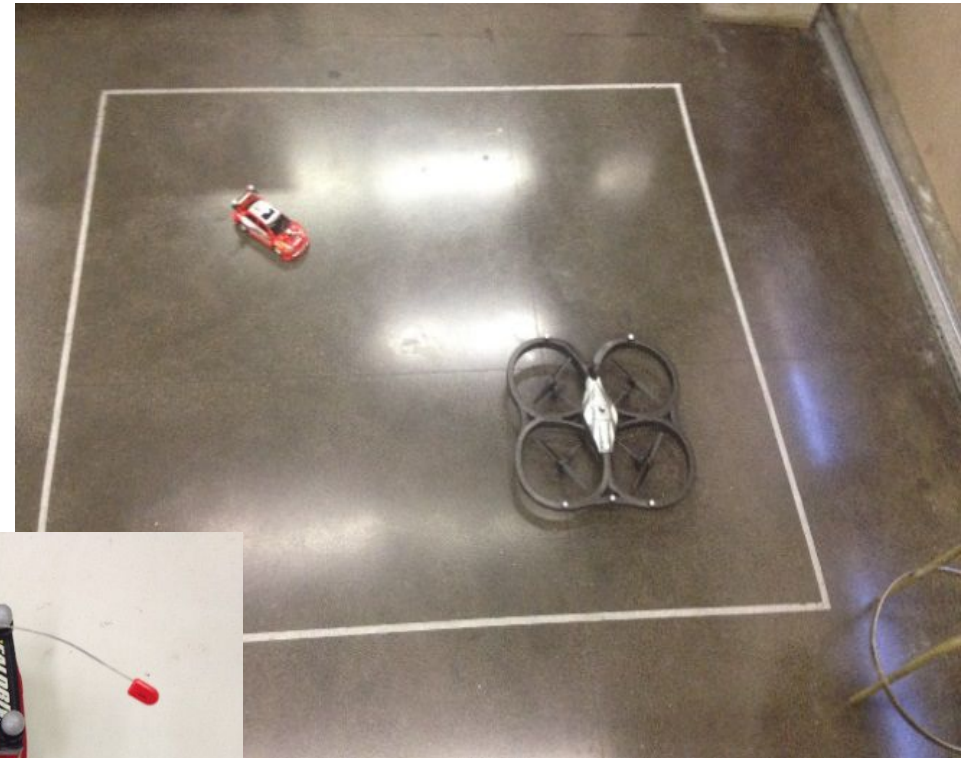


Comparação Simulação vs. Experimento- Eixo y

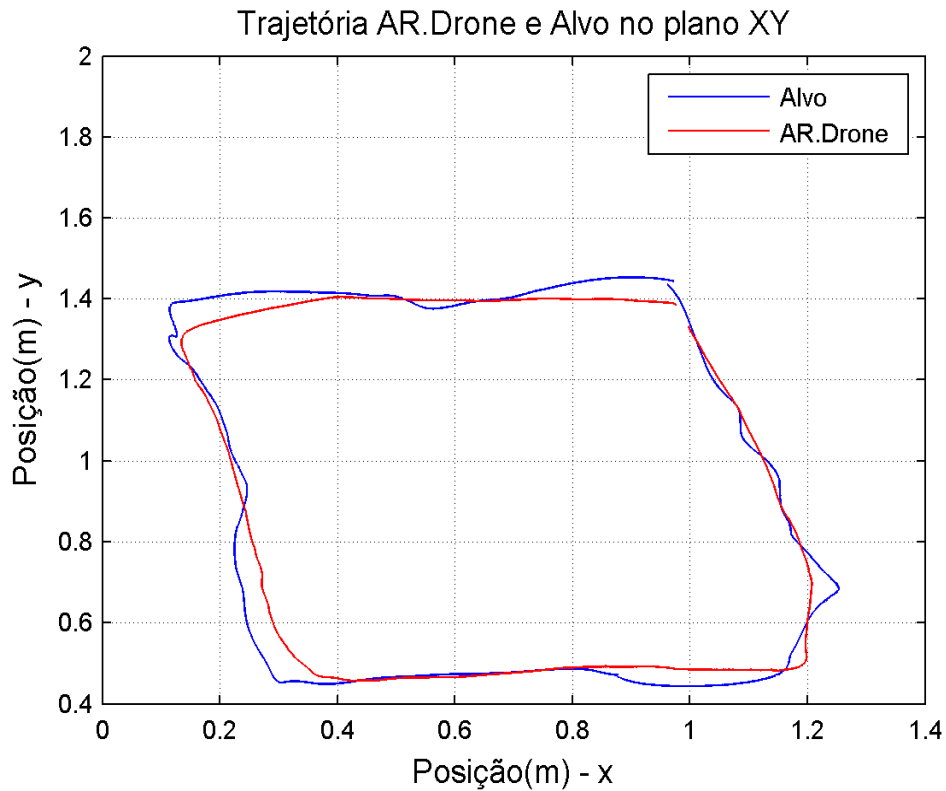


Seguimento de Alvo

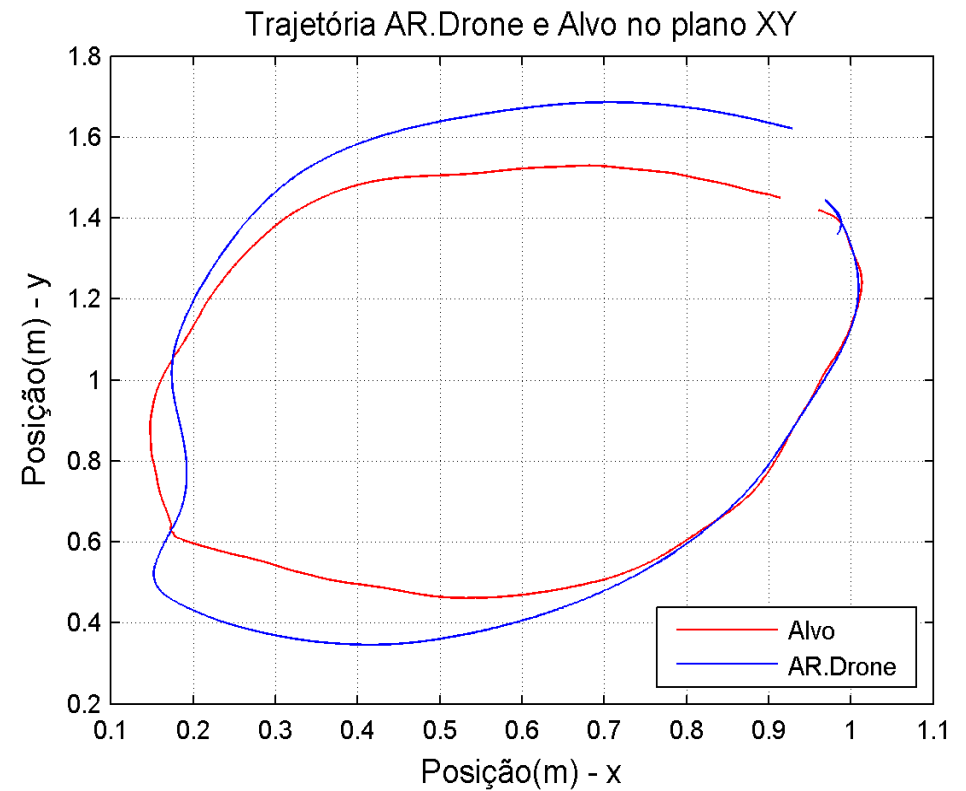
- Aplicações:
 - Desembarcar cargas,
 - Pousar em plataformas móveis,
 - Integração com USVs,
 - etc.



Seguimento de Alvo



Alvo lento



Alvo moderado



Conclusão

- USVs em desenvolvimento:
 - Monocasco;
 - Catamarã:
 - Mais área útil e capacidade de carga;
 - Painéis fotovoltaicos e auto-ancoragem ampliarão autonomia operacional.
 - Componentes *off-the-shelf* de baixo custo.
- Controladores testados em barco e quadricóptero pequenos.
- **Trabalhos futuros:** cooperação entre USVs, quadricópteros e outros veículos.

Agradecimentos



- Aos docentes, discentes e técnicos colaboradores deste projeto.
- Financiamentos:
 - Parceria CNPq/FAPERJ no Edital nº 25/2010: Apoio a Núcleos Emergentes de Pesquisa no Estado do Rio de Janeiro – 2010 – PRONEM;
 - FEN/UERJ.
- Bolsas para alunos de Mestrado e Iniciação Científica concedidas pela CAPES, CNPq, DCARH/UERJ e FEN/UERJ.



Contatos



José Paulo V. S. Cunha



Tiago Roux Oliveira

- *E-mails:* jpaulo@ieee.org e tiagoroux@uerj.br
- *Telefones:* (21) 2334-0027 e (21) 2334-0026
- *Homepage:* <http://www.lee.uerj.br/~jpaulo>

Referências



- Amaral, G. S. (2008), Sistema de posicionamento dinâmico para um pequeno veículo flutuante, Projeto de Graduação em Engenharia Eletrônica — UERJ, Rio de Janeiro.
- Fossen, T. I. (2011), Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. Wiley.
- Gomes, L. L. e Leal, L. P. (2014a). Controle de um quadricóptero por servovisão. Projeto de Graduação em Engenharia Eletrônica — UERJ, Rio de Janeiro.
- Gomes, L. L., Leal, L., Oliveira, T. R. e Cunha, J. P. V. S. (2014b). “Controle de um veículo quadricóptero usando um sistema de captura de movimentos,” in Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática, Belo Horizonte, pp. 1474-1481, setembro.
- Gomes, L. L., Leal, L., Oliveira, T. R., Cunha, J. P. V. S. e Revoredo, T. C. (2016). “Unmanned quadcopter control using a motion capture system,” IEEE Latin America Transactions, vol. 14, no. 8, pp. 3606-3613, August.
- Hsu, L., Costa, R. R., Lizarralde, F. e Cunha, J. P. V. S. (2000), “Avaliação experimental da modelagem e simulação da dinâmica de um veículo submarino de operação remota,” Revista Controle & Automação, vol. 11, no. 2, pp. 82-93.
- Manley, J. E. (2008), Unmanned surface vehicles, 15 years of development, *in: Proc. OCEANS*, Quebec City – QC, pp. 1-4.
- Pinto, P. H. S. e Mok, R. W. (2015), Projeto e construção de uma embarcação multicasco teleoperada, Projeto de Graduação em Engenharia Eletrônica — UERJ, Rio de Janeiro.

Referências



- Rosario, R. V. C. e Cunha, J. P. V. S. (2016), “Experimentos de rastreamento de trajetória de uma embarcação de superfície utilizando linearização por realimentação e controle a estrutura variável”. *in: Anais do XXI Congresso Brasileiro de Automática*, Vitória. pp. 3034-3039.
- Rosario, R. V. C. e Cunha, J. P. V. S. (2017), “Experimental variable structure trajectory tracking control of a surface vessel with a motion capture system”. *in: Proc. of the 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, Beijing, China., pp. 2864-2869.
- Rosario, R. V. C. (2017), Controle a estrutura variável de um barco empurrando uma carga flutuante subatuada, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica, UERJ, Rio de Janeiro.
- Rosario, R. V. C. e Cunha, J. P. V. S. (2018), “Controle de um barco empurrando uma carga flutuante subatuada”. *in: Anais do XXII Congresso Brasileiro de Automática*, João Pessoa.
- Schultze, H. J. (2012), Projeto e construção de uma embarcação teleoperada, Projeto de Graduação em Engenharia Eletrônica — UERJ, Rio de Janeiro.
- Sokal, G. J. (2010), Posicionamento dinâmico utilizando controle a estrutura variável e servovisão, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica, UERJ, Rio de Janeiro.
- Sousa, L. R. (2016), Acionamento dos motores CC de uma embarcação teleoperada, Projeto de Graduação em Engenharia Eletrônica — UERJ, Rio de Janeiro.
- The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan (2007). Disponível em <http://www.navy.mil/navydata/technology/usvmppr.pdf>.