

PLATAFORMA PARA CONTROLE AUTÔNOMO DE ENXAME DE DIRIGÍVEIS ROBÓTICOS

Constantino Gonçalves Ribeiro, constantino.g.ribeiro@gmail.com, constantino.ribeiro@cefet-rj.br¹

Luciano Santos Constantin Raptopoulos, luciano.raptopoulos@cefet-rj.br²

Max Suell Dutra, max@mecanica.coppe.ufrj.br³

¹CEFET, UnED Itaguaí, Rodovia Mário Covas, lote J2, quadra J - CEP: 23810-000 Distrito Industrial de Itaguaí, Itaguaí – RJ, Brasil,

²CEFET, UnED Nova Iguaçu, Estrada de Adrianópolis, 1.317 - Santa Rita – Nova Iguaçu -RJ - CEP: 26041-271, Brasil,

³UFRJ-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Horácio Macedo 2030, Prédio do Centro de Tecnologia, Bloco G, sala 101, Cidade Universitária, Caixa Postal 68501, CEP 21941-914 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Resumo: As aplicações dos veículos aéreos robóticos estão cada vez mais comuns em tarefas de muitas organizações. Mas o uso de tais plataformas robóticas não significou redução de custos das tarefas por elas desempenhadas devido à complexidade operação das plataformas que demandam instalações complexas em terra e operadores especializados. Para que o uso de tais plataformas aumente é necessário o uso de procedimentos para coordenação e controle autônomo individual e coletivo (enxame) das mesmas. Este trabalho propõe um veículo aéreo não tripulado, (VANT), neste caso um dirigível, que desempenhe tarefas básicas de controle de rotas da maneira mais independente, sem possível de intervenção humana e, os procedimentos de operação cooperativa entre os membros de um grupo de dirigíveis. Dentre as tarefas desenvolvidas estão: novo conjunto de regras de evasão de colisões controladas por um cluster embarcado de computadores; um protótipo de cluster de computadores embarcado; regras coletivas de operação em enxame: formação, evasão de obstáculos e perseguição de alvos. O veículo aéreo escolhido nesta pesquisa foi um dirigível devido a sua dinâmica, estabilidade, carga transportada e baixo impacto ambiental. Dentre as possíveis aplicações deste VANT e do enxame por composto estão: vigilância (urbana, ambiental, por exemplo), coleta automática de dados, busca e resgate, transporte de bens e defesa antecipada de ameaças, entre outros.

Palavras-chave: VANT, dirigíveis, regras de navegação, sistema paralelo distribuído embarcado, enxame.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente as tarefas de vigilância desempenhadas por aeronaves são, na sua maioria, de longa duração e monótonas podendo ser desempenhadas por máquinas robóticas que minimizam problemas de fadiga e resistência física das tripulações. Além disso, os avanços da eletrônica diminuíram as dimensões dos equipamentos, facilitando o uso embarcado de sensores, equipamentos de comunicação global e geoposicionamento global, barateando seus custos. Com a escalada dos custos destas tarefas, especialmente as relacionadas à defesa e vigilância como descrito em (*Defense Industry Daily staff* 2007 e *Azinhira*, 2002), a utilização dos dirigíveis autônomos vem sendo proposta como um substituto para os atuais veículos tripulados utilizados e em algumas tarefas realizadas por drones (aeronaves de asa fixa). Para se usar dirigíveis autônomos, devem-se desenvolver novos sistemas de controle de rotas robustos e confiáveis, e métodos de controle de evasão de colisões integrados com as regras de movimentação no ambiente de navegação.

Outro fato que pode contribuir para o uso de dirigíveis autônomos é a crescente preocupação com impacto ambiental que aeronaves de asa fixa e mais pesadas que o ar, movidas por motores de combustível fóssil causam ao meio ambiente. Alguns estudos sugerem que o impacto deste uso é considerável e problemas como: a poluição sonora (nos pousos, decolagens e taxiamento), o despejo de combustível no ar para pousos não programados, as emissões de gases de efeito estufa (Clark, 2010 e *Committee on Aeronautics Research and Technology for Environmental Compatibility*, 2002) e suas consequências não devem ser desprezados e podem trazer mais malefícios para as populações locais que as benesses econômicas.

Embora o contexto atual aponte para uma situação estável quanto à utilização das atuais aeronaves (mais pesadas que ar), nichos específicos (vigilância, busca, coleta de dados, transporte automatizado, entre outros) podem mudar este cenário. Uma nova proposta de plataforma autônoma, de menor complexidade pode vir a suprir as necessidades destes nichos: um dirigível robótico autônomo. Os dirigíveis possuem construção e operação mais simples, necessitam

planejamento de rotas menos complexos. Além disso, por flutuarem não gastam parte de sua energia para se manter voando, podendo ter uma autonomia muito maior que qualquer outro tipo de aeronave. Estes fatores além de diminuir os custos do uso dos dirigíveis, possuem características que se adequam a realização das missões de vigilância e busca, pois devido à grande autonomia, podem permanecer sobre a área alvo por longos períodos. Outras boas características são: boa capacidade de carga, baixo impacto ambiental ou mesmo nenhum impacto se forem usados suprimentos de energia limpos, facilidade de manobra e manuseio – menores danos em caso de falha entre outras. Aliado a modernos sensores e câmeras e usando computadores embarcados, um dirigível autônomo desempenhará certas tarefas melhor do que as plataformas tripuladas em tarefas onde a fadiga humana pode deteriorar a qualidade do serviço. Desta forma, este trabalho propõe um enxame / formação de dirigíveis com controle autônomo de rotas controlado por um hardware paralelo / distribuído embarcado resultando em uma aplicação do uso de enxame de robôs com características inovadoras.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

A tarefa de controlar um robô dirigível em um ambiente sujeito a fortes ventos foi estudada por Hitomu (2010) que propôs o uso de controle da estabilidade da aeronave através da técnica de seguir a rota, navegando contra o vento com o controle da estabilidade sendo feito por uma função de controle (função de Lyapunov) segundo regras de controle pré-estabelecidas. Foram realizados testes satisfatórios com um dirigível de controle remoto de 12 metros devidamente adaptado.

Uma aplicação simples e robusta de sistema de navegação com lógica *fuzzy* é descrito por González (2009) onde foi usado como protótipo um robô dirigível comercial (Plantraco), com caverna rígida de 52 polegadas e com capacidade de levar até 200 gramas de cargas. Sensores de ultrassom fornecem informações sobre o meio ambiente e alimentam um sistema *fuzzy* de evasão de colisões que gera guinadas de 180 graus. Os resultados dos testes mostraram um comportamento balanceado do controlador fuzzy o qual pode até mesmo vir a ser treinado.

Um sistema de controle de rotas para um robô dirigível usado na vigilância e monitoramento de áreas que sofreram desastres naturais é a o tema de Fukao (2008) o qual usa o método de campos de velocidade e um controlador ótimo de traçado inverso como estratégia de controle. Tal estratégia foi eficaz em ambientes com ventos, pois evita o uso do tempo na formulação de trajetórias. O controlador inverso ótimo consiste em um sistema de duas coordenadas (x e y), *looping* não linear baseado em uma equação Hamilton-Jacobi-Bellman, e filtro de Lyapunov, para o controle horizontal do veículo. Os testes práticos foram realizados por um dirigível com 12,2 metros de comprimento, carga admissível de até 15 quilogramas, equipado com sensor de ventos e câmera estéreo.

Axel (2007) propõe um controle de rotas o método de aprendizado reforçado on-line foi utilizado. Neste trabalho a manutenção da altitude do dirigível sem o conhecimento prévio das condições ambientais. Através do uso de agentes (programas de computadores autônomos), os quais são recebem bônus por ações corretas maximizando o método de busca de soluções usado (método de Monte Carlo). Este método permite um aprendizado direto (sem a necessidade de armazenamento prévio) por parte dos agentes. Para evitar problemas relacionados com o tamanho do espaço de busca relativos à função de aprendizado, usa-se uma função gaussiana sobre o espaço de pares de estados-ações, onde os estados destes pares, são capturados por sensores de ultrassom com um filtro de Kalman para a retirada de ruídos, durante a movimentação do dirigível. Os testes práticos foram realizados com um dirigível comercial de 1,8 metros de comprimento em galpão de fábrica com vão de até 5 metros de altura.

Uma modelagem matemática de um dirigível robótico que captura toda dinâmica do mesmo é descrita por Stephen (2006) onde um controle preditivo e adaptativo não linear robusto é usado para a sua navegação e guiagem, mesmo sob perturbações ambientais. No desenvolvimento de tal controle, dados sobre as diversas situações comuns de uso do dirigível (tais como voo longitudinal, ascensão, guinadas, etc...) foram coletadas e o programa MATLAB foi usado na geração de um modelo matemático a partir de tais dados.

Azinheira (2002) descreve um trabalho relacionado com o projeto AURORA proposto por Bittencourt (2013) onde o controle automático de posicionamento estático (*hovering*) usa um método de controle ótimo com retroalimentação de erro, segundo uma modelagem clássica com ângulos de Euler. Uma câmera é usada para obtenção de imagens que após a devida modelagem, gera um conjunto de sinais elementares estabelecendo uma relação entre a velocidade e os elementos em terra (alvo). A modelagem é similar à do problema do pêndulo, só que neste caso o que se quer é a associação do movimento a uma distância igual a zero em relação ao dirigível. Nesta modelagem também são considerados os efeitos dos ventos e outras perturbações ambientais. Foram conduzidos testes em três situações ambientais: sem vento e sem perturbações; com ventos e perturbações fracas; e com ventos e perturbações fortes.

Em Kudelski (2012) o comportamento de enxames é estudado por um ambiente de simulação de rede de robôs baseado no simulador Argos, que simula os robôs, e os simuladores de rede ns-2 e ns-3. Foi possível simular ambientes com centenas de robôs isolados e integrados e os efeitos na performance da comunicação entre eles foram atestados, estudando assim o comportamento coletivo do sistema.

Em Hedjar (2014) enxames de robôs são controlados via algoritmo de controle de trajetórias em um ambiente dinâmico. Uma rota de referência é gerada baseada em otimização convexa não linear a qual evita tanto os obstáculos estáticos como os dinâmicos. Ele combina-se com um controle de predição de passos futuros para gerar as rotas e alcançar os alvos sem colidir.

Uma abordagem geral de enxames de robôs e suas principais propriedades são descritas em Navarro (2013) bem como uma comparação entre os diversos sistemas de multirobôs. Uma revisão entre diversos trabalhos de pesquisa nesta área, bem como a comparação entre os resultados dos mesmos são apresentados neste trabalho.

Em Virágh (2013) os padrões de enxame de animais são estudados e simulados de maneira eficiente usando modelos baseados em agentes. O uso destas simulações em ambiente de agentes pode ser usado para controlar robôs aéreos autônomos e neste trabalho um modelo matemático de robô autônomo voador que leva em consideração características reais. Dois modelos de robôs autônomos de comportamento descentralizado são usados para aprender dos fatores que influenciam o voo de enxames e os testes foram conduzidos usando quadcopteros.

A análise do comportamento de enxames em tarefas que contribuam no enriquecimento da engenharia de enxames de robôs é apresentada em Brambilla (2013). Neste trabalho são enfatizadas as aplicações do mundo real para os enxames. Duas taxonomias são propostas para classificar os enxames de robôs.

As definições, ações e comportamento de redes de robôs são descritas em Bekey (2009) onde a ênfase é dada na comunicação entre os componentes da rede. O crescimento de computadores embarcados e redes *ad hoc* são descritos com uma tendência, bem com funcionalidades de redes sem fio *plug-and-play* e a cooperação entre os robôs e humanos no desempenho de tarefas.

A evasão de colisões entre diversos elementos (robôs móveis) durante sua movimentação em um espaço comum aos mesmos, é formulada em Berg (2009). Este procedimento independe de comunicação entre os elementos do enxame e baseasse na definição da velocidade dos obstáculos e usa programação linear para isso. Testes via simulações foram realizados em cenários complexos usando milhares de robôs de maneira satisfatória.

Em Sharma (2009) elemento de segurança no uso de robôs, até então negligenciados, são abordados e soluções para estes problemas são pesquisadas, especialmente na área de comunicações / redes de computadores. Ao conhecer estes problemas ajudam a prevenir o aparecimento dos mesmos e danos ao enxame.

Em Zhou (2016) o controle de enxames de quadrimotores na evasão de obstáculos é proposto usando uma interface humana intuitiva. Nesta proposta o enxame se comporta como um corpo rígido virtual adotando formas (trapezoidal por exemplo).

3. PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL

Para realizar suas missões o dirigível autônomo proposto deve usar um sistema de controle de missão que descubra suas possíveis rotas e evite possíveis colisões. Na descoberta das melhores rotas foi desenvolvido um programa baseado no programa do caixeiro viajante. Tal programa usa uma abordagem paralela/distribuída e foi desenvolvido na linguagem C com a biblioteca de MPI (*message passing interface*) e foi executado em novo cluster embarcado desenvolvido para o dirigível autônomo. O novo cluster é composto de seis placas ODROID (*Hardkernel Co., Ltd*, 2013) e um switch giga ethernet, como apresentado na Figura 1. Além disso um novo sistema de evasão de obstáculos fixos e móveis foi desenvolvido baseado nas regras de navegação RIPEAN 72 (Marinha do Brasil – Diretoria de Portos e Costas, Normas e Procedimentos para as Capitanias – RIPEAM, 2013) usando dados adquiridos em tempo real por um LIDAR e um RADAR e executado em mais nós do *cluster* embarcado de computadores.

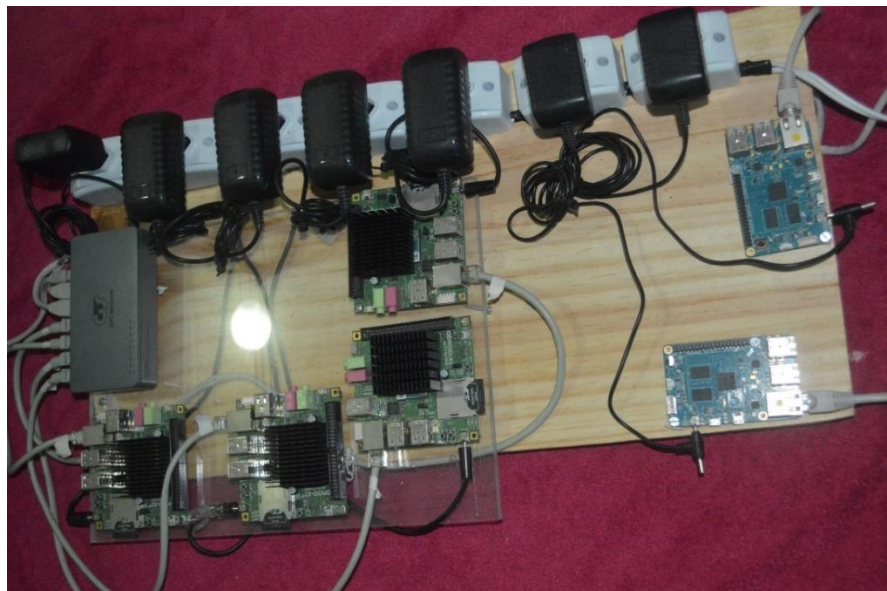


Figure 1. Protótipo do *cluster* embarcado de computadores

Paralelamente ao desenvolvimento do programa de controle da missão já descrito, toda a cinemática foi desenvolvida usando Newton-Euler com um referencial inercial fixo, como ilustrado na Figura 2.

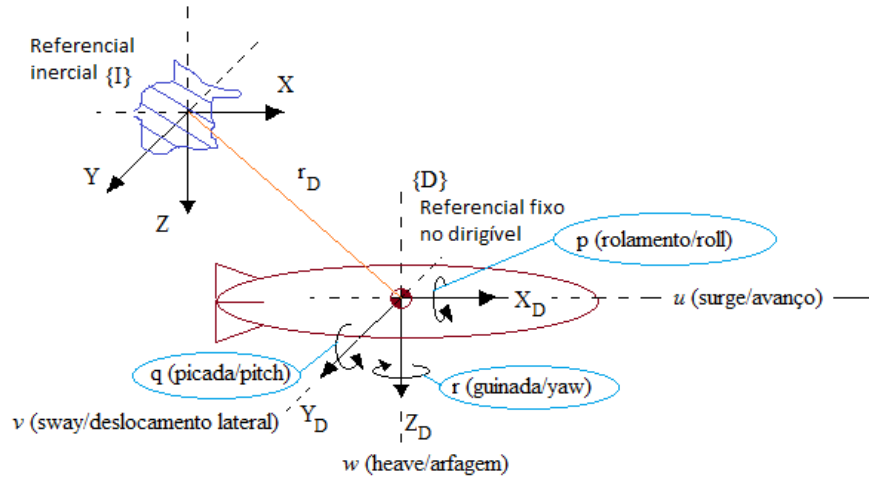


Figura 2. Sistema de referencial inercial fixo.

A dinâmica do dirigível estudado baseou-se em um dirigível com capacidade de carga operacional de 1000 kg usando a equação (1) de conservação de energia que leva em consideração a aplicação de forças e momentos a um corpo rígido com seis graus de liberdade.

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v) + g(\eta) = \tau \quad (1)$$

Após as devidas simplificações para o caso de um dirigível (momentos não lineares de Coriolis próxima de zero e forças do amortecimento aerodinâmico próximo a zero), a equação (1) fica reduzida a (2).

$$M\dot{v} + Dv + G\eta_p = \tau \quad (2)$$

A equação (2) pode ser rescrita como em (3).

$$Bu = \tau \quad (3)$$

Na equação (3) u representa o vetor das variáveis de controle para cada um dos três atuadores, representado por $u = [X, F_{conjugado}, Z]^T$.

A partir das variáveis de controle foram estudados dois tipos de controle: PID (proporcional, integral e derivativo) e torque computado. Nestes estudos foram usados os parâmetros obtidos na dinâmica do dirigível estudado para que se pudesse escolher o tipo de controle mais adequado ao controle do dirigível individualmente e operando em exame/formação. As ferramentas MatLab® e Simulink® foram usadas nestes estudos de tipos de controle e nas devidas simulações para a escolha do controle mais adequado. No desenvolvimento do sistema de controle nas devidas simulações foram usadas as seguintes condições de contorno:

- Temperatura do ar: 20 graus Celsius;
- Densidade do ar: $\rho_{do\ ar} = 1,205\ kg/m^3$;
- Densidade do hélio: $\rho_{do\ helio} = 0,1664\ kg/m^3$;
- Ausência de ventos;
- Velocidade a vante: 100 km/hora ((27,777 m/seg);
- Velocidade de ascensão: 0,01 m/seg;
- Velocidade de guinada: 0,35 radianos/segundo;
- Tempo de simulação: 100 segundos.

Uma concepção preliminar do dirigível a ser usado na formação do enxame, foi desenvolvida e esta descrita nas Figuras 3 e 4, a seguir.

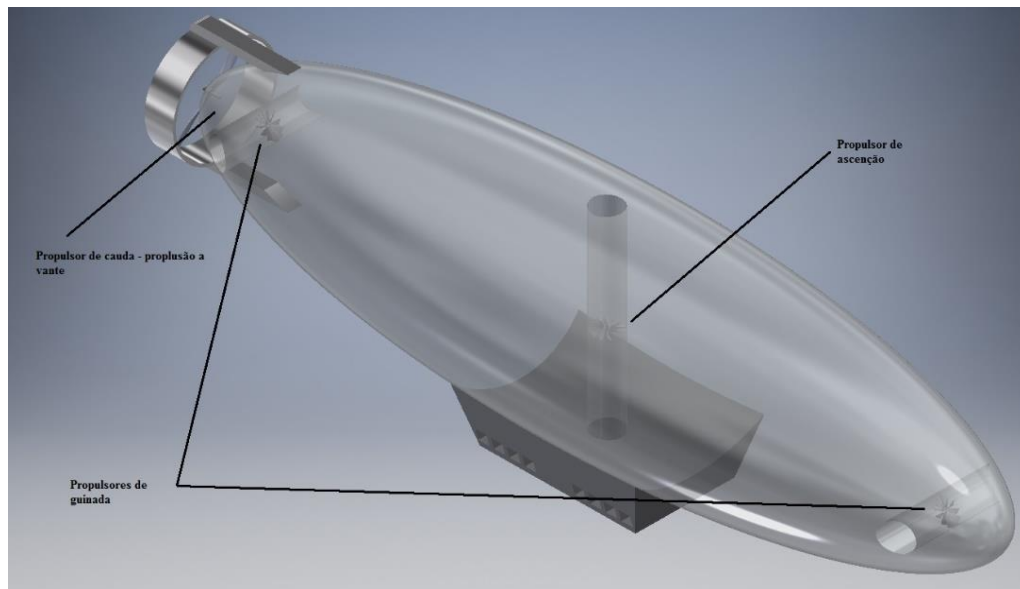


Figura 3 – Perspectiva isométrica do projeto do dirigível.

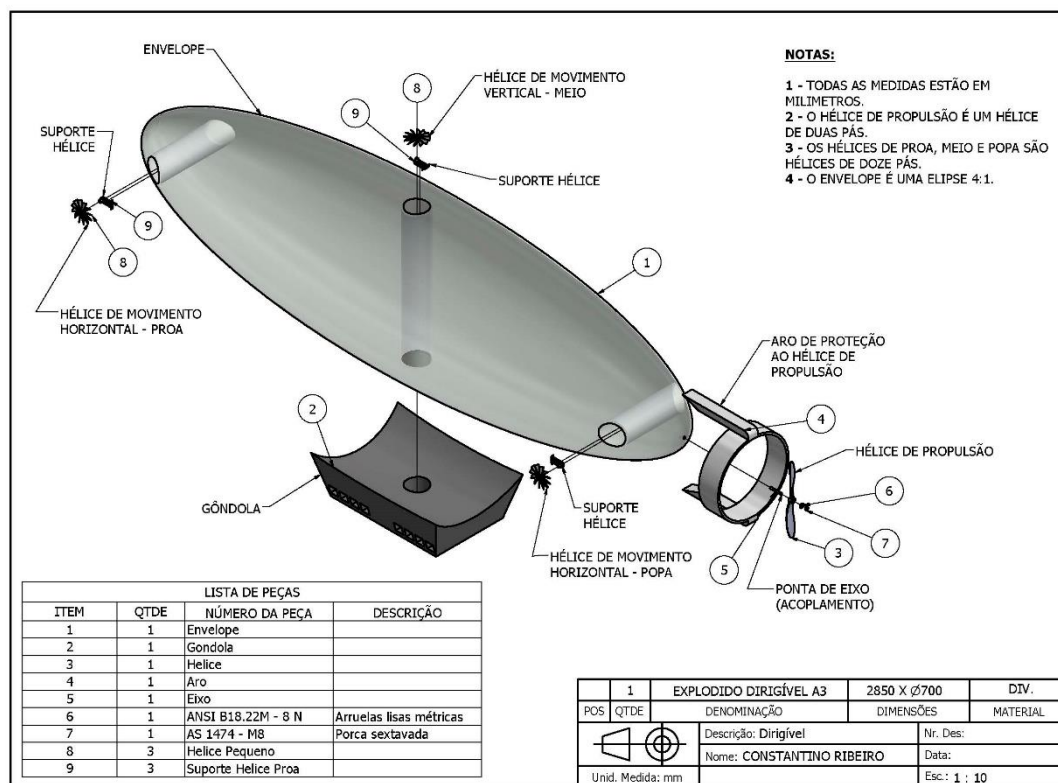


Figura 4 – Vista explodida do dirigível.

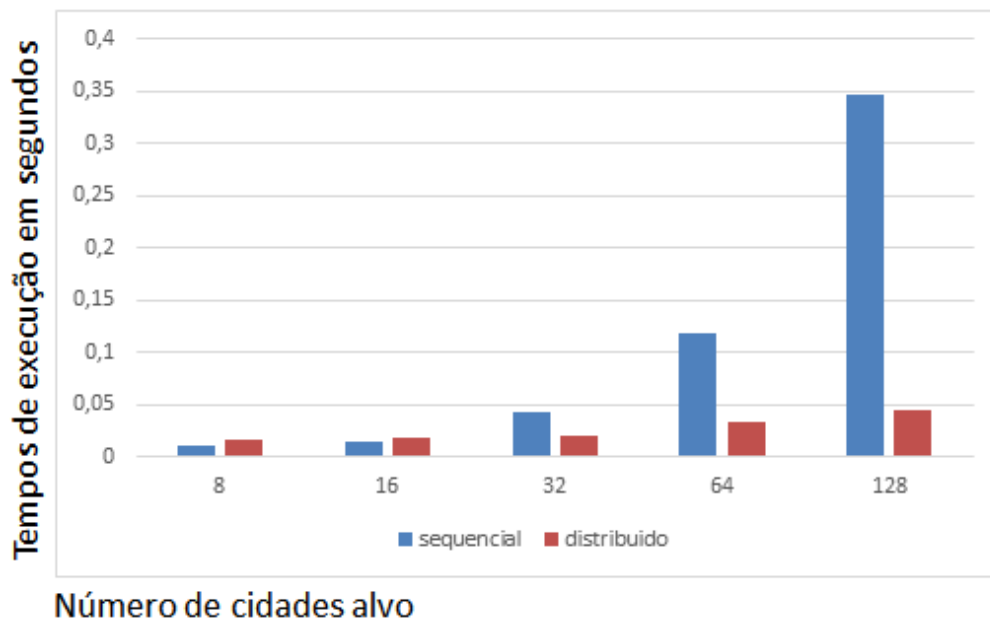
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As possíveis situações de colisões com alvos fixo, móveis e combinação de alvos fixos e móveis foram testas pelo simulador de situações de possíveis colisões. Em todas a situações os novos procedimentos de evasão de colisões atuaram evitando as colisões como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da simulação de evasão de colisões

Rumo do Dirigível	Obstáculo fixo	Obstáculo móvel
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	-
Sul-norte	-	Leste - oeste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	-	Oeste - leste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	-	Sudoeste - nordeste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	-	Noroeste - sudeste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	-	Sudeste - noroeste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	-	Nordeste - sudoeste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Leste - oeste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Oeste - leste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Sudoeste - Nordeste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Noroeste - sudeste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Sudeste - noroeste cruzando o rumo do dirigível
Sul-norte	Em frente do rumo do dirigível	Nordeste - sudoeste cruzando o rumo do dirigível

Os tempos de execução dos programas de descoberta de rotas ótimas (versão sequencial e paralela) foram comparados. Foram executados testes de descoberta de rotas ótimas para atingir 8, 16, 32, 64 e 128 alvos respectivamente. No teste da versão sequencial programa foi usado apenas um nó do cluster e para o teste da versão paralela/distribuída foram usados todos os 6 nós do novo cluster desenvolvido. Os resultados são apresentados na Figura 5.

**Figura 5. Comparação dos tempos de execução do programa sequencial e do programa paralelo/distribuído.**

O desenvolvimento da cinemática e da dinâmica levaram a construção de dois modelos de controle (um usando PID e outro usando torque computado). As simulações de controle usando MatLab/Simulink® demonstraram uma maior robustez do controle por torque computado, o qual foi adotado definitivamente para as simulações e desenvolvimento do sistema de controle para somente um único dirigível, bem como um sistema de controle de enxame de dirigíveis com até sete dirigíveis, como apresentado nas Figuras 6 e 7.

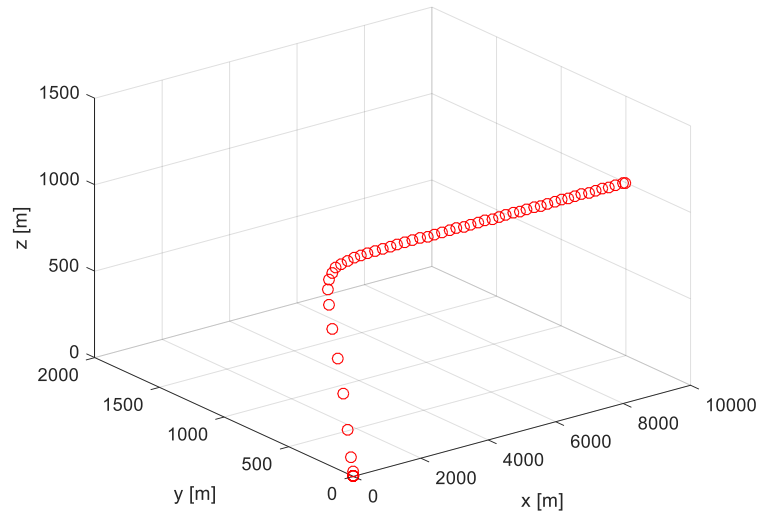


Figura 6. Resultado da simulação usando o software SimuLink/MatLab® para somente um dirigível.

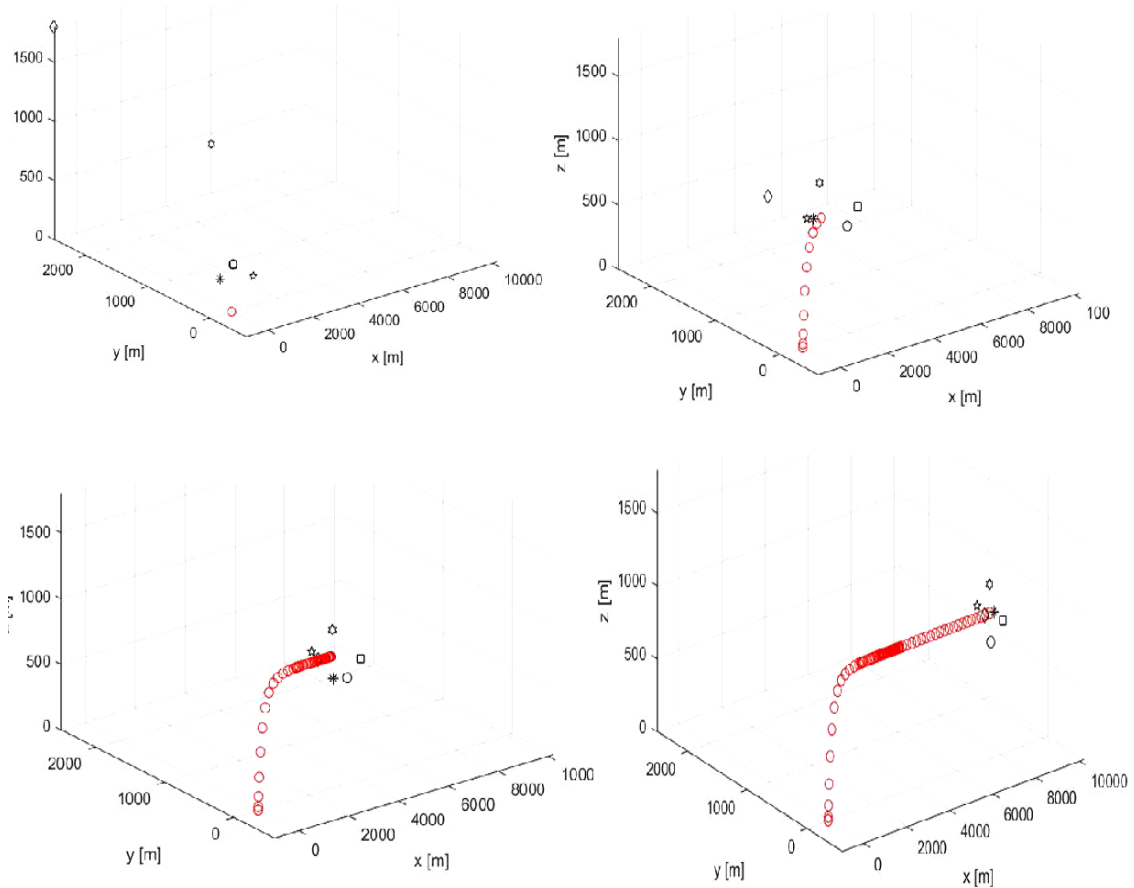


Figura 7. Resultado da simulação usando o software SimuLink/MatLab® para um enxame de sete dirigíveis onde pode notar os elementos da formação manobrando para evitar possíveis colisões durante a formação.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho resultou: *i)* na construção de um *cluster* de computadores embarcados escalável, portátil e de construção simples composto de elementos genéricos e fácil obtenção no mercado de informática; *ii)* um sistema de evasão de colisões baseado em novas regras, que serve tanto para um único elemento como para operação coletiva (enxame) e; *iii)* um sistema de controle de missão com descoberta de rotas ótimas paralelo / distribuído que executa em tempo real.

As simulações de possíveis colisões mostraram a eficácia das regras de evasão propostas, os testes de execução demonstraram a melhor performance do programa de descoberta de rotas ótimas paralelo / distribuído proposto e

desenvolvido e a construção e operação nos testes do *cluster* embarcado demonstrou a possibilidade de se construir uma plataforma de alto desempenho de baixo custo, escalável, portátil e eficiente. Todos estes fatores levaram ao desenvolvimento de uma infraestrutura simples e robusta de operação de um enxame / formação de dirigíveis autônomos.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado por pelo CEFET-RJ e pelo grupo de pesquisa em Mecatrônica da COPPE/UFRJ.

7. REFERÊNCIAS

- Azinheira, J. R. et al, 2002. "Visual Servo Control for the Hovering of an Outdoor Robotic Airship". Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Washington, DC, pp. 2787-2792.
- Defense Industry Daily staff. 2007. "Return of the Navy Blimps?" Acesso em 30 de dezembro de 2012, disponível em Defense Industry Daily: <http://www.defenseindustrydaily.com/return-of-the-navy-blimps-03093/>
- Clark, D., 2010. "Aviation Q&A: the impact of flying on the environment". Acesso em 22 de janeiro de 2013, disponível em The Guardian: <http://www.guardian.co.uk/environment/2010/apr/06/aviation-q-and-a>.
- Committee on Aeronautics Research and Technology for Environmental Compatibility. 2002. "Reducing Environmental Impacts of Aviation". Acesso em 22 de janeiro de 2013, disponível em The National Academies Press: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10353&page=R1.
- Hitomu Saiki, T. F. (8-10 de September de 2010). Hovering Control of Outdoor Blimp Robots Based on Path Following. Control Applications (CCA), 2010 IEEE International Conference
- P. González, W. B. (January de 2009). Developing a Low-Cost Autonomous Indoor Blimp. Journal of Physical Agents, pp. VOL. 3, NO. 1.
- T. Fukao, A. Y. (6-11 de July de 2008). Inverse Optimal Velocity Field Control of an Outdoor Blimp Robot. Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea.
- Axel Rottmann, C. P. (Oct. 29 - Nov. 2 de 2007). Autonomous Blimp Control using Model-free Reinforcement Learning in a Continuous State and Action Space. Proceeding of International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007. IROS 2007, pp. 1895-1900.
- Stephen Gammon, M. F. (Abril de 2006). The mathematical model of the tri-turbofan airship for autonomous formation control research. IEEE Region 5 Technical, Professional, and Student Conference, San Antonio, Texas.
- José R. Azinheira, P. R. (May de 2002). Visual Servo Control for the Hovering of an Outdoor Robotic Airship. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Washington, DC.
- Michal Kudelski; Marco Cinus; Luca Gambardella ; Gianni A. Di Caro. (7-11 de outubro de 2012). A Framework for Realistic Simulation of Networked MultiRobot Systems. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vilamoura-Algarve, Portugal. DOI: 10.1109/IROS.2012.6385998.
- Ramdane Hedjar, Messaoud Bounkhel. (April 24, 2014). Real-time Obstacle Avoidance for a swarm of autonomous Mobile robots. International Journal of Advanced Robotic Systems. DOI: 10.5772/58478.
- Iñaki Navarro and Fernando Matía. (2013). An Introduction to Swarm Robotics. ISRN Robotics, Volume 2013, Article ID 608164 <http://dx.doi.org/10.5402/2013/608164>.
- Csaba Virágh, Gábor Vásárhelyi, Norbert Tarcai, Tamás Vicsek. (October 2013). Flocking algorithm for autonomous flying robots. in Bioinspiration & Biomimetics 9(2). DOI: 10.1088/1748-3182/9/2/025012.
- Manuele Brambilla, Eliseo Ferrante, Mauro Birattari, Marco Dorigo. (2013). Swarm Robotics: A Review from the Swarm Engineering Perspective in Swarm Intelligence, Volume 7, Issue 1, pp 1-41, March 2013. DOI: 10.1007/s11721-0120075-2.
- George Bekey, Robert Ambrose, Vijay Kumar, David Lavery, Arthur Sanderson, Brian Wilcox, Junku Yuh, and Yuan Zheng. (2009). Robotics: State of the Art and Future Challenges. IEEE Robotics & Automation Magazine (Volume: 16, Issue: 1, March 2009). DOI: 10.1109/MRA.2009.932132.
- Jur van den Berg, Stephen J. Guy, Ming Lin, Dinesh Manocha. (2009). Reciprocal n-Body Collision Avoidance. In proceedings of 14th International Symposium on Robotics Research, August 31 - September 3, 2009. Lucerne, Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-642-19457-3_1.
- Yogesh Kumar Sharma, Ashish Bagla. (2009). Security Challenges for Swarm Robotics. International Journal of Information Technology and Knowledge Management, January June 2009, Volume 2, No. 1, pp. 45-48.
- Dingjiang Zhou, Mac Schwager. (2016). Assistive collision avoidance for quadrotor swarm teleoperation. In proceedings of 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2016), Stockholm, Sweden. 16-21 May 2016.
- Hardkernel Co., Ltd. 2013. Products. Acesso em 24 de janeiro de 2013, disponível em ODROID: http://www.hardkernel.com/renewal_2011/products/prdt_info.php.
- Marinha do Brasil – Diretoria de Portos e Costas, Normas e Procedimentos para as Capitâneas – RIPEAM. Acesso em 8 de agosto de 2013. <https://www.dpc.mar.mil.br/sta/ripeam/flipbook/index.html#/2>.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

"O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho".

A FRAMEWORK FOR AUTHONOMOUS CONTROL OF ROBOTIC SWARM OF AIRSHIPS

Constantino Gonçalves Ribeiro, constantino.g.ribeiro@gmail.com, constantino.ribeiro@cefet-rj.br¹

Luciano Santos Constantin Raptopoulos, luciano.raptopoulos@cefet-rj.br²

Max Suell Dutra, max@mecanica.coppe.ufrj.br³

¹CEFET, UnED Itaguaí, Rodovia Mário Covas, lote J2, quadra J - CEP: 23810-000 Distrito Industrial de Itaguaí, Itaguaí – RJ, Brasil,

²CEFET, UnED Nova Iguaçu, Estrada de Adrianópolis, 1.317 - Santa Rita – Nova Iguaçu -RJ - CEP: 26041-271, Brasil,

³Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Horácio Macedo 2030, Prédio do Centro de Tecnologia, Bloco G, sala 101, Cidade Universitária, Caixa Postal 68501, CEP 21941-914 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Abstract. *Robotic air vehicle applications are becoming common nowadays to perform many common tasks in many organizations. But as matter of fact the use of such devices does not mean reductions of costs because of the complexity of operations of many autonomous vehicles, as special installations and better trained operators. The use of robotic devices need new coordination procedures and better control systems for the individual device and for the whole swarm. This work proposes an unmanned air vehicle (UAV), an airship, to perform basic control of paths as independent as possible, with minimal human interference with the remote mission control and land operators. Many tasks were developed during this work: an embedded computer cluster, new set of evasion rules from possible obstacles, and collective rules for a swarm of robotic airships. The airship was chosen because of its dynamic, stability, payload and low environmental impact. There are many possible applications for this kind framework as: surveillance, data automatic collection, search and rescue, strategic transport and anticipated warning.*

Keywords: UAV, airship, navigation rules, parallel/distributed embedded systems, swarm.