

Planejamento de Rota para VANTs em Caso de Situação Crítica

Jesimar da Silva Arantes

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Universidade de São Paulo - São Carlos, SP

Orientador: Claudio Fabiano Motta Toledo
Mestrado



Março – 2015

- 1 Introdução
- 2 Revisão Bibliográfica
- 3 Problema Abordado
- 4 Metodologia
- 5 Resultados
- 6 Considerações Finais

Definição: VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

“Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo e que não seja utilizada para fins meramente recreativos”

Alguns modelos de VANT produzidos no Brasil



Modelo BQM-1BR
(1983)



Modelo Arara M1 (2005)



Modelo Tiriba
(2011)

Introdução

Empresas Brasileiras

LCR

Empresas brasileiras no mercado de VANTs



Introdução

Aplicações

LCR

- Guerra
- Monitoramento e Mapeamento
 - Levantamento Ambiental
 - Vigilância (Fronteiras)
 - Segurança Patrimonial
- Agricultura
 - Adubagem e Pulverização
 - Controle agrícola
- Indústria
 - Inspeção de Linhas de Transmissão
 - Acesso a zonas contaminadas
 - Acompanhamento de Construções
- Aerofotografia



Polêmicos e revolucionários, mais de 200 'drones' voam no país sem regra

Levantamento inédito feito pelo G1 mostra emprego civil e militar no Brasil. Uso dos "aviões-robôs" em ataques militares dos EUA é polêmica mundial.

Tahiane Stochero
Do G1, em São Paulo

[Tweetar](#) 325

[Recomendar](#) 3.9 mil

208 comentários



Definição do Problema

Desenvolver um sistema de segurança para VANTs em caso de situação crítica durante o voo. O sistema utilizará um algoritmo planejador de rotas para determinar o local de pouso da aeronave.

Cenário Geral

O VANT sobrevoa uma determinada área, quando ocorre uma situação crítica. Em geral, em caso de falhas, nem todos os controles do VANT param de funcionar, assim a aeronave ainda possui alguns controles que podem ser utilizados para levá-la para uma área onde as perdas sejam menores.

Introdução

Contextualização

LCR

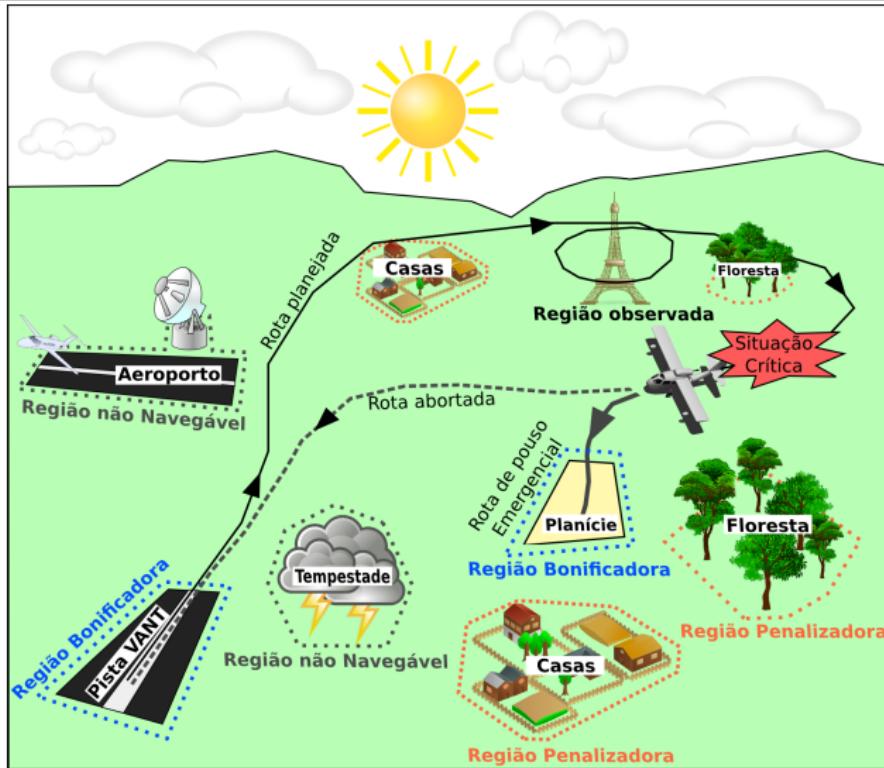


Figura 1 : Cenário ilustrativo para o planejamento de missão.

- O elevado índice de acidentes com VANTs em relação aos encontrados em aeronaves tripuladas. Uma parte destes índices advém de erros na tomada de decisões por parte dos pilotos localizados em terra;
 - Sem vítimas: [Smartdrones(2013a)] e [Paraizo and Ferigato(2013)];
 - Com vítimas: [Smartdrones(2013b)];
- De acordo com o CENIPA os principais falhas em aeronaves tripuladas são [CENIPA(2012), pág. 17]:
 - Falhas no motor em voo 21,6%;
 - Perda do controle em voo 19,7%;
 - Perda do controle em solo 11,5%;
 - Colisão em voo controlado com o terreno 9,6%.
- Entender cada falha e desenvolver algoritmos justifica o presente estudo para prevenir acidentes maiores.

Introdução

Motivação e Justificativas

LCR

Quedas de VANTs



Objetivo Geral

Promover maior segurança aos voos de VANTs, projetando algoritmos planejadores de rotas que levem em conta as principais situações críticas que podem ocorrer com aeronaves.

Objetivo Específico

- Investigar e elencar as principais situações críticas existentes;
- Desenvolver modelos matemáticos que representem a dinâmica da aeronave, considerando as falhas críticas;
- Criar cenários através de um gerador automático de cenários;
- Desenvolver algoritmos planejadores de rotas que trate panes;
- Avaliar o desempenho dos métodos em experimentos *offline* e em simulador de voo.

Contribuições Teóricas e Práticas

- Obtenção de modelos matemáticos que representem a dinâmica do VANT;
- Avançar o estado da arte em planejamento de rotas para VANTs;
- Aeronaves no futuro poderão possuir sistema autônomo de pouso;
- Aumento da autonomia de voo dos VANTs.

Limitações

- Aeronave precisa conhecer o cenário de voo, onde qualquer eventual mudança pode afeta os resultados;
- Dificuldade na realização de experimentos em campo por se tratar de uma tarefa complexa que demanda tempo e recursos financeiros.

Trabalhos Relacionados

Sistema de Transporte Pessoal

LCR

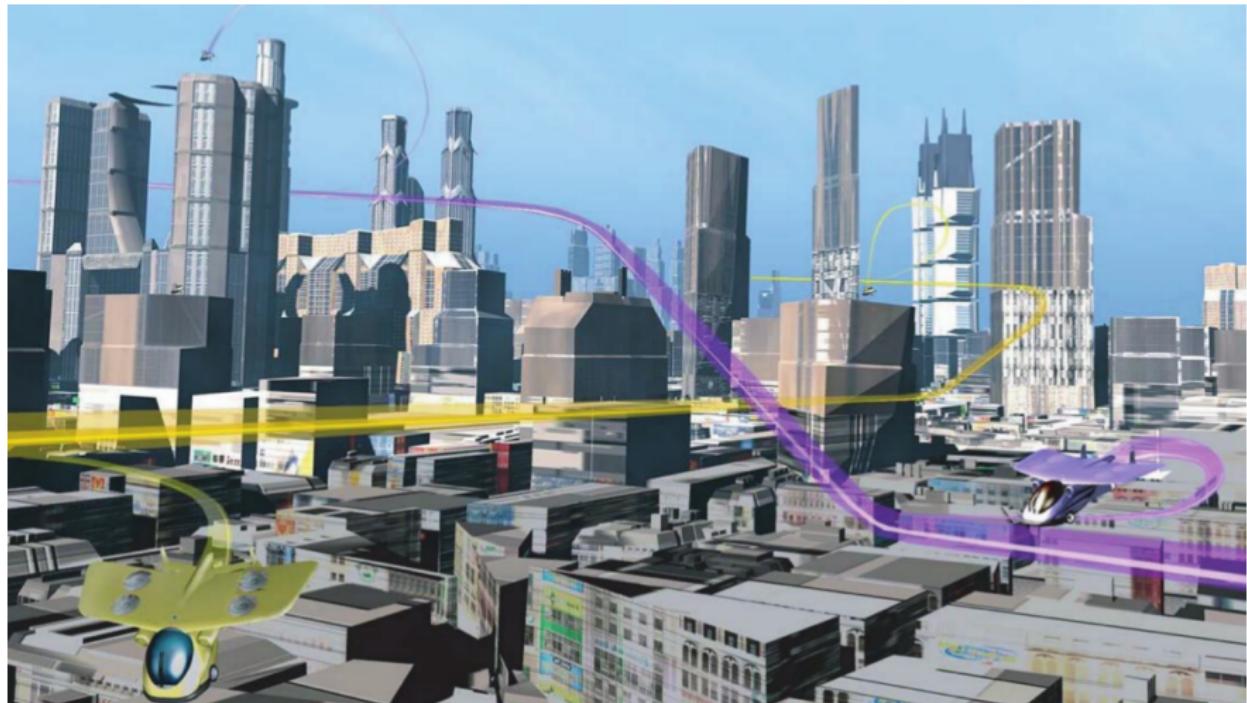


Figura 2 : Sistema de Transporte Pessoal da Boeing (Fonte: [Ono et al.(2013)]).

Trabalhos Relacionados

Sistema de Transporte Pessoal

LCR



Figura 3 : Simples plano para um Véículo Aéreo Pessoal (Fonte: [Ono et al.(2013)]).

Trabalhos Relacionados

Forma de planejamento

LCR

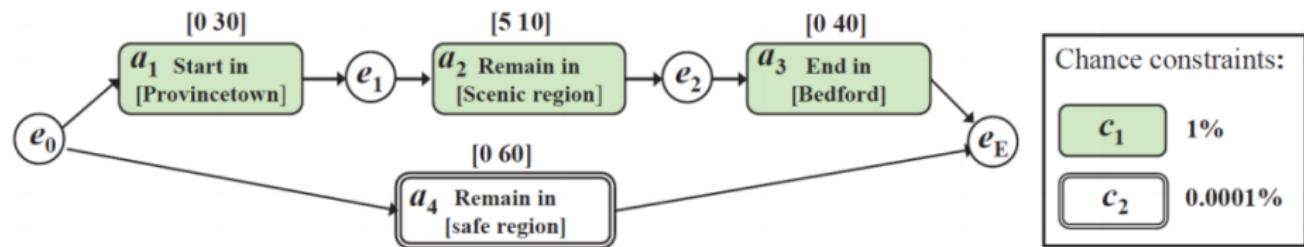


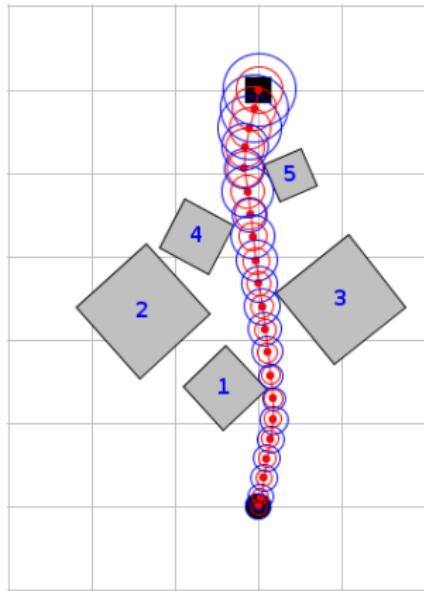
Figura 4 : Forma de planejamento de voo para missão (Fonte: [Ono et al.(2013)]).

Trabalhos Relacionados

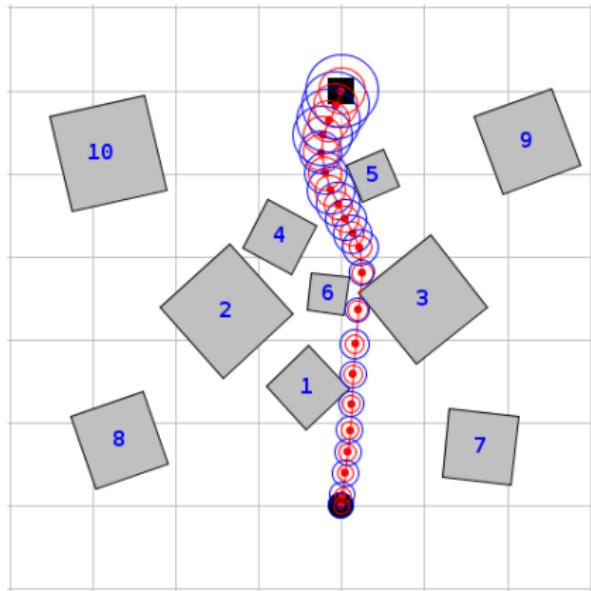
Planejamento de Missão

LCR

Resultados usando modelos matemáticos



(a) Obstáculos = 5: 0.772sec | 10.11m



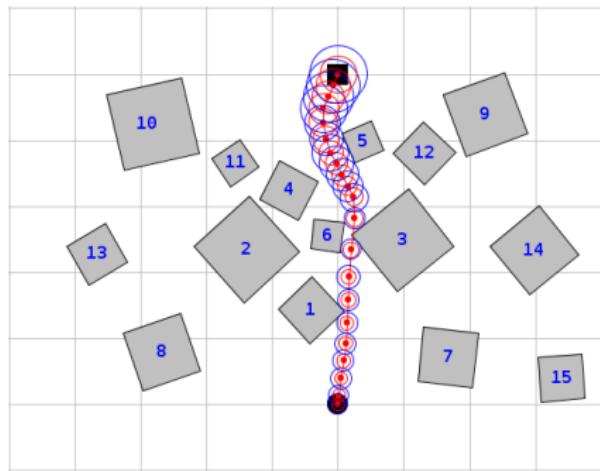
(b) Obstáculos = 10 16.35sec | 10.32m

Trabalhos Relacionados

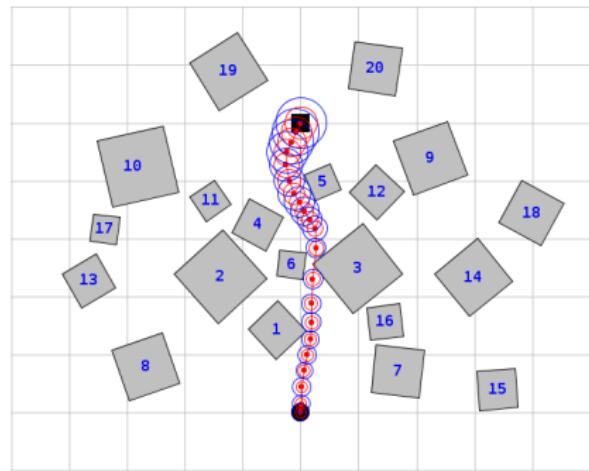
Planejamento de Missão

LCR

Resultados usando modelos matemáticos



(a) Obstáculos = 15: 51.21sec | 10.32m

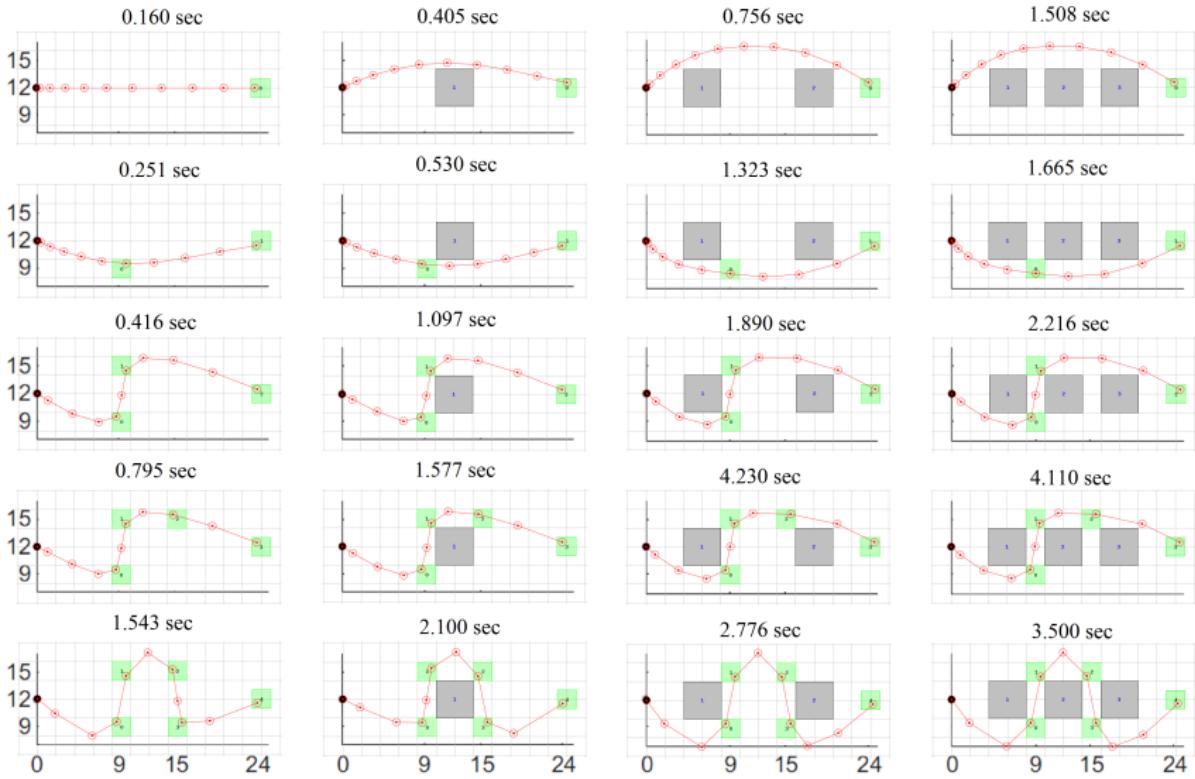


(b) Obstáculos = 20: 61.28sec | 10.39m

Trabalhos Relacionados

Resultados Usando Modelo Matemático

LCR



Problema Abordado

Contextualização do Planejamento de Rota em Caso de Situação Crítica

LCR

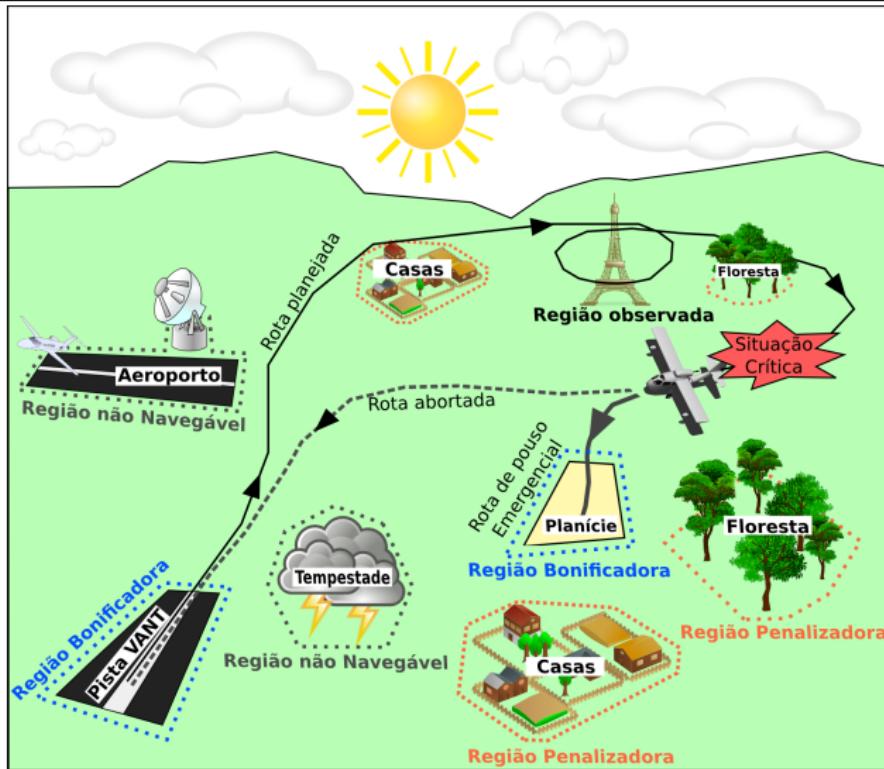


Figura 5 : Cenário ilustrativo para o planejamento de missão.

Problema Abordado

Algoritmos Evolutivos

LCR

- Os Algoritmos Genéticos (AGs) são algoritmos de computação evolutiva proposto por [Holland(1975)];
- Esses algoritmos seguem o princípio da seleção natural;
- O conceito foi proposto por Charles Darwin em 1859 em “A Origem das Espécies”;
- A ideia principal consiste em que as espécies com características mais adaptadas ao meio onde vivem tendem a sobreviver;
- Já as espécies pouco adaptadas tendem a ser extintas;
- Os métodos de computação evolutiva são metaheurísticas baseadas em população de soluções.

Problema Abordado

Algoritmo Genético (AG)

LCR

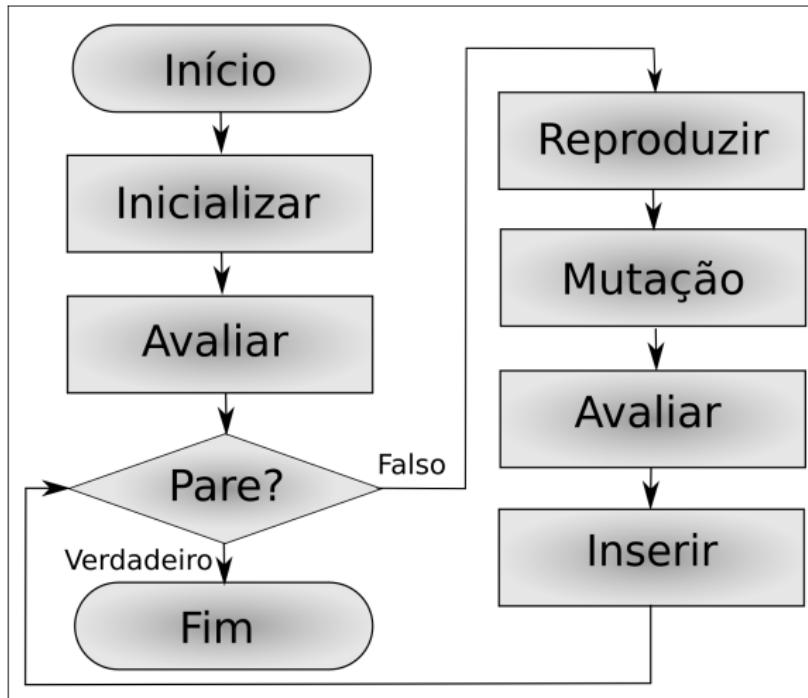


Figura 6 : Fluxo do Funcionamento do AG.

Problema Abordado

Tipos de Regiões Modeladas (Φ)

LCR

① Região Não Navegável (ϕ_n)

- Voo: não pode sobrevoar e nem pousar nesta região;
- Exemplos: aeroportos, base militares etc;
- Penalização: altíssima.

② Região Penalizadora (ϕ_p)

- Voo: pode sobrevoar, mas não é desejado que o mesmo pouse aqui;
- Exemplos: regiões povoadas, fábricas, florestas, montanhas etc;
- Penalização: razoável.

③ Região Bonificadora (ϕ_b)

- Voo: é desejado que o VANT pouse nesta região;
- Exemplos: planícies, plantio rasteiro etc;
- Penalização: bônus razoável.

④ Região Restante (ϕ_r)

- Voo: o VANT pode pousar nesta região;
- Exemplos: representa todo o restante do mapa;
- Penalização: não aplicada.

Problema Abordado

Tipos de Situações Críticas Modeladas (Ψ)

LCR

① Problema no Motor (ψ_m)

- Problemas no funcionamento do motor;
- Não é possível acelerar a aeronave.

② Problema na Bateria (ψ_b)

- A bateria apresenta um super aquecimento;
- Todos os controles funcionam, porém ele deve pousar rapidamente.

③ Problema nas Superfícies Aerodinâmicas tipo 1 (ψ_{s^1})

- Problemas em uma das asas;
- O VANT é capaz de virar somente para esquerda.

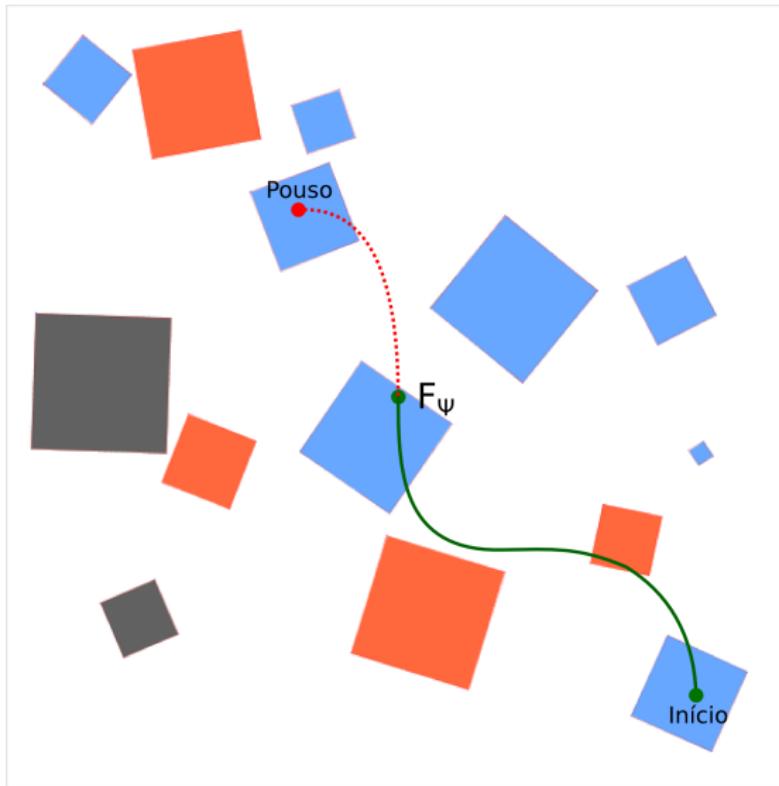
④ Problema nas Superfícies Aerodinâmicas tipo 2 (ψ_{s^2})

- Problemas em uma das asas;
- O VANT é capaz de virar somente para direita.

Problema Abordado

Regiões Modeladas e Falha Crítica

LCR



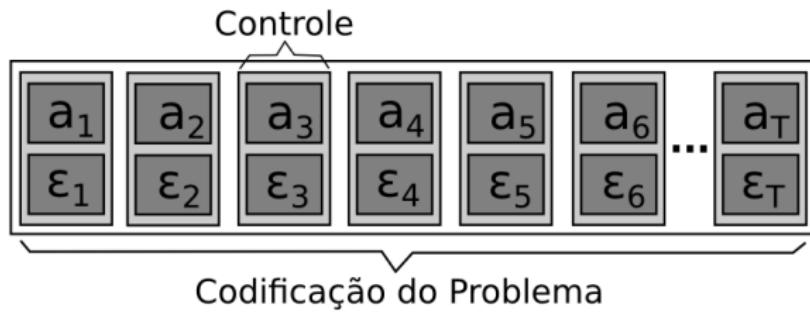


Figura 8 : Codificação dos controles do problema.

- Estados do VANT:

$$x_t = [p_t^x, p_t^y, v_t, \alpha_t]^T \quad (1)$$

- Controles do VANT:

$$u_t = [a_t, \varepsilon_t]^T \quad (2)$$

- Transição de estados VANT:

$$x_{t+1} = F_\psi(x_t, u_t) \Leftrightarrow \begin{bmatrix} p_{t+1}^x \\ p_{t+1}^y \\ v_{t+1} \\ \alpha_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_t^x + v_t \cdot \cos(\alpha_t) \cdot \Delta T + a_t \cdot \cos(\alpha_t) \cdot (\Delta T)^2 / 2 \\ p_t^y + v_t \cdot \sin(\alpha_t) \cdot \Delta T + a_t \cdot \sin(\alpha_t) \cdot (\Delta T)^2 / 2 \\ v_t + a_t \cdot \Delta T - F_t^d \\ \alpha_t + \varepsilon_t \cdot \Delta T \end{bmatrix}$$

- Resistência do Ar:

$$F_t^d = C_d \cdot \rho \cdot v_t^2 \cdot A / 2 \quad (3)$$

Metodologia

Arquitetura Proposta

LCR

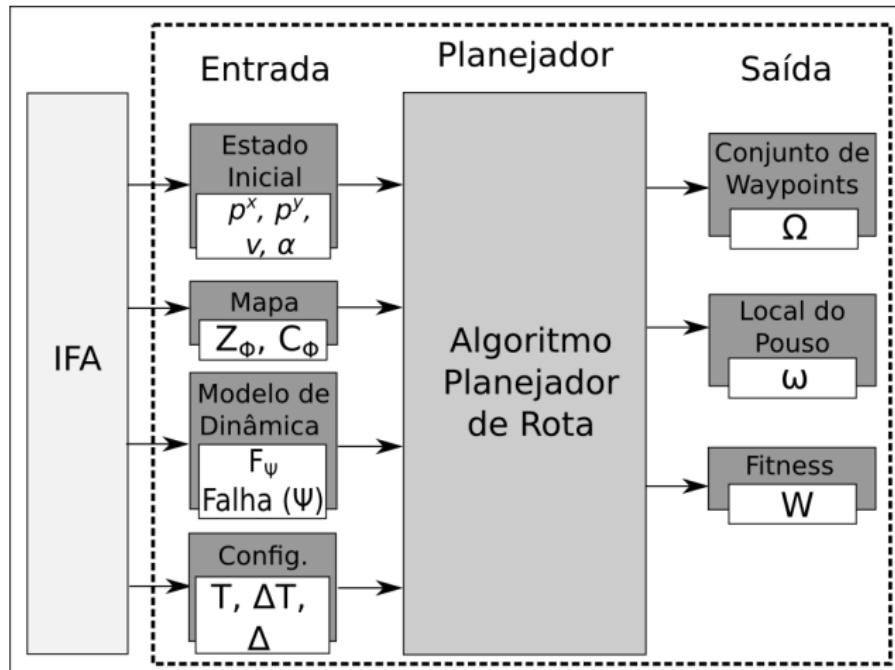


Figura 9 : Arquitetura do planejador proposto.

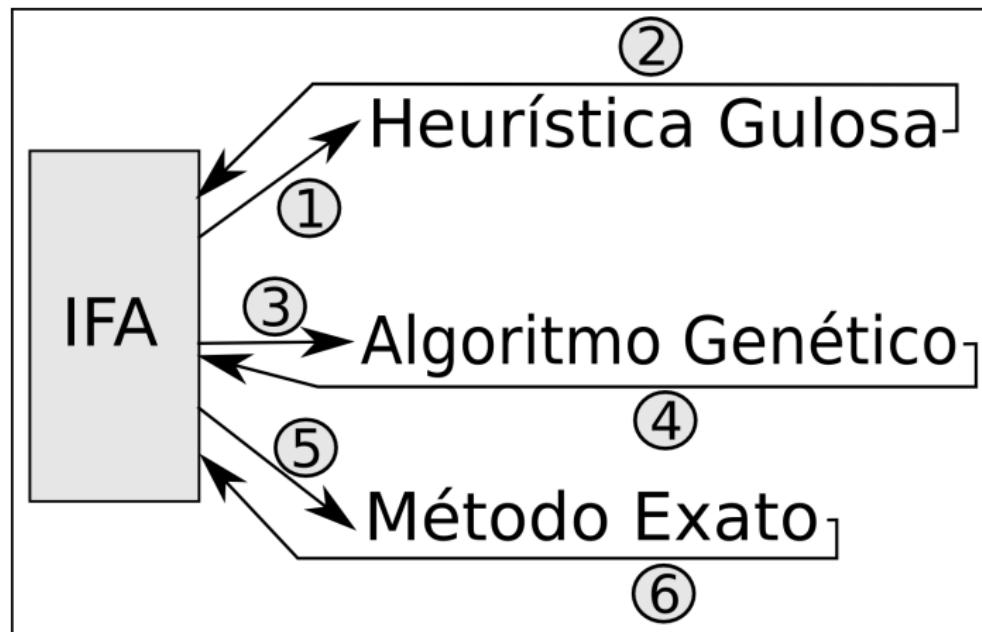


Figura 10 : Árvore de decisão utilizada para escolha do algoritmo.

Metodologia

Simuladores de Voo

LCR

- FlightGear
- X-Plane
- MS Flight Simulator

Simulador	Lancam.	Últ. Versão	Sistema Operacional	Licença	Distribuição	Linguagem
FGFS	1997	2014	Windows, Linux, Mac OS X, FreeBSD, Solaris e IRIX	GPL	Grátis	C/C++
X-Plane	1993	2014	Windows, Linux e Mac OS X	Proprietário	Pago	C/C++
MSFS	1982	2012	Windows	Proprietário	Free-to-Play	C/C++/C#



FGFS



X-Plane



MSFS

Nível de Dificuldade dos Mapas

- ① Easy Map (M_E)
- ② Normal Map (M_N)
- ③ Hard Map (M_H)

Área de Cobertura dos Mapas

- ① Cobertura 25% ($C_{25\%}$)
- ② Cobertura 50% ($C_{50\%}$)

Resultados

Geração Automática de Mapas

LCR

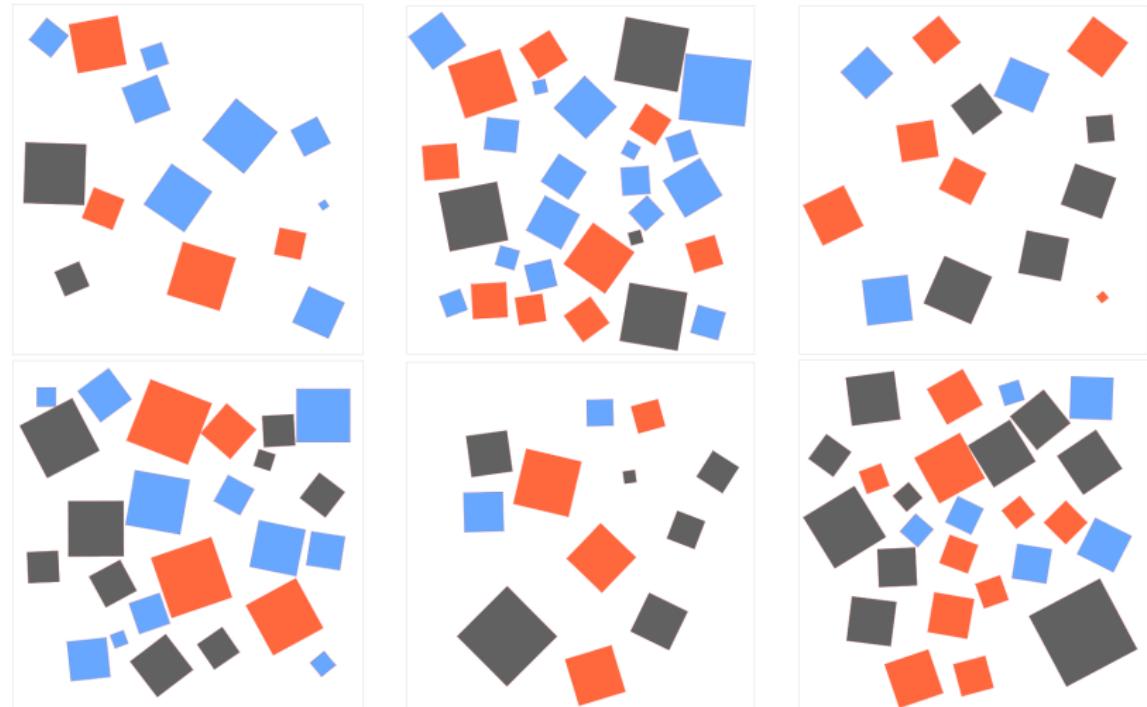


Figura 11 : a, c, e = $C_{25\%}$. b, d, f = $C_{50\%}$. a, b = M_E . c, d = M_N . e, f = M_H .

Resultados

Configurações Usadas

LCR

Modelo	Parâmetro	Valor
Mapa	Dimensões X [m]	1000
	Dimensões Y [m]	1000
VANT	Posição inicial (p_0^x, p_0^y) [m]	(0; 0)
	Velocidade inicial (v_0) [m/s]	24
	Ângulo inicial (α_0) [°]	90
	Velocidade ($v_{min}; v_{max}$) [m/s]	[11, 1; 30, 5]
	Velocidade angular ($\varepsilon_{min}; \varepsilon_{max}$) [°/s]	[-3; 3]
	Aceleração ($a_{min}; a_{max}$) [m/s ²]	[0, 0; 2, 0]
	Tempo máximo para queda (T) [s]	60
	Discretização do tempo (ΔT) [s]	1
	Probabilidade de violar a região ϕ_n (Δ)	0,001

Resultados

Experimentos

LCR

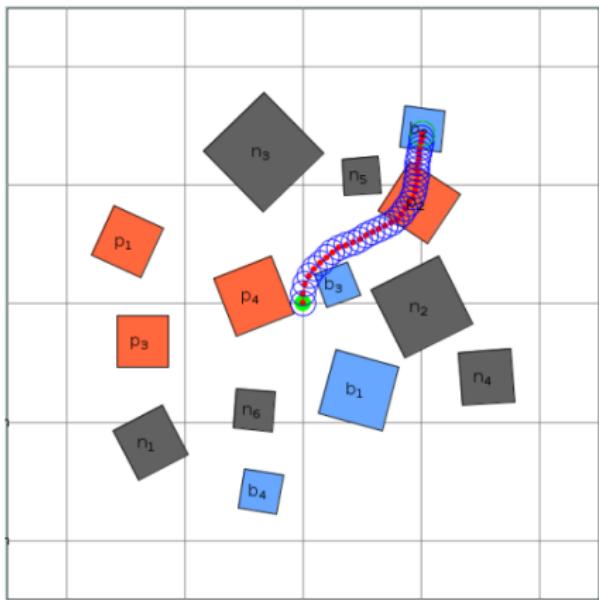
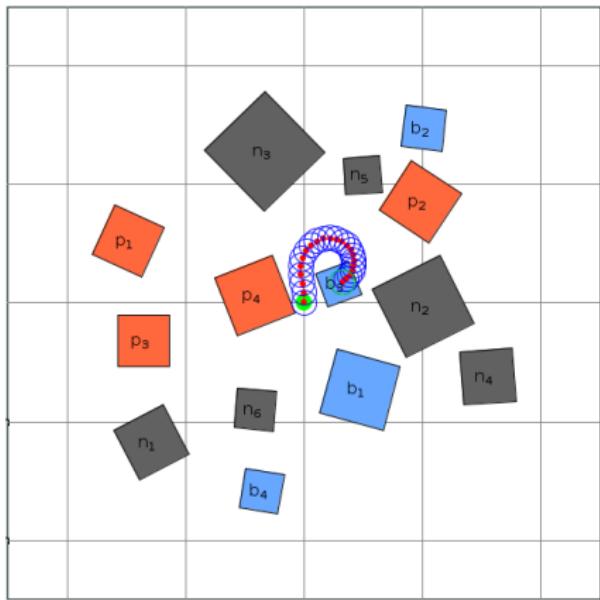


Figura 12 : Situação Crítica: a) ψ_m . b) ψ_b .

Resultados

Experimentos

LCR

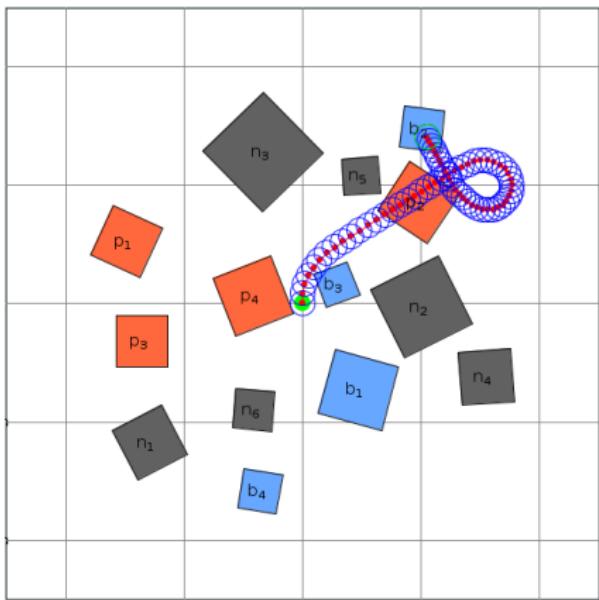
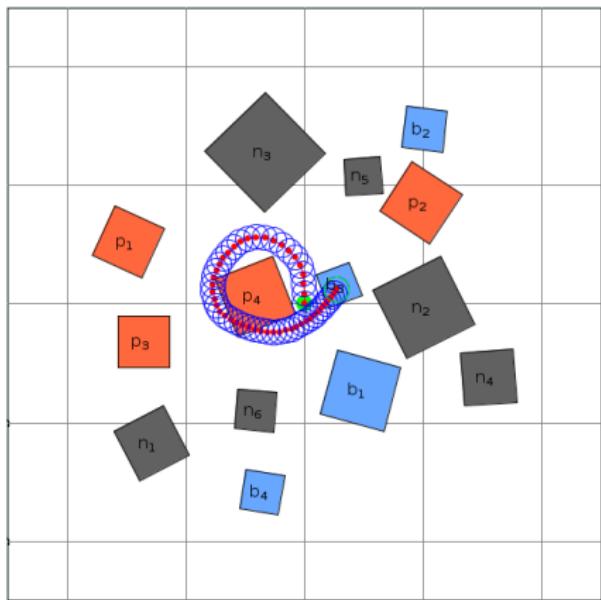


Figura 13 : Situação Crítica: a) ψ_{s^1} . b) ψ_{s^2} .

- VANTs não somente substituem, mas ampliam a faixa de aplicações e configurações das aeronaves tripuladas;
- Para a liberação completa do voo de VANTs, os níveis de segurança deve ser maior do que o voo de aeronaves civis;
- Os VANTs devem ser o tipo predominante de aeronaves em um futuro distante 10 anos ou pouco mais;
- Mercado potencial dos VANTs e aplicações para uso civil é estimado em US\$ 80 bilhões anuais para 2017;
- Assim como os algoritmos para planejamento de missão estão cada vez mais robustos. Os algoritmos para pouso de VANTs deverem caminhar na mesma linha.

- Este trabalho apresentou o problema de pouso de VANTs em caso de situação crítica;
- Um algoritmo planejador de rotas foi desenvolvido;
- Um conjunto de 600 mapas foram gerados automaticamente para avaliar os métodos;
- Uma modelagem da dinâmica do VANT diante situações críticas foi definida;
- Resultados bem promissões foram encontrados pelo AG;
- De forma geral, o AG trouxe a aeronave com segurança até o solo em cerca de 87,33% das falhas.

 RODRIGUES, D.; PIRES, R. d. M.; ESTRELLA, J. C.; MARCONATO, E. A.; TRINDADE JÚNIOR, O.; BRANCO, K. R. L. J. C. Using SOA in Critical-Embedded Systems, **IEEE International Conferences on Internet of Things, and Cyber, Physical and Social Computing**, 2011.

 MATTEI, A. L. P.; FONSECA, E.; FIGUEIRA, N. M.; TRINDADE JÚNIOR, O.; VAZ, F. UAV In-Flight Awareness: A Tool to Improve Safety, **5th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS)**, Munich, 2013.

 FONSECA, E.; MATTEI, A. L. P.; CUNHA, W. C. Adaptative integration systems using FPGA COTS devices, **5th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS)**, Munich, 2013.

 FIGUEIRA, N.; TRINDADE JÚNIOR, O.; MATTEI, A. L. P.; NERIS, L. Mission Oriented Sensor Arrays – An Approach towards UAS Usability Improvement in Practical Applications, **5th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS)**, Munich, 2013.

-  ONO, M.; WILLIAMS, B. C.; BLACKMORE, L. Probabilistic Planning for Continuous Dynamic Systems under Bounded Risk, **Journal of Artificial Intelligence Research**, v. 46, p. 511-577, 2013.
-  MATTMULLER, R.; RINTANEN, J. Planning for temporally extended goals as propositional satisfiability ability, **Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence**, 2007.
-  ENDSLEY, M. R. Design and evaluation for situation awareness enhancement, **Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting**, Santa Monica, CA, 1988.
-  DRURY, J. L.; RIEK, L.; RACKLIFFE, N. A Decomposition of UAV-Related Situation Awareness, **Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction**, Salt Lake City, Utah, 2006.
-  ENDSLEY, M. R.; BOLTE, B.; JONES, D. Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design, Boca Raton: Taylor Francis Group, 2003.



SEPPÄNEN, H.; MÄKELÄ, J.; LUOKKALA, P.; VIRRANTAUS, K. Developing shared situational awareness for emergency management, **Safety Science**, v. 55, p. 1-9, 2013.



BRANCO, K. R. L. J. C.; PELIZZONI, J. M.; NERIS, L.; TRINDADE JÚNIOR, O.; OSÓRIO, F. S.; WOLF, D. F. Tiriba - a new approach of UAV based on model driven development and multiprocessors, **IEEE International Conference on Robotics and Automation**, Shanghai, p. 9-13, 2011.



BRAGA, R. T. V.; BRANCO, K. R. L. J. C.; TRINDADE JÚNIOR, O.; GIMENES, I. M. S. Evolving tiriba design towards a product line of small electric-powered UAVs, **Brazilian Conference on Critical Embedded Systems**, p. 67-72, 2011.



BOUSSAÏD, I.; LEPAGNOT, J.; SIARRY, P. A survey on optimization metaheuristics, **Information Sciences**, v. 237, p. 82-117, 2013.



JIN, Y. Surrogate-assisted evolutionary computation: Recent advances and future challenges, **Swarm and Evolutionary Computation**, v. 1, p. 61-70, 2011.

-  BLACKMORE, L.; ONO, M.; WILLIAMS, B. C. Chance-Constrained Optimal Path Planning With Obstacles, IEEE Press, v. 27, p. 1080-1094, 2011.
-  RICHARDS, A.; HOW, J. Aircraft trajectory planning with collision avoidance using mixed integer linear programming, **Proceedings of American Control Conference**, 2002.
-  HOLLAND, J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, USA, 1975.
-  GOLDBERG, D. E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**, Edition 1, Boston, MA, USA, Addison-Wesley, The University of Alabama, 1989. 412 p. ISBN 0-201-15767-5.
-  JONG, K. A. **Evolutionary Computation: A Unified Approach**, Cambridge, MA, USA, MIT Press, Massachusetts Institute of Technology, 2006. 256 p. ISBN 0-262-04194-4.

-  LI, H. X. Kongming: **A Generative Planner for Hybrid Systems with Temporally Extended Goals**. 2010, PhD thesis - Massachusetts Institute of Technology, 2010. 237 p.
-  PAULA, V. M. G. **BQM-1BR: O VANT à Jato Brasileiro**, Relatório Técnico, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009, 3 p.
-  NATO, **STANAG 4671: UAV Systems Airworthiness Requirements (USAR) for North Atlantic Treaty Organization (NATO) Military UAV Systems**, North Atlantic Treaty Organization, Edition 1, 2007. 205 p.
-  FAA, **FAA Modernization and Reform Act of 2012**, Federal Aviation Administration, Washington, DC, USA, 2012. 296 p.
-  CENIPA, **FCA 58-1: Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira**, Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, Brasília, DF, Brasil, 2012. 81 p.

 ICAO, Doc 9859: Safety Management Manual (SMM), International Civil Aviation Organization, University Street, Montréal, Quebec, Canada, Edition 3. 2013. 251 p. ISBN 978-92-9249-214-4.

 ANAC, Instrução Suplementar - IS: IS nº21-002 Revisão A, Agência Nacional de Aviação Civil, 2012. 21 p.

 SMARTDRONES. Uma queda drone e bater um corredor, seu operador evoca pirataria. Smartdrones. 2013 . Disponível em: <<http://www.smartdrones.fr/pt/zang%C3%A3o-%C3%A9-acidente-pode-sempre-dizer-que-ele-era-Hacke/002771>>. Acesso em: 17 set. 2014.

 SMARTDRONES. Um jovem é morto por seu próprio robô. Smartdrones. 2013 . Disponível em: <<http://www.smartdrones.fr/pt/morto-por-seu-pr%C3%B3pri-rob%C3%B3-em-um-parque-no-Brooklyn/001266>>. Acesso em: 17 set. 2014.

 PARAIZO, D.; FERIGATO, G. Uso de drones se populariza no jornalismo, mas divide opiniões pelo risco de acidentes. Portal

Imprensa. 2013 . Disponível em:

<http://www.portalimprensa.com.br/revista_imprensa/conteudo-extra/67222/uso+de+drones+se+populariza+no+jornalismo+mas+divide+opinioes+pelo+risco+de+>. Acesso em: 17 set. 2014.



OGLOBO. Uma queda drone e bater um corredor, seu operador evoca pirataria. O Globo. 2013 . Disponível em:

<<http://oglobo.globo.com/mundo/eua-registraram-mais-de-400-acidentes-com-drones-militares-12950003>>. Acesso em: 17 set. 2014.



AGX. AGX Tecnologia. AGX. Disponível em:

<http://www.agx.com.br/n2/pages/index.php?opt=airplane_history>. Acesso em: 23 set. 2014.



DRONEWARS.. Dronewars. Disponível em:

<<http://dronewars.net/drone-crash-database/>>. Acesso em: 25 set. 2014.

Obrigado a Todos!!!
Perguntas!!!

