

Planejamento de rota para VANTs em caso de situação crítica: Uma abordagem baseada em segurança

Jesimar da Silva Arantes

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

Orientador: Claudio Fabiano Motta Toledo



Março – 2016

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

Introdução

Contextualização Geral

LCR

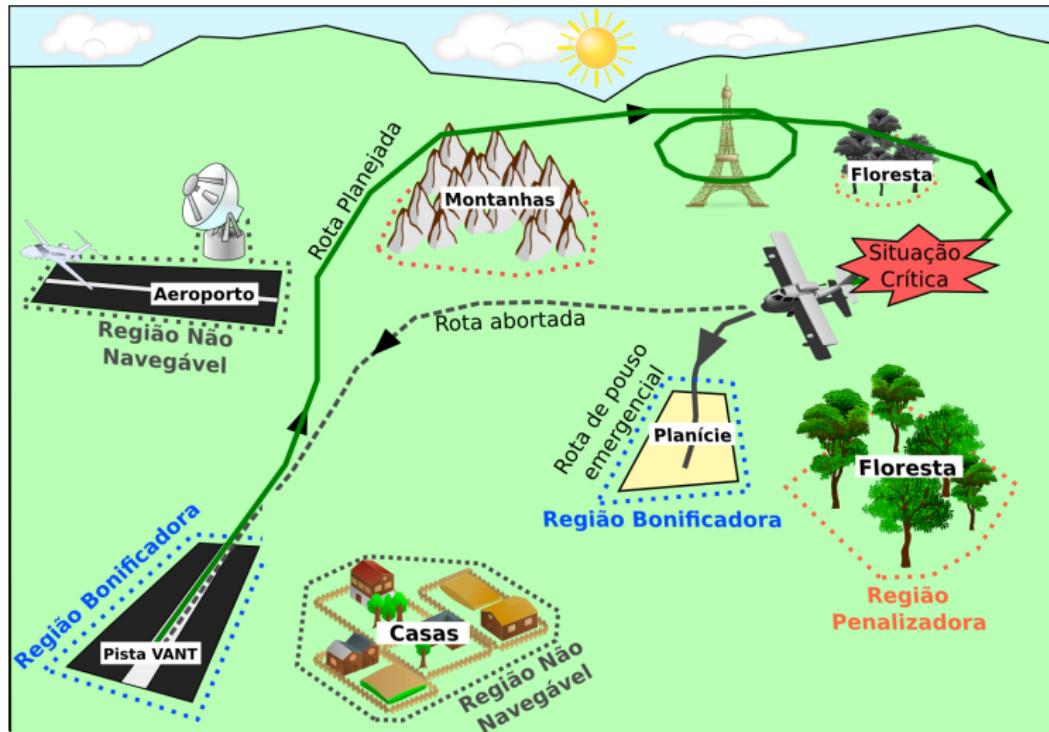


Figure 1: Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

Introdução

Contextualização Geral

LCR

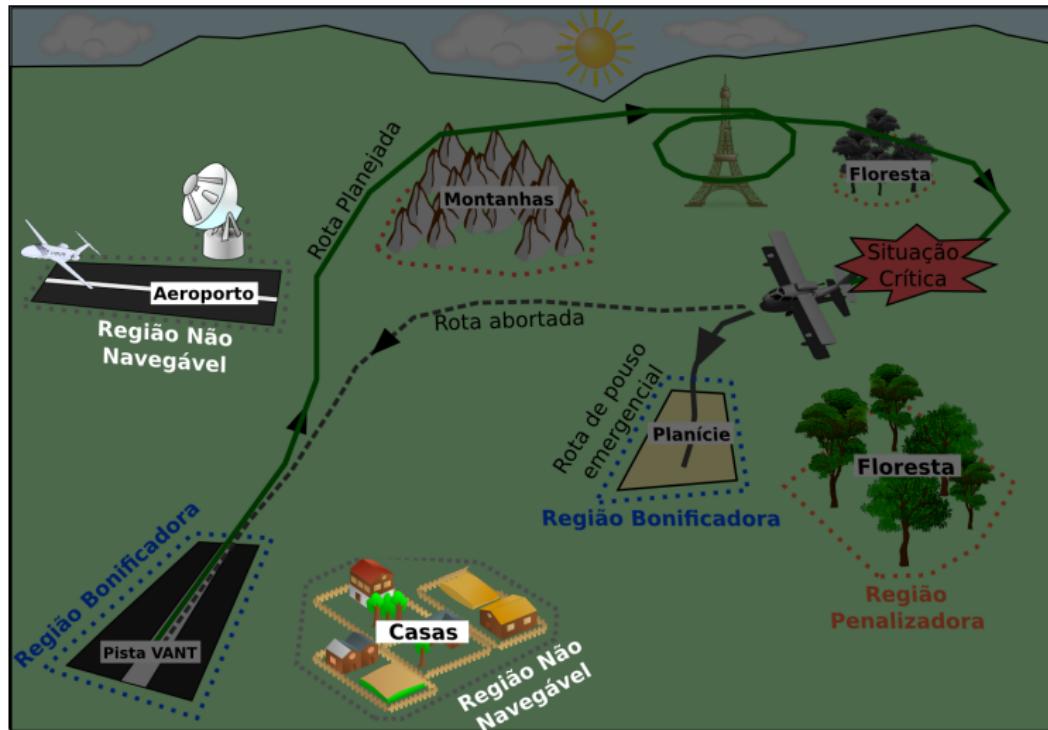


Figure 2: Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

Introdução

Contextualização Geral

LCR

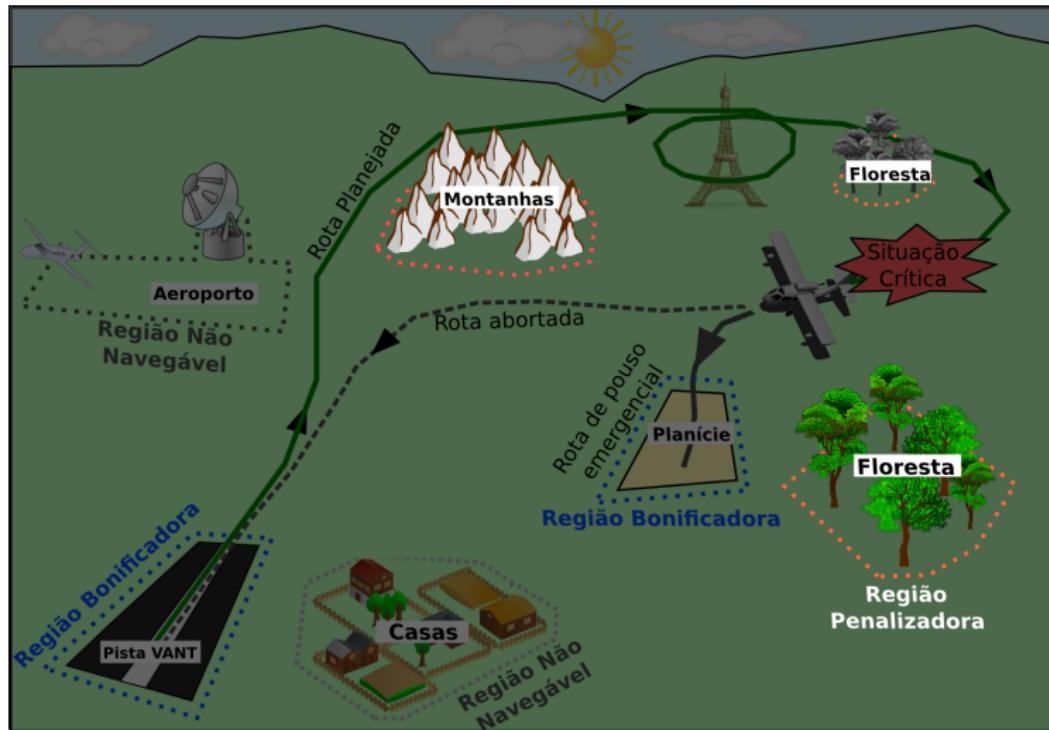


Figure 3: Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

Introdução

Contextualização Geral

LCR

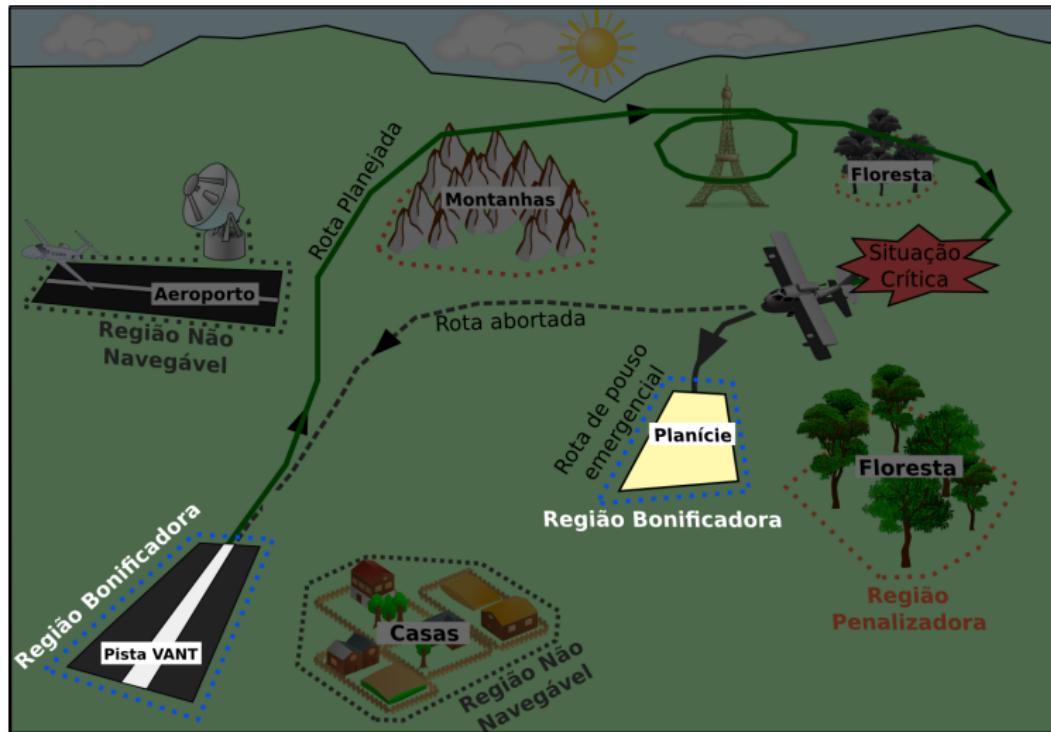


Figure 4: Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

Introdução

Contextualização Geral

LCR

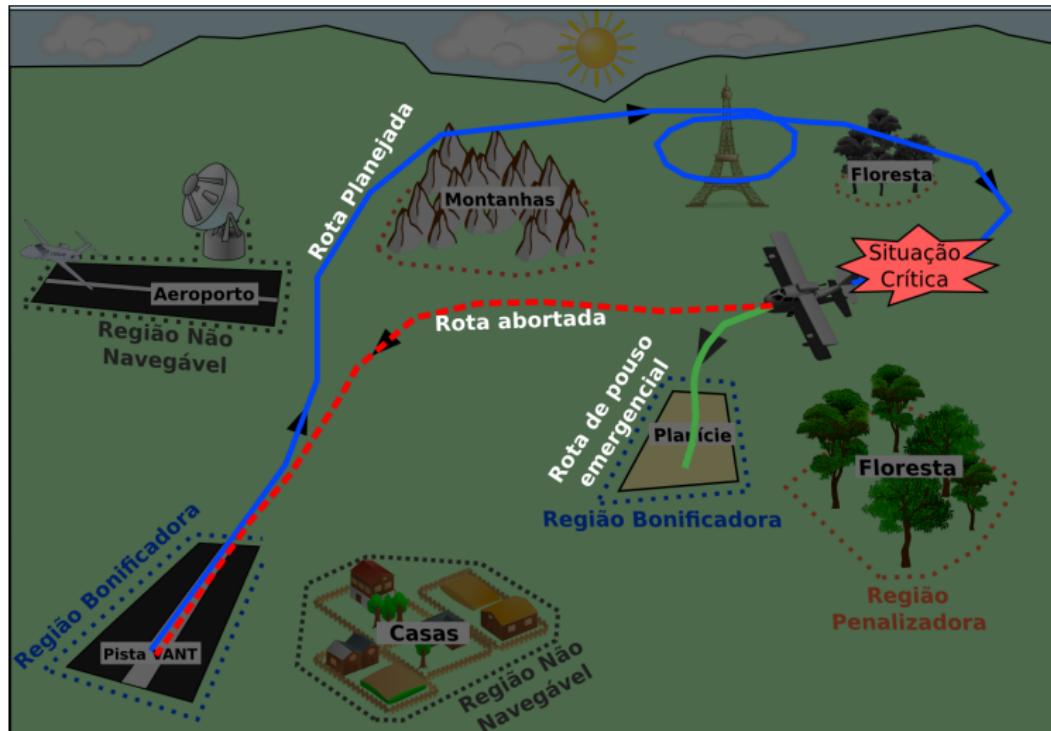


Figure 5: Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

Introdução

Contextualização Geral

LCR



Figure 6: Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

- Elevado índice de acidentes com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs);
- Série de acidentes envolvendo VANTs [Smartdrones(2013a)];
- De 2001 a 2013 ocorreram +400 acidentes com VANTs militares [OGlobo(2013)].



Objetivo Geral

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

Objetivo Específico

- Investigar e elencar as principais situações críticas em VANTs;
- Desenvolver modelos matemáticos que representem a dinâmica da aeronave, considerando as falhas críticas;
- Desenvolver algoritmos planejadores de rotas;
- Elaborar mapas para voo através de um gerador automático de mapas;
- Avaliar o desempenho dos métodos em experimentos *offline* e *online*.

Revisão Bibliográfica

Arquitetura do VANT

LCR

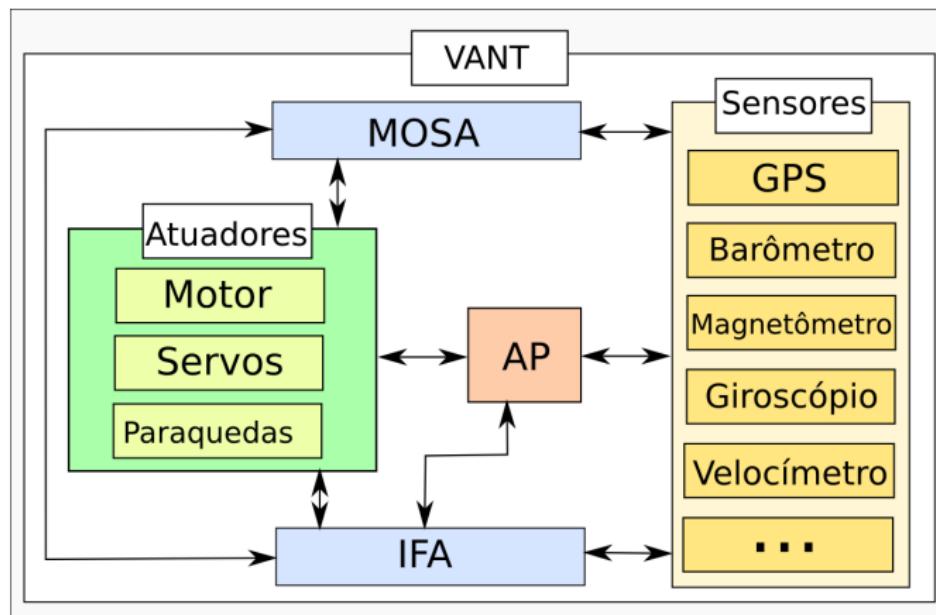
Aspectos Relacionados a Segurança e Missão:

[Mattei(2014)]: .

- IFA

[Figueira et al.(2013)]: .

- MOSA:



Planejamento de Rota para Veículos Autônomos:

[Blackmore et al.(2011)]: .

- Planejamento de caminho $[A \rightarrow B]$;
- Desvio de obstáculos;
- Alocação de risco.

[Ono et al.(2013)]: .

- Planejamento de missão $[A \rightarrow B \rightarrow C]$;
- Desvio de obstáculos e alocação de risco;
- Restrições temporais dinâmicas.

Replanejamento de Rota em Caso de Emergência:

[Meuleau et al.(2009)]: .

- Replanejamento de rota a partir de uma situação crítica;
- Sistema ajuda os pilotos de aviões tripulados;
- Algoritmo A* híbrido.

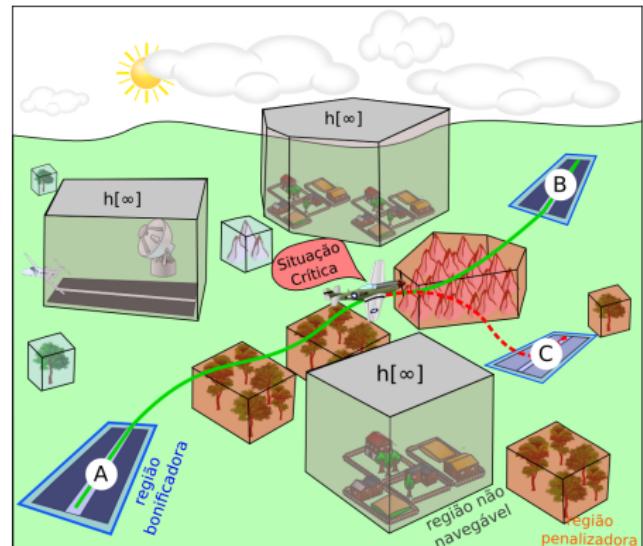
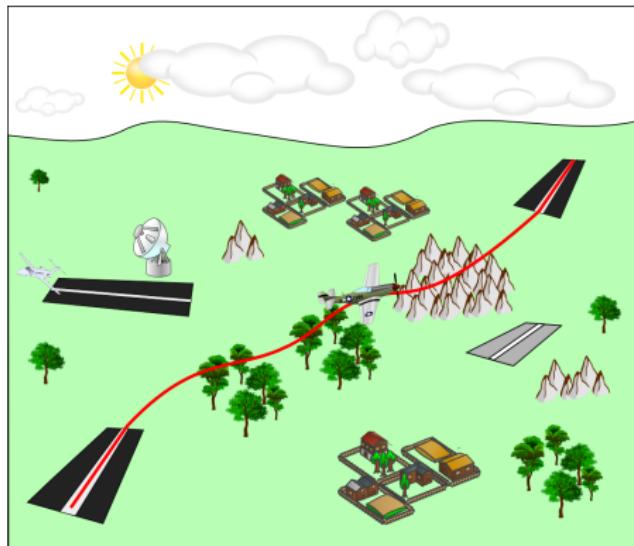
[Meuleau et al.(2011)]: .

- Testes em simulador de voo para aeronave tripuladas;
- Sistema considera apenas aeroportos cadastrados;
- Resultados do método são as possíveis rotas de pouso.

Problema Abordado

Descrição do Problema

LCR



Problema Abordado

Tipos de Regiões Modeladas e Situações Crítica

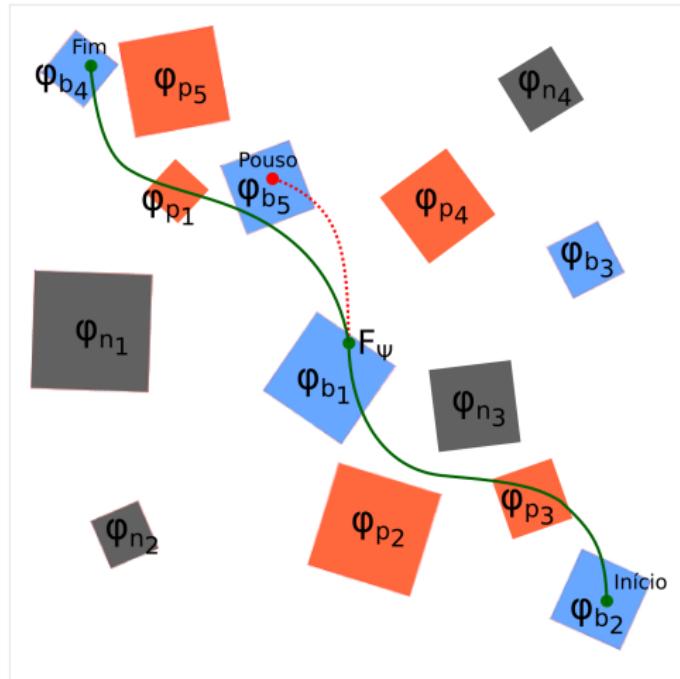
LCR

- Regiões

- ① Não Navegável (Φ^n) ■
- ② Penalizadora (Φ^P) □
- ③ Bonificadora (Φ^b) ▲
- ④ Remanescente (Φ^r) □

- Situações Críticas

- ① Problema no Motor (Ψ^m)
- ② Problema na Bateria (Ψ^b)
- ③ Problema nas Superfícies Aerodinâmicas 1 (Ψ^{s1})
- ④ Problema nas Superfícies Aerodinâmicas 2 (Ψ^{s2})
- ⑤ Nenhum Problema (Ψ^\emptyset)



Parâmetros:

- $\Phi^l = \{Z_{\Phi^l}^1, Z_{\Phi^l}^2, \dots, Z_{\Phi^l}^{|\Phi^l|}\}$: Conjunto de regiões com $l \in \{n, p, b, r\}$;
- $Z_{\Phi^l}^i$: i -ésima região do conjunto Φ^l ;
- C_{Φ^l} : Custo de pouso no conjunto Φ^l ;
- T : Número de passos de tempo para pouso o VANT;
- Δ : Probabilidade do VANT violar uma região no conjunto Φ^n ;
- F_Ψ : Função de transição de estados para falha Ψ ;
- ω_t : Perturbação independente do estado, no instante t ;
- ΔT : Discretização do tempo com intervalo de tempo fixo.

Variáveis de Decisão:

- x_t : Conjunto de estados do VANT;
- u_t : Conjunto de controles do VANT.

Problema Abordado

Modelagem Restrita do Problema

LCR

$$\text{Minimizar} \sum_{i=1}^{|\Phi^P|} (C_{\Phi^P} \cdot Pr(x_T \in Z_{\Phi^P}^i)) - \sum_{i=1}^{|\Phi^b|} (C_{\Phi^b} \cdot Pr(x_T \in Z_{\Phi^b}^i)) \quad (1)$$

sujeito a:

$$x_{t+1} = F_\Psi(x_t, u_t) + \omega_t \quad \forall t = 0, 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$Pr \left(\bigwedge_{t=0}^T \bigwedge_{i=1}^{|\Phi^n|} x_t \notin Z_{\Phi^n}^i \right) \geq 1 - \Delta \quad (3)$$

$$F_\Psi(x_t, u_t) = \begin{bmatrix} p_t^x + v_t \cdot \cos(\alpha_t) \cdot \Delta T + a_t \cdot \cos(\alpha_t) \cdot (\Delta T)^2 / 2 \\ p_t^y + v_t \cdot \sin(\alpha_t) \cdot \Delta T + a_t \cdot \sin(\alpha_t) \cdot (\Delta T)^2 / 2 \\ v_t + a_t \cdot \Delta T - \frac{F_t^d}{m} \cdot \Delta T \\ \alpha_t + \varepsilon_t \cdot \Delta T \end{bmatrix} \quad (4)$$

Função objetivo 1:

$$\text{Minimizar} \sum_{t=0}^{T-1} (\bar{u}'_t \cdot \bar{u}_t) - C_{\Phi^b} \cdot \sum_{j=1}^{|\Phi^b|} P_j^{\Phi^b} \quad (5)$$

Função objetivo 2:

$$\text{Minimizar} \sum_{t=0}^{T-1} u'_t \cdot u_t \cdot 2^{\frac{t-\tau_{max}}{10}} - C_{\Phi^b} \sum_{j=1}^{|\Phi^b|} P_j^{\Phi^b} + C_{\Phi^b} \sum_{t=1}^T S_t \cdot 2^{\frac{t-\tau_{max}}{10}} \quad (6)$$

Problema Abordado

Modelagem Completa do Problema

LCR

Equação de dinâmica

$$H_t \Rightarrow \bar{x}_{t+1} = A\bar{x}_t + B\bar{u}_t \quad \forall t = 0, 1, 2, \dots, T-1 \quad (7)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta T & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta T \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\Delta T^2 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}\Delta T^2 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}\Delta T^2 \\ \Delta T & 0 & 0 \\ 0 & \Delta T & 0 \\ 0 & 0 & \Delta T \end{bmatrix}$$

Problema Abordado

Modelagem Completa do Problema

LCR

Estado inicial

$$\bar{x}_0 = [p_0^x \ p_0^y \ p_0^z \ v_0^x \ v_0^y \ v_0^z]' \quad (8)$$

Definindo o horizonte de planejamento

$$H_t = 1 \quad (\text{caso } t = 0) \quad (9)$$

$$H_t = 0 \quad (\text{caso } t = T) \quad (10)$$

$$H_t \leq H_{t-1} \quad \forall t \quad (11)$$

$$H_t = 1 \quad \forall t < \tau^{min} \quad (12)$$

$$H_t = 0 \quad \forall t > \tau^{max} \quad (13)$$

Problema Abordado

Modelagem Completa do Problema

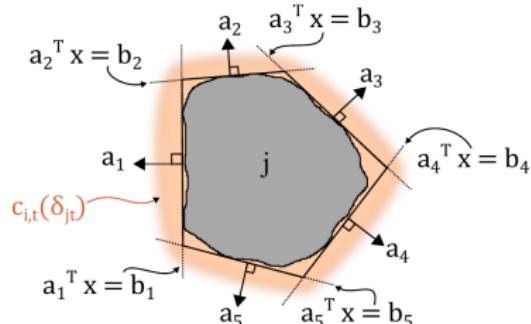
LCR

Colisão com regiões não navegáveis

$$a'_{ji} = [a_{ji}^1 \ a_{ji}^2 \ a_{ji}^3 \ 0 \ 0 \ 0] , \quad b_{ji} \quad \forall j \in \Phi^n, i \in \Phi_j^n$$

$$\sum_{i=1}^{|\Phi_j^n|} Z_{jit}^{\Phi^n} \geq H_t \quad \forall t, j \in \Phi^n \quad (14)$$

$$Z_{jit}^{\Phi^n} \Rightarrow a'_{ji} \cdot \bar{x}_t \geq b_{ji} + c_{jit}(\delta_{jt}^n) \quad \forall t, j \in \Phi^n, i \in \Phi_j^n \quad (15)$$



Problema Abordado

Modelagem Completa do Problema

LCR

Problema no Motor

$$H_t \Rightarrow \bar{x}_v^z \leq v_m^v + \mu \quad \forall t \quad (16)$$

$$H_t \Rightarrow \bar{x}_v^z \geq v_m^v - \mu \quad \forall t \quad (17)$$

$$H_t \Rightarrow a'_k \cdot \bar{x}_t \leq v_m^h + \mu \quad \forall t, k \in G_{max}^v \quad (18)$$

$$W_{kt} \Rightarrow a'_k \cdot \bar{x}_t \geq v_m^h - \mu \quad \forall t, k \in G_{min}^v \quad (19)$$

Problema Abordado

Modelagem Completa do Problema

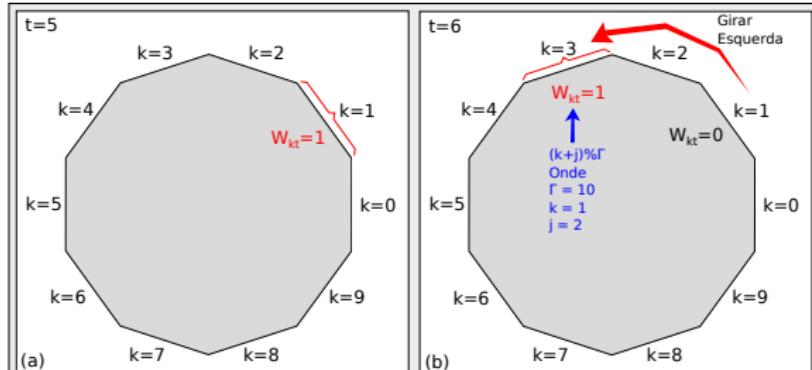
LCR

Problema na superfície aerodinâmica tipo 1 (Ψ^{s1})

$$a'_k = \left[0 \ 0 \ 0 \ -\sin\left(\frac{2\pi k}{\Gamma}\right) \cos\left(\frac{2\pi k}{\Gamma}\right) \ 0 \right] \quad \forall k \in G_{min}^v$$

$$W_{kt} \wedge H_{t+1} \leq \sum_{j=0}^{\Gamma \cdot \theta / 2\pi} W_{(k+j)\% \Gamma, t+1} \quad \forall t, k \in G_{min}^v \quad (20)$$

$$W_{kt} \Rightarrow \sum_{k \in G_{min}^v} a'_k \cdot (\bar{x}_{t+1} - \bar{x}_t) \geq 0 \quad \forall t, k \in G_{min}^v \quad (21)$$



- Heurística Gulosa (HG);
- Algoritmo Genético (AG);
 - AG1: sem Inicialização Gulosa;
 - AG2: com Inicialização Gulosa;
- Algoritmo Genético Multi-Populacional (AGMP);
 - AGMP1: sem Inicialização Gulosa;
 - AGMP2: com Inicialização Gulosa;
- Programação Linear Inteira Mista (PLIM);
 - PLIM1: Função Objetivo 3.11;
 - PLIM2: Função Objetivo 3.53.

Metodologia

Heurística Gulosa

LCR

Algoritmo 1: Heurística Gulosa.

Entrada: Mapa: *mapa*

Saída: RotaPouso: *melhorRota*

1 **início**

2 RotaPouso *rota*[] \leftarrow instância RotaPouso() [*mapa*. $|\Phi^b|$];

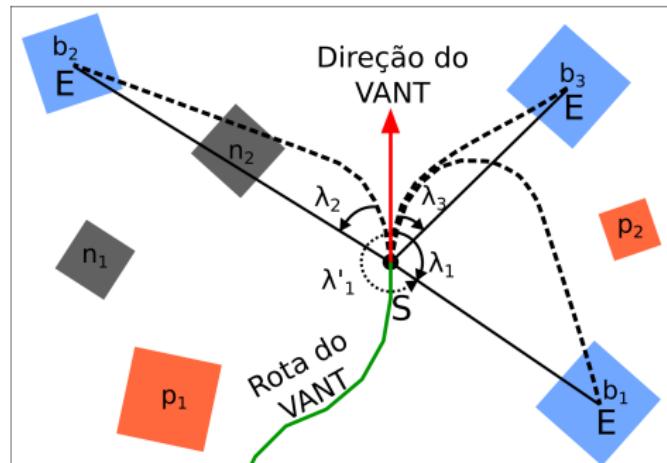
3 **para** $i = 1$ até *mapa*. $|\Phi^b|$ **faça**

4 inicializar(*rota*[i], *mapa*. $Z_{\Phi^b}^i$);

5 avaliar(*rota*[i]);

6 RotaPouso *melhorRota* \leftarrow obtemMelhorRota(*rota*);

7 **retorna** *melhorRota*;



Algoritmo 2: Algoritmo Genético.

Entrada: Critério: *critérioDeParada*; Inteiro: *tamPop*, *taxaCross*

Saída: RotaPouso: *melhorRota*

```
1 início
2     criarPopulação(rotas);
3     inicializar(rotas);
4     avaliar(rotas);
5     enquanto nãoAtingir(critérioDeParada) faça
6         enquanto nãoConvergir() faça
7             para i = 1 até taxaCross × tamPop faça
8                 selecionar(pais);
9                 filho ← crossover(pais);
10                mutação(filho);
11                avaliar(filho);
12                adicionar(filho);
13            }
14            reiniciar(rotas);
15        }
16        RotaPouso melhorRota ← obtemMelhorRota(rotas);
17    retorna melhorRota;
```

Metodologia

Algoritmo Genético Multi-Populacional

LCR

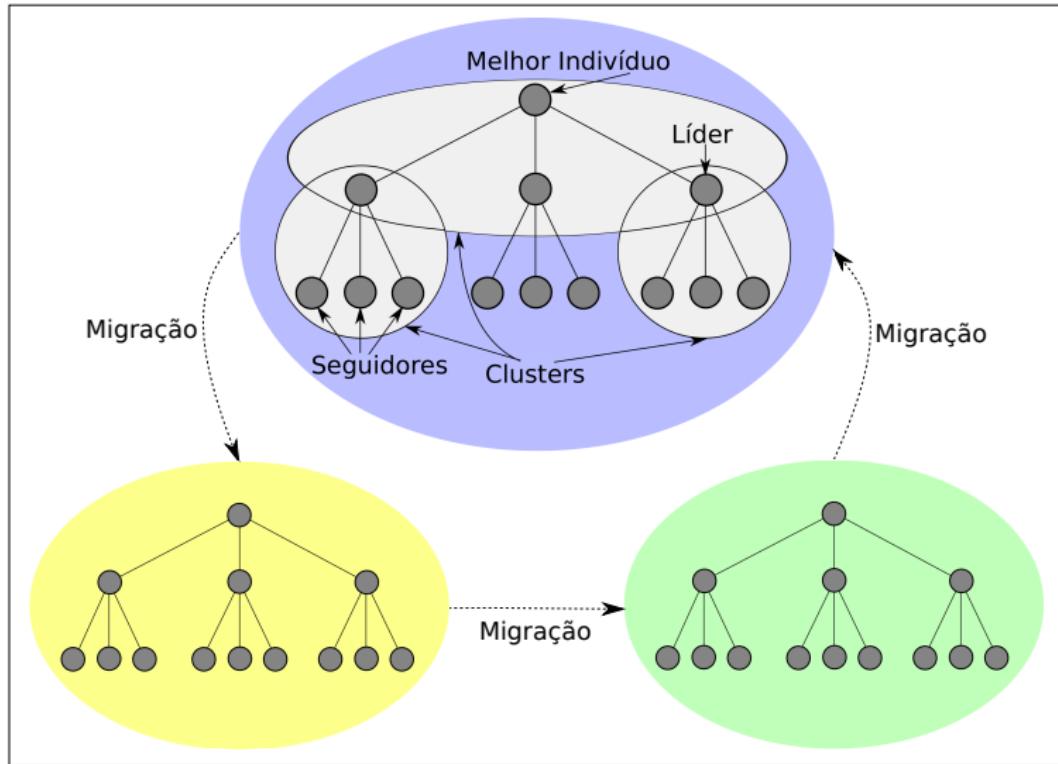


Figure 7: Estrutura hierárquica em árvore dos indivíduos.

Algoritmo 4: Algoritmo do Modelo PLIM.

```
Input: Modelo: modelo; TipoModelo: tipoModelo; SituaçãoCrítica: tipoFalha
Output: RotaPousou: melhorRota
1 begin
2     Função Objetivo:
3     {
4         caso (tipoModelo = TipoModelo.PLIM1)
5             modelo.minimizar(3.11)
6         caso (tipoModelo = TipoModelo.PLIM2)
7             modelo.minimizar(3.53)
8     }
9     Sujeito a:
10    {
11        modelo.adicionar(3.12 - 3.19)
12        modelo.adicionar(3.21 - 3.23)
13        modelo.adicionar(3.25 - 3.26)
14        modelo.adicionar(3.28 - 3.33)
15        modelo.adicionar(3.38 - 3.39)
16        modelo.adicionar(3.41 - 3.48)
17    }
18    Situação Crítica:
19    {
20        caso (tipoFalha =  $\Psi^m$ )
21            modelo.adicionar(3.49 - 3.52)
22        caso (tipoFalha =  $\Psi^b$ )
23            modelo.remover(3.11)
24            modelo.minimizar(3.53)
25        caso (tipoFalha =  $\Psi^1$ )
26            modelo.adicionar(3.56 - 3.57)
27        caso (tipoFalha =  $\Psi^2$ )
28            modelo.adicionar(3.58 - 3.59)
29    }
30    modelo.resolve()
31    melhorRota ← modelo.obtemMelhorRota()
32    return melhorRota
```

Metodologia

Função Objetivo

LCR

$$\text{minimizar fitness} = -C_{\Phi^b} \cdot \sum_{i=1}^{|\Phi^b|} (\Pr(x_K \in Z_{\Phi^b}^i)) + C_{\Phi^P} \cdot \sum_{i=1}^{|\Phi^P|} (\Pr(x_K \in Z_{\Phi^P}^i)) +$$

$$C_{\Phi^n} \cdot \max \left(0, 1 - \Delta - \Pr \left(\bigwedge_{t=0}^K \bigwedge_{i=1}^{|\Phi^n|} x_t \notin Z_{\Phi^n}^i \right) \right) + \frac{1}{|\varepsilon_{\max}|} \cdot \sum_{t=0}^K |\varepsilon_t| +$$

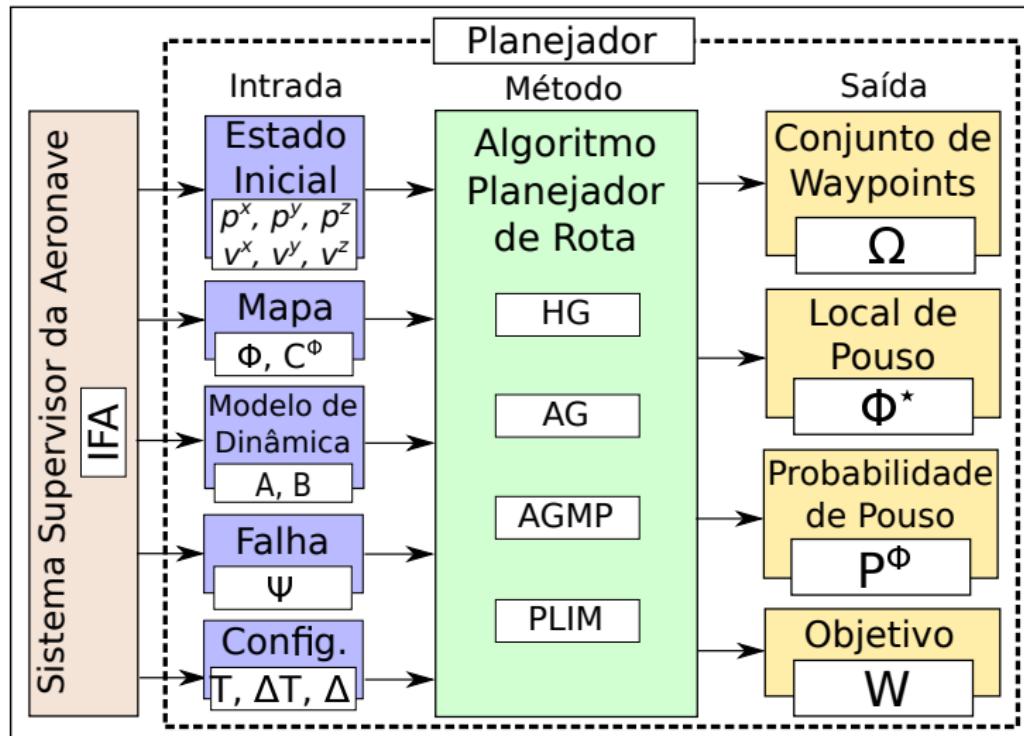
$$\text{menorDist}(\bar{x}_K, \Phi^b) + \begin{cases} C_{\Phi^b} & , \text{caso } v_K - v_{\min} > 0 \\ 0 & , \text{caso contrario} \end{cases} + \begin{cases} C_{\Phi^b} \cdot 2^{\frac{(K-T)}{10}} & , \text{caso } \Psi^* = \Psi^b \\ 0 & , \text{caso contrario} \end{cases}$$

- Pousar sobre Φ^b 
- Pousar sobre Φ^P 
- Pousar e voar sobre Φ^n 
- Curvas do VANT 
- Distância para Φ^b 
- Violação do Tempo 
- Falha na Bateria 

Metodologia

Arquitetura do Planejador Proposto

LCR



Metodologia

Geração Manual de Mapas

LCR

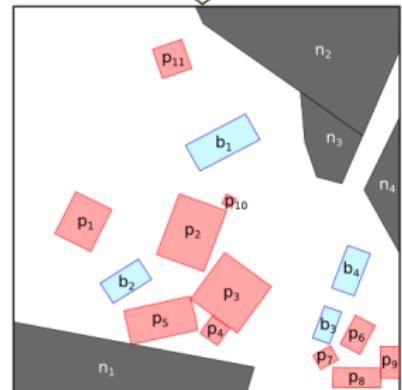
Aquisição de Mapas
para Voo



Delimitação de
Regiões de Interesse



Mapa Analizado e
Processado pelo VANT



Metodologia

Geração Automática de Mapas

LCR

- Nível de Dificuldade

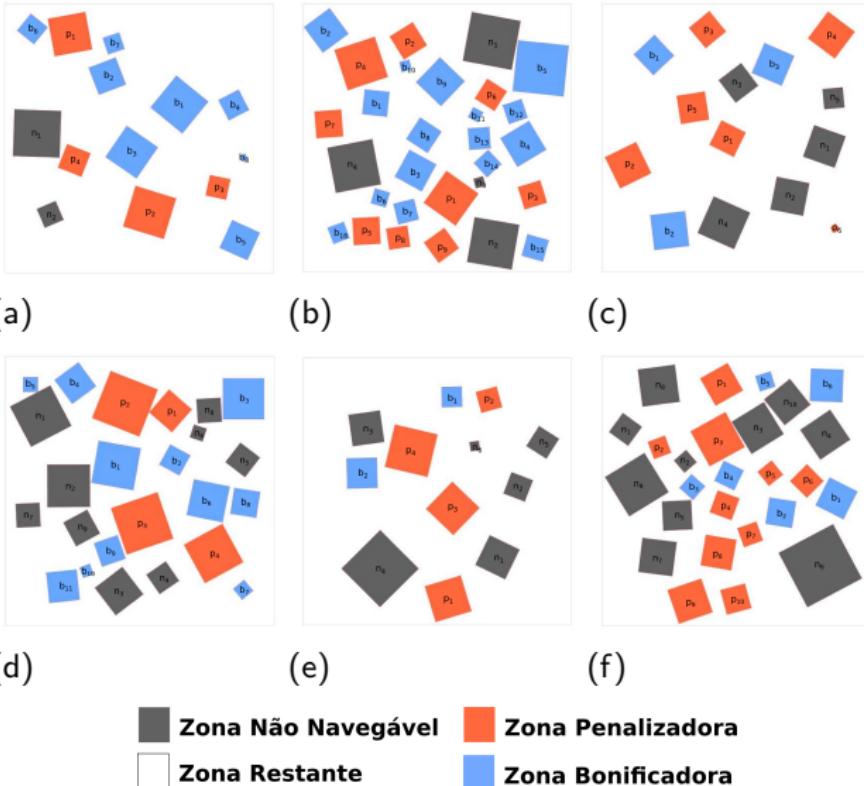
- ① \mathcal{M}_F : a), b)
- ② \mathcal{M}_N : c), d)
- ③ \mathcal{M}_D : e), f)

- Área de Cobertura

- ① $\mathcal{M}^{25\%}$: a), c), e)
- ② $\mathcal{M}^{50\%}$: b), d), f)

- Legenda das Cores

- ① ϕ^b
- ② ϕ^p
- ③ ϕ^n
- ④ ϕ^r



Resultados

Experimentos: Configurações Usadas

LCR

Categoria	Descrição do Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Mapa	Dimensão no eixo X	-	1000	metros (m)
	Dimensão no eixo Y	-	1000	metros (m)
VANT	Posição inicial	(p_0^x, p_0^y)	(0, 0)	metros (m)
	Velocidade inicial	v_0	24	m/s
	Ângulo inicial	α_0	90	graus (°)
	Velocidade mínima	v_{min}	11,1	m/s
	Velocidade máxima	v_{max}	30,5	m/s
	Velocidade angular mínima	ε_{min}	-3	°/s
	Velocidade angular máxima	ε_{max}	3	°/s
Modelo	Horizonte de planejamento	T	60	segundos (s)
	Discretização do tempo	ΔT	1	segundos (s)
	Probabilidade de violar Φ^n	Δ	0,001	-
Pesos	Custo bonificadora	C_{Φ^b}	2.000	\$
	Custo penalizadora	C_{Φ^p}	8.000	\$
	Custo não navegável	C_{Φ^n}	100.000	\$
	Custo remanescente	C_{Φ^r}	0	\$

Resultados

LCR

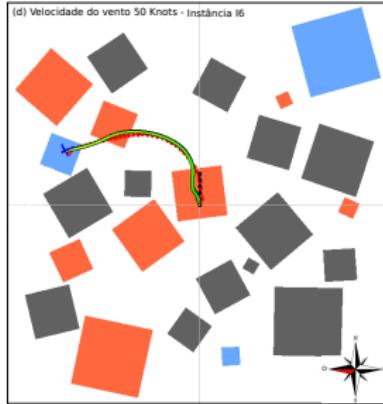
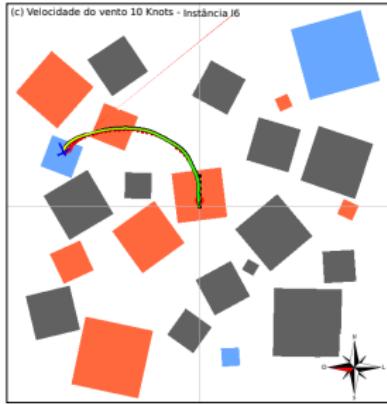
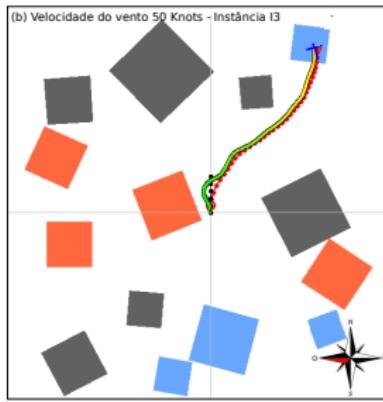
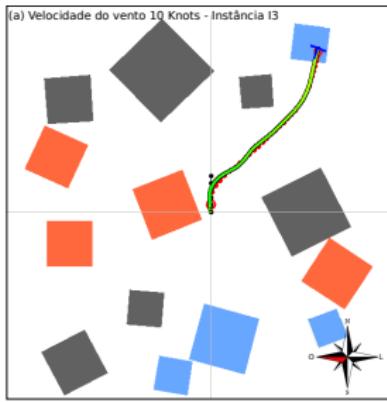
Experimentos: Resultados Obtidos para HG e AGMP1 e AGMP2

Ψ	Instâncias	HG			AGMP1			AGMP2		
		P Φ^b	P ϕ_r	Infact.	P Φ^b	P Φ^r	Infact.	P Φ^b	P Φ^r	Infact.
Ψ^m	I1	79	21	0	81	19	0	90	10	0
	I2	92	6	2	92	7	1	96	3	1
	I3	58	39	3	60	39	1	71	28	1
	I4	86	12	2	84	16	0	96	4	0
	I5	30	52	18	36	64	0	40	60	0
	I6	62	28	10	60	33	7	82	15	3
Média		67,83	26,33	5,83	68,83	29,67	1,50	79,17	20,00	0,83
Ψ^b	I1	99	0	1	100	0	0	100	0	0
	I2	97	0	3	99	0	1	99	0	1
	I3	93	3	4	94	5	1	99	0	1
	I4	98	0	2	99	0	1	100	0	0
	I5	67	5	28	73	27	0	94	6	0
	I6	83	0	17	68	17	15	95	2	3
Média		89,50	1,33	9,17	88,83	8,17	3,00	97,83	1,33	0,83
Ψ^{s1}	I1	81	8	11	90	8	2	91	7	2
	I2	88	0	12	89	0	11	93	0	7
	I3	68	16	16	76	18	6	86	8	6
	I4	82	1	17	84	3	13	89	0	11
	I5	41	23	36	49	46	5	67	28	5
	I6	56	0	44	46	23	31	78	4	18
Média		69,33	8,00	22,67	72,33	16,33	11,33	84,00	7,83	8,17
Ψ^{s2}	I1	90	4	6	94	4	2	99	0	1
	I2	90	0	10	95	1	4	95	1	4
	I3	70	20	10	79	16	5	92	5	3
	I4	87	1	12	83	8	9	94	0	6
	I5	40	17	43	62	35	3	74	24	2
	I6	61	3	36	57	13	30	76	4	20
Média		73,00	7,50	19,50	78,33	12,83	8,83	88,33	5,67	6,00
Média Final		74,92	10,79	14,29	77,08	16,75	6,17	87,33	8,71	3,96

Resultados

Experimentos: Simulação no FlightGear usando o AGMP

LCR



Resultados

Experimentos: Modelo PLIM2

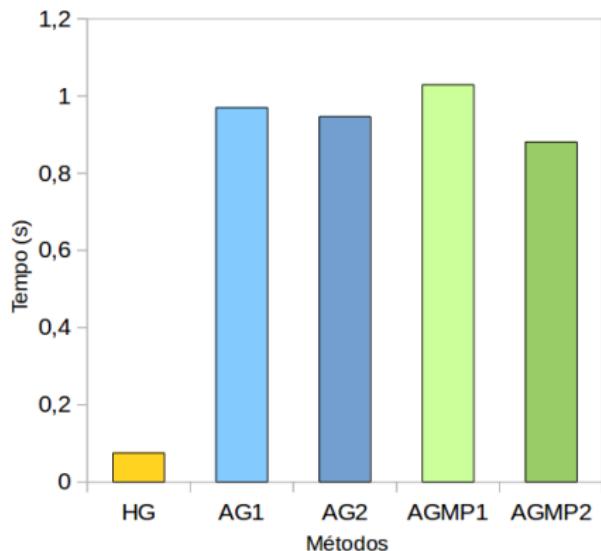
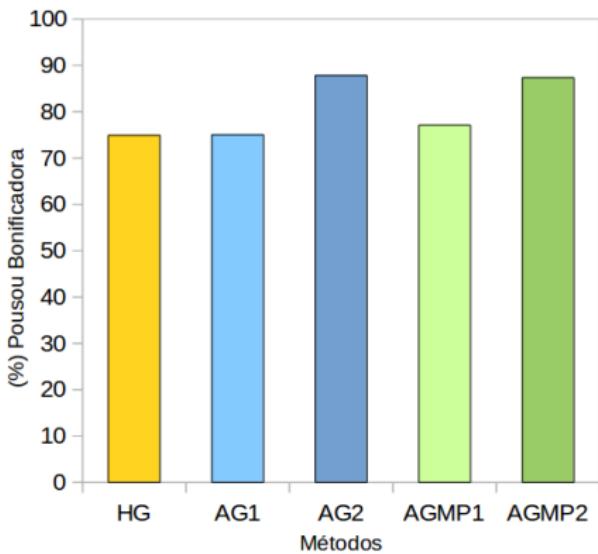
LCR

Ψ	Instância	Ótima	Factível	Infactível	Desc.	\mathcal{W}	Tempo	Pousou Φ^b	Pousou Φ^r
Ψ^m	I1	99	1	0	0	-69,55	63,06	44	56
	I2	93	4	3	0	-31,16	263,08	41	56
	I3	98	0	2	0	306,09	35,69	25	73
	I4	88	1	11	0	91,84	185,74	32	57
	I5	98	2	0	0	615,19	105,88	10	90
	I6	73	3	23	1	529,46	220,60	11	65
	Média	91,50	1,83	6,50	0,17	231,35	141,57	27,17	66,17
Ψ^b	I1	100	0	0	0	-1309,41	9,32	100	0
	I2	100	0	0	0	-1240,47	48,99	95	5
	I3	100	0	0	0	-1038,44	12,02	89	11
	I4	100	0	0	0	-1115,36	56,13	90	10
	I5	100	0	0	0	-412,34	7,98	59	41
	I6	98	1	1	0	-396,07	60,61	51	48
	Média	99,67	0,17	0,17	0,00	-918,68	32,51	80,67	19,17
Ψ^{s1}	I1	93	7	0	0	-1059,11	446,75	90	10
	I2	93	6	1	0	-1036,45	402,33	84	15
	I3	97	2	1	0	-661,40	201,98	71	28
	I4	86	12	1	1	-770,88	645,32	73	25
	I5	96	3	1	0	-87,68	229,79	39	60
	I6	88	9	3	0	-170,53	486,76	39	58
	Média	92,17	6,50	1,17	0,17	-632,72	402,37	66,00	32,67
Ψ^{s2}	I1	90	9	1	0	-1015,80	426,70	86	13
	I2	88	11	1	0	-1013,14	523,16	83	16
	I3	92	7	0	1	-712,05	460,62	73	26
	I4	86	13	1	0	-872,56	591,68	78	21
	I5	91	7	1	1	-187,27	369,07	43	55
	I6	90	5	3	2	-249,02	291,18	41	54
	Média	89,50	8,67	1,17	0,67	-679,06	444,81	67,33	30,83
	Média Final	93,21	4,29	2,25	0,25	-499,78	255,31	60,29	37,21

Resultados

Comparação dos Métodos

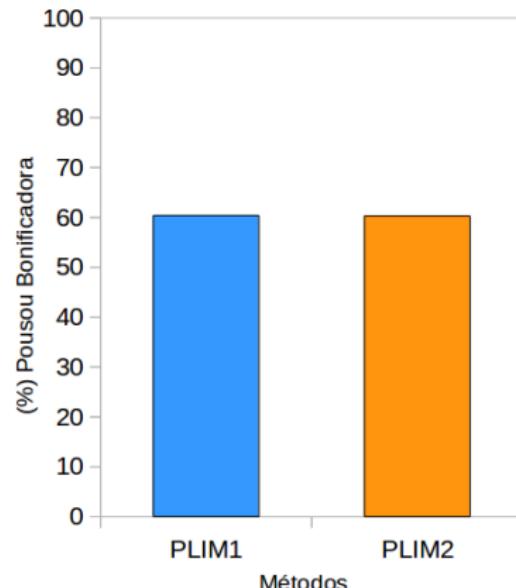
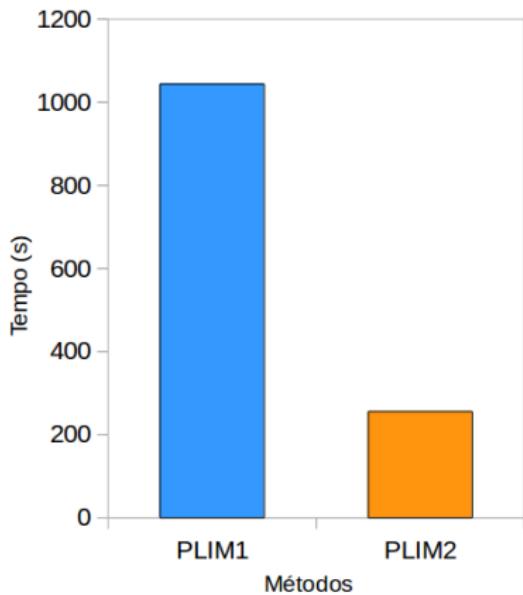
LCR



Resultados

Comparação dos Métodos

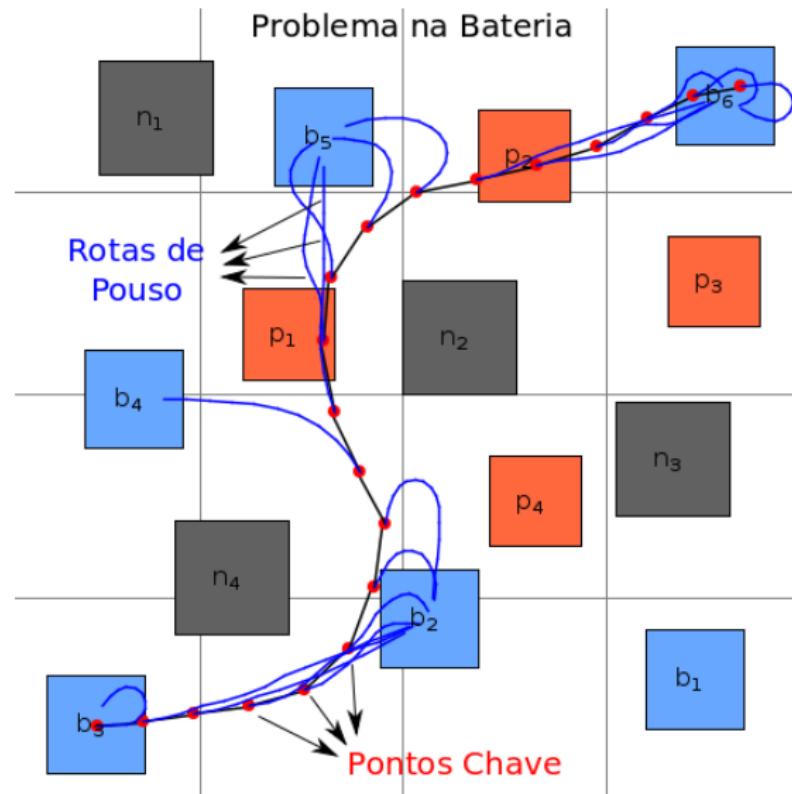
LCR



Resultados

Rotas Pré-Calculadas

LCR



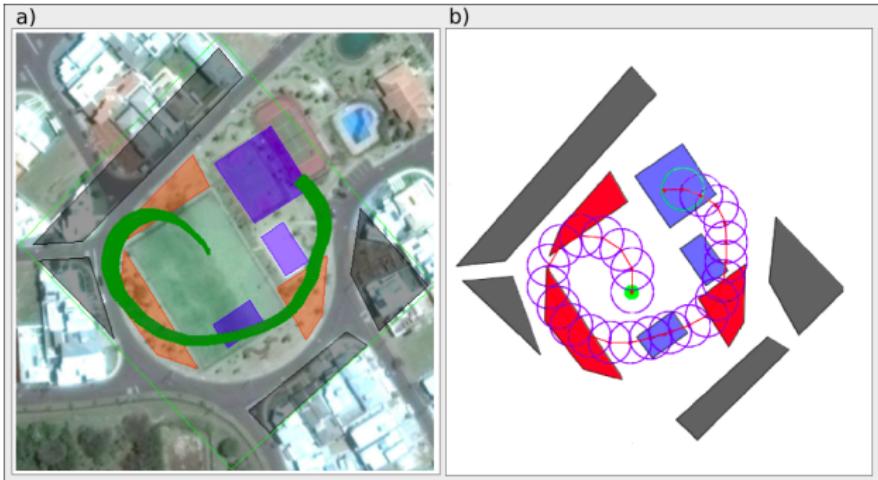
Resultados

Experimento usando um Hexacóptero

LCR



Hexacóptero usado

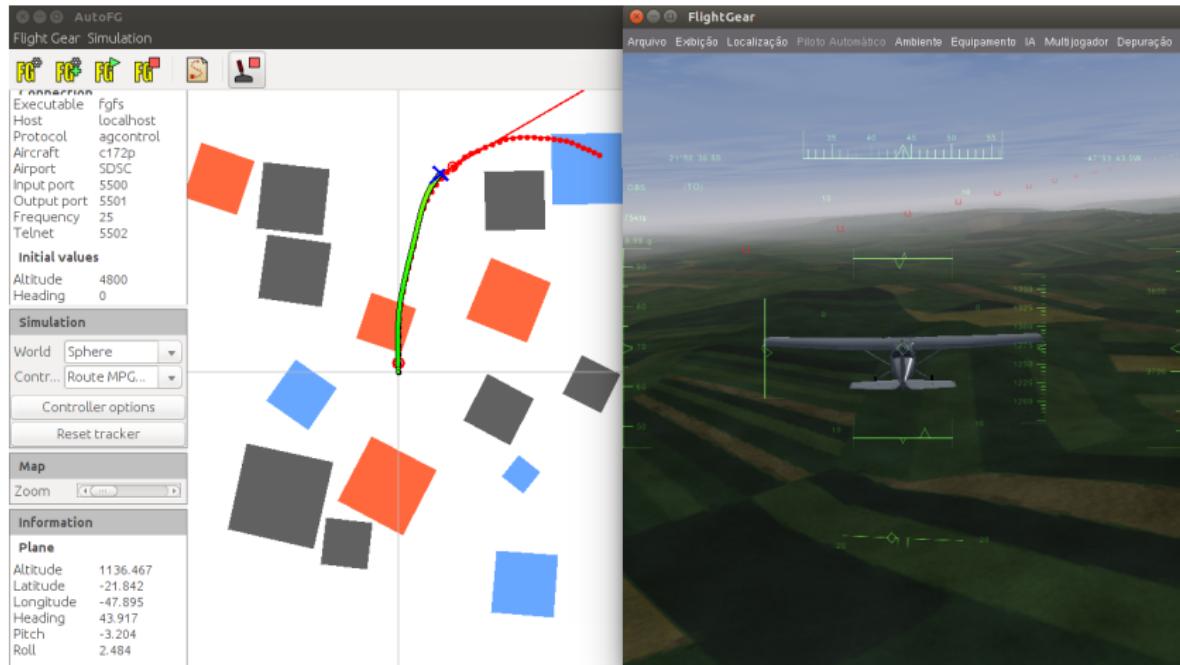


Experimento com voo real

Resultados

Vídeo da Simulação no FlightGear

LCR



Considerações Finais

Conclusões

LCR

- Resultados promissores foram encontrados pela HG, AG e AGMP;
- A HG retorna soluções em aproximadamente 0,07 segundo;
- O AG e AGMP obtiveram melhores resultados do que a HG;
- O AG e AGMP gastaram na ordem de 1 segundo de processamento;
- Os AGs e AGMPs com inicialização gulosa são melhores;
- Soluções equivalentes foram obtidas pelas estratégias evolutivas.

Considerações Finais

Conclusões

LCR

- O PLIM1 gasta aproximadamente 17 minutos de processamento;
- O PLIM2 gasta aproximadamente 4 minutos de processamento;
- Sendo assim, a estratégia PLIM2 se mostrou bem mais promissora;
- Desvantagem do PLIM é o tempo (não aplicado em um VANT real);
- Estratégia efetuar o planejamento antes (rotas pré-calculadas);
- Nos experimentos usando FlightGear as trajetórias foram seguidas por uma aeronave de grande porte;
- A aeronave conseguiu seguir a rota dentro da margem de segurança especificada para diferentes condições de vento.

Considerações Finais

Trabalhos Futuros

LCR

- Avançar em experimentos usando *Hardware-In-the-Loop* (HIL);
- Avançar em experimentos evolvendo aeronaves reais;
- Embarcar o sistema IFA e MOSA em um VANT real;
- Implementar os métodos HG, AG, AGMP para o modelo completo.

Considerações Finais

Artigos Produzidos

LCR

- **A Multi-Population Genetic Algorithm for UAV Path Re-Planning under Critical Situation:** Publicado no *ICTAI - International Conference on Tools with Artificial Intelligence* em 2015. Qualis A2;
- **A Hybrid Multi-Population Genetic Algorithm for UAV Path Planning:** Submetido no *GECCO - Genetic and Evolutionary Computation Conference* em 2016. Qualis A1;
- **A Mathematical Formulation for UAV Path Re-Planning under Critical Situation:** A ser submetido em periódico internacional em 2016.

-  BLACKMORE, L.; ONO, M.; WILLIAMS, B. C. Chance-Constrained Optimal Path Planning With Obstacles, **IEEE Press**, v. 27, p. 1080-1094, 2011. ISBN 1552-3098.
-  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.
-  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.
-  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**

-  MATTEI, A. L. P. **Consciência Situacional em Voo de Sistemas
Aéreos não Tripulados**. 2014. p. 123. Qualificação de Doutorado.
Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 2014.
-  MEULEAU, N.; PLAUNT, C.; SMITH, D. E.; SMITH, T. An
Emergency Landing Planner for Damaged Aircraft, **Proceedings of
the Twenty-First Innovative Applications of Artificial
Intelligence Conference**, 2009.
-  MEULEAU, N.; NEUKOM, C.; PLAUNT, C.; SMITH, D. E.; SMITH,
T. The Emergency Landing Planner Experiment, **21st International
Conference on Automated Planning and Scheduling**, 2011.
-  ONO, M.; WILLIAMS, B. C.; BLACKMORE, L. Probabilistic Planning
for Continuous Dynamic Systems underBounded Risk, **Journal of
Artificial Intelligence Research**, v. 46, p. 511-577, 2013.

Obrigado a Todos!!! Perguntas!!!

[Contato: jesimar.arantes@gmail.com]

