

Algoritmos Genéticos Aplicados em Planejamento de Rota para VANTs e Robótica Evolutiva

Jesimar da Silva Arantes

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

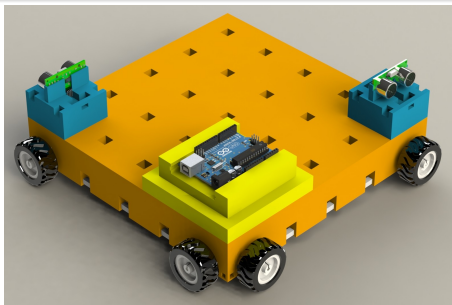
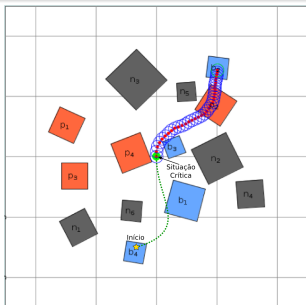


Maio – 2015

- 1 **Introdução**
 - Contextualização
- 2 **Algoritmos Evolutivos**
- 3 **Aplicação em Planejamento de Rotas**
 - Objetivos
 - Problema Abordado
 - Metodologia
 - Resultados
- 4 **Aplicação em Robótica Evolutiva**
 - Objetivos
 - Metodologia
 - Resultados
- 5 **Considerações Finais**

Áreas de Aplicação

- Aplicação 1: Planejamento de Rota para VANT
- Aplicação 2: Robótica Evolutiva



Definição do Problema

Desenvolver um planejador de rotas para VANTs que leve a aeronave até um local considerado seguro em caso de situação crítica durante o voo.



Introdução

Contextualização: Aplicação Planejamento de Rota

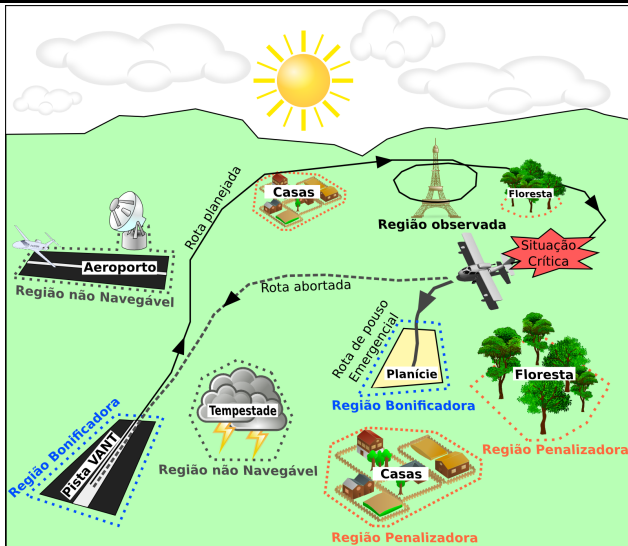


Figure 1: Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

Ideia Básica

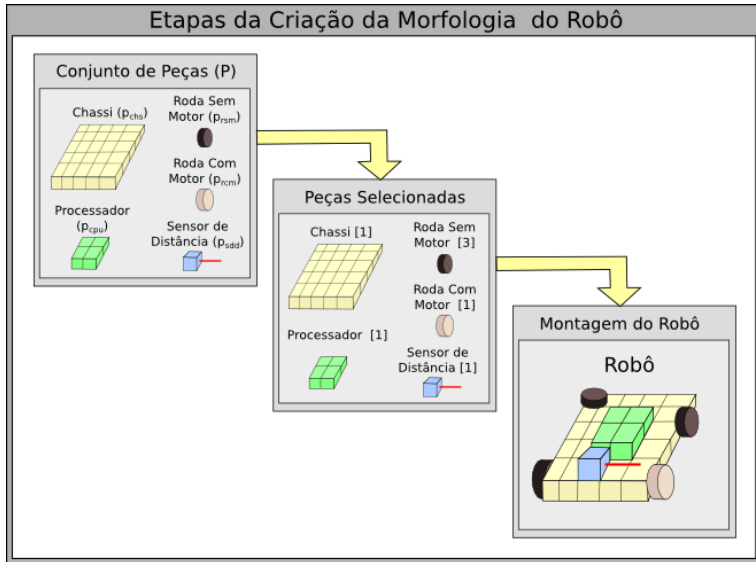
- Esta aplicação mostra o desenvolvimento um sistema para Robótica Evolutiva (RE) para a evolução da morfologia de robôs
- Nesse sistema as peças do robô foram modeladas com base em algumas peças para construção de robôs
- Os controles do robô (comportamentos) foram definidas de forma genérica baseadas na arquitetura de subsunção
- A evolução dos robôs se dará a partir de regras definidas em Algoritmos Genéticos (AG) a partir de uma função de avaliação

Introdução

Contextualização: Aplicação Robótica Evolutiva

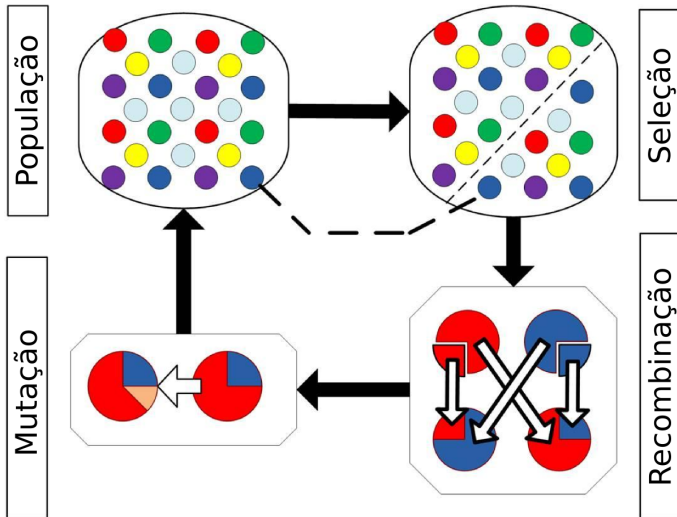
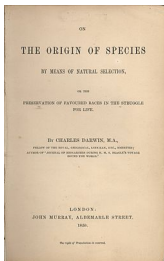
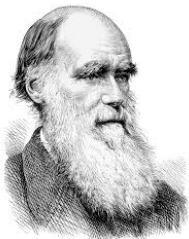


Etapas da Criação da Morfologia do Robô



Algoritmos Evolutivos

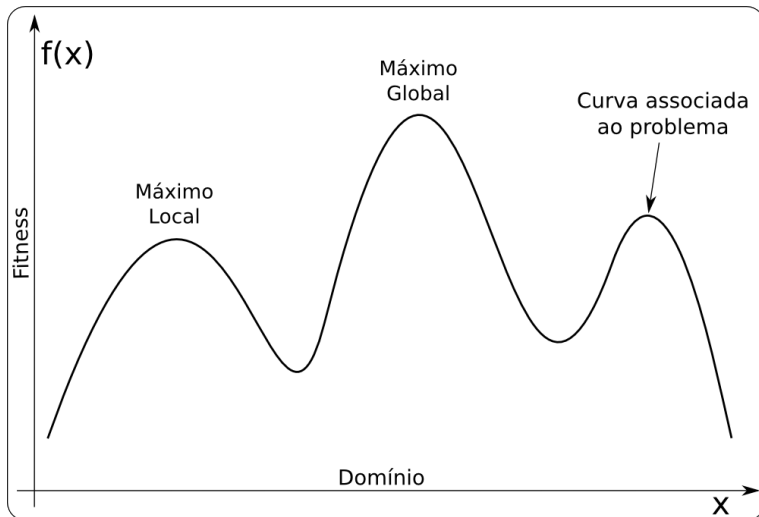
Algoritmos Genéticos

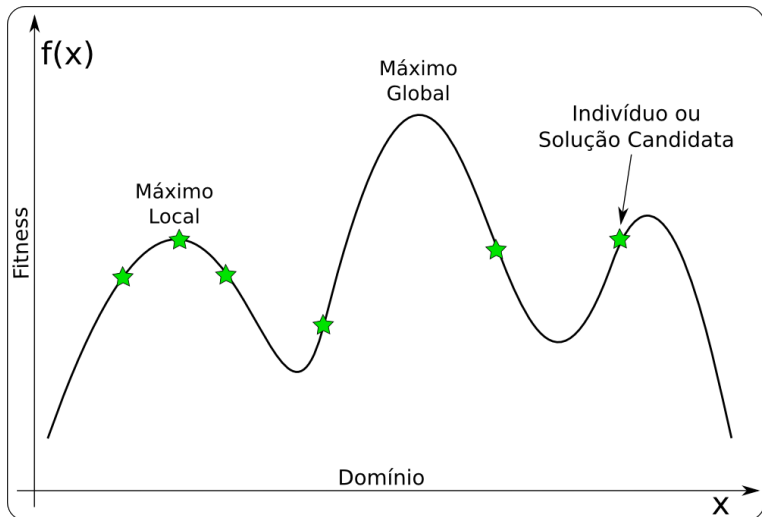


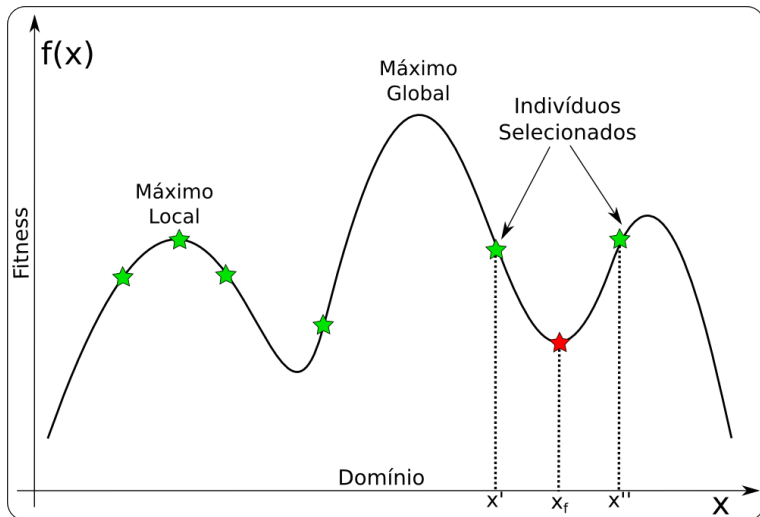
Algoritmos Evolutivos

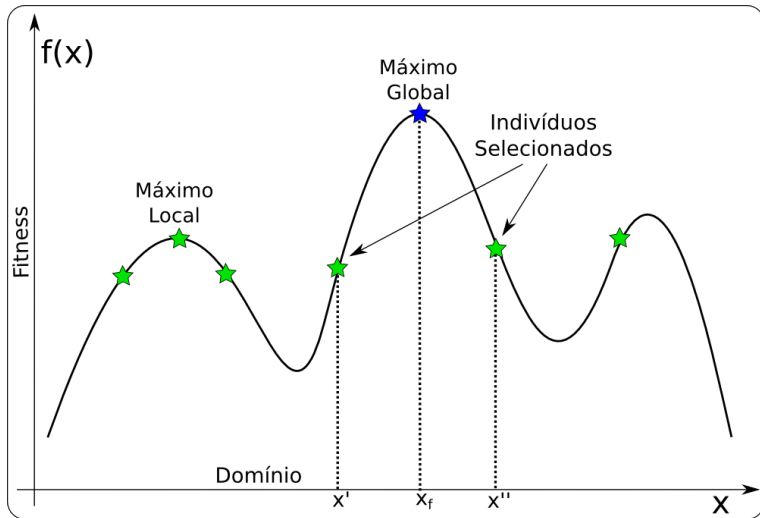
Algoritmos Genéticos

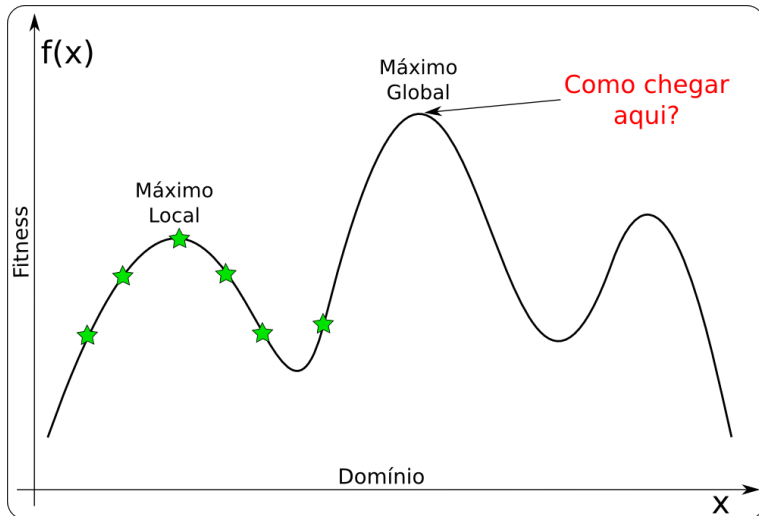


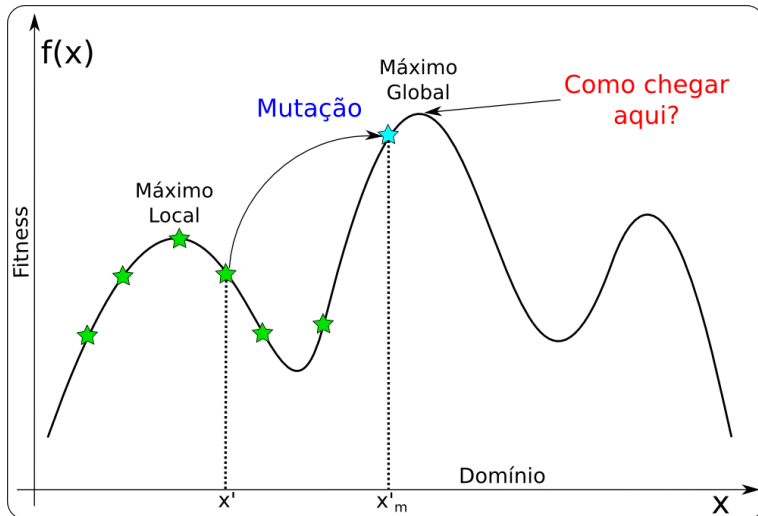










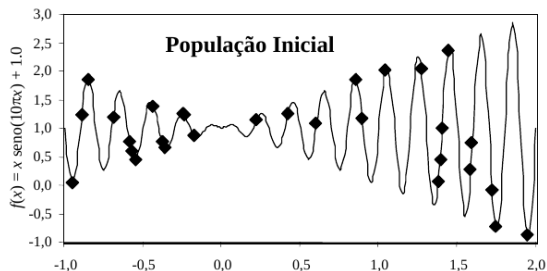
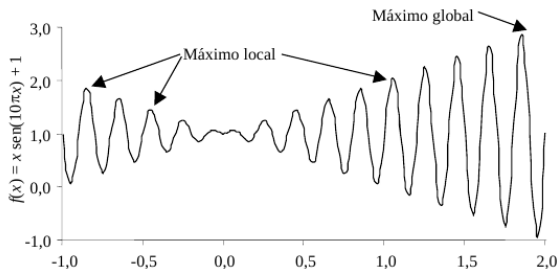


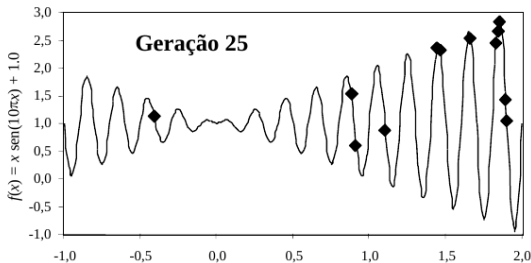
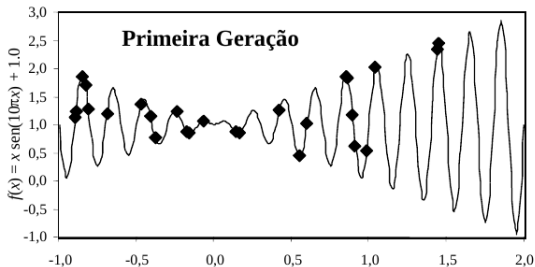
Algoritmos Evolutivos

Algoritmos Genéticos

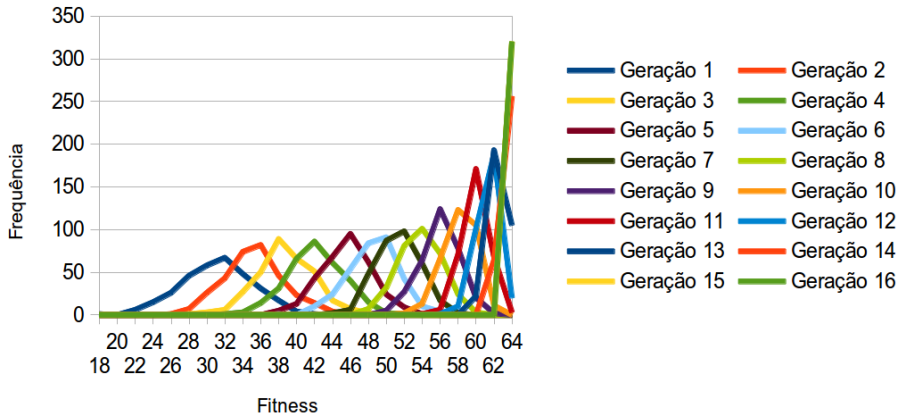


Maximizar: $f(x) = x \cdot \text{seno}(10\pi x) + 1,0$ restrita a $-1,0 \leq x \leq 2,0$

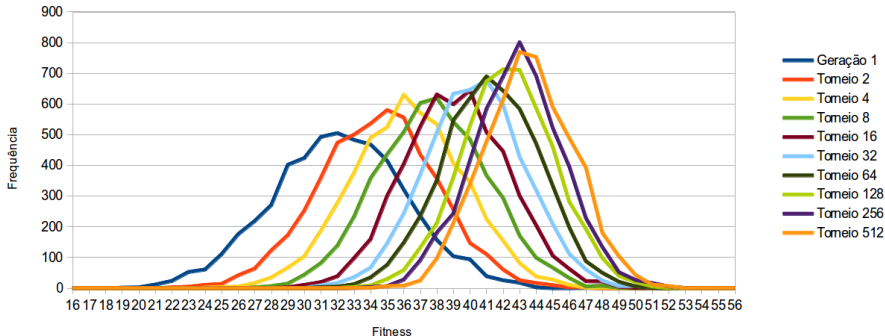




Distribuição dos Indivíduos em Função das Gerações



Melhoria do Fitness em Função do Tamanho do Torneio



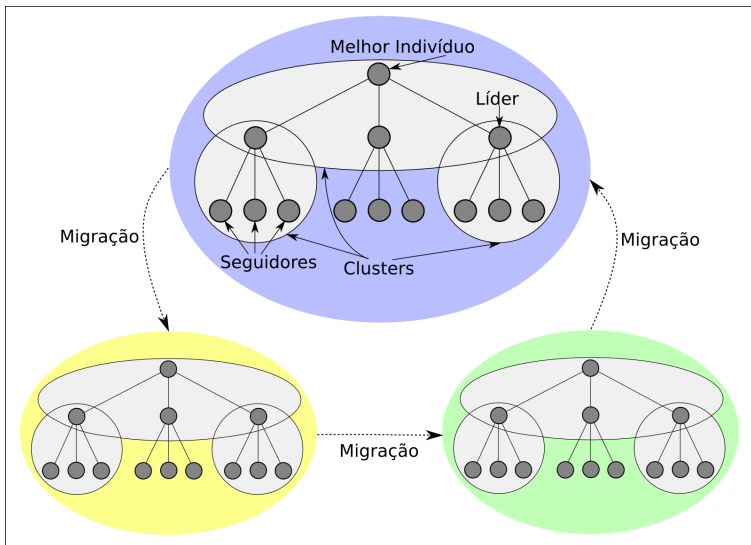


Figure 2: Estrutura hierárquica em árvore dos indivíduos.

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 que trate panes

Problema Abordado

Contextualização do Problema

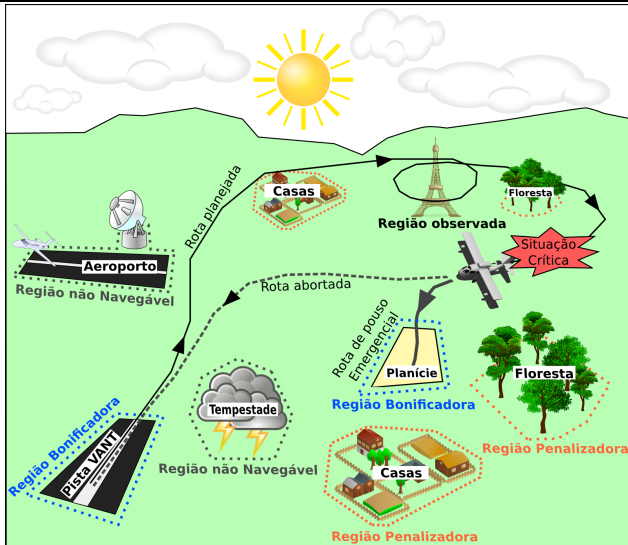


Figure 3: Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

Problema Abordado

Estratégia de Construção de Mapas

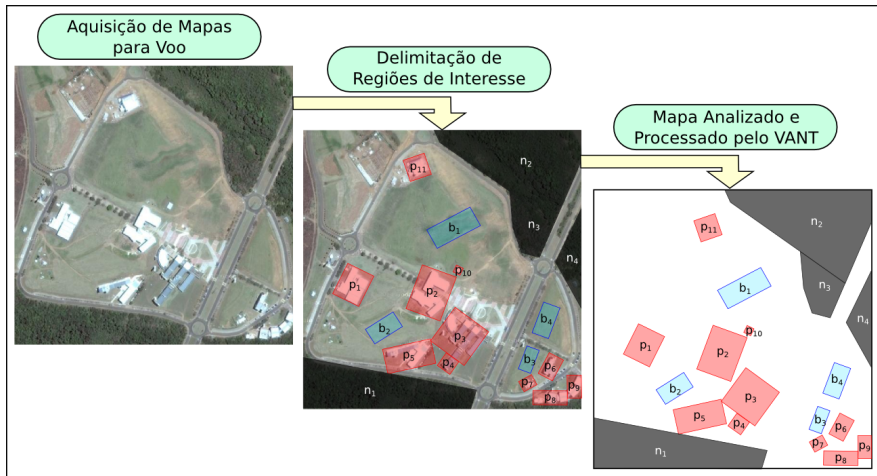
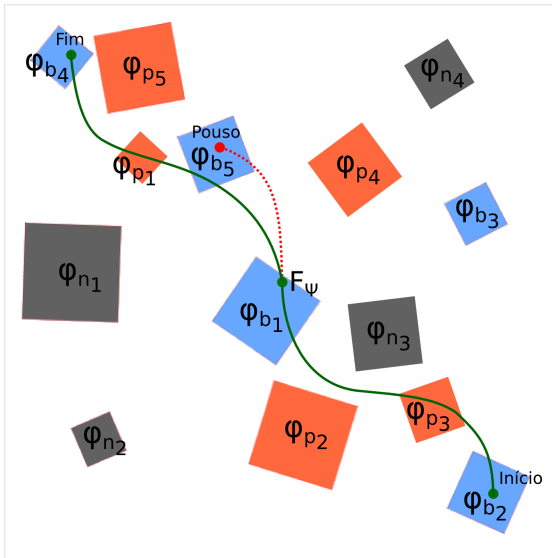


Figure 4: Estratégia de construção de mapas.

Problema Abordado

Tipos de Regiões Modeladas e Falha Crítica

- 1 Região Não Navegável (ϕ_n)
- 2 Região Penalizadora (ϕ_p)
- 3 Região Bonificadora (ϕ_b)
- 4 Região Restante (ϕ_r)



- 1 Problema no Motor (m)
- 2 Problema na Bateria (b)
- 3 Problema nas Superfícies Aerodinâmicas 1 (s^1)
- 4 Problema nas Superfícies Aerodinâmicas 2 (s^2)
- 5 Nenhum Problema (\emptyset)

Parâmetros:

- $\Phi_j = \{Z_{\Phi_j}^1, Z_{\Phi_j}^2, \dots, Z_{\Phi_j}^{|\Phi_j|}\}$: Conjunto de regiões com $j \in \{n, p, b, r\}$
- $Z_{\Phi_j}^i$: i -ésima região do conjunto Φ_j
- C_{Φ_j} : Custo de pousar no conjunto Φ_j
- T : Número de passos de tempo para pousar o VANT
- Δ : Probabilidade do VANT violar uma região no conjunto Φ_n
- F_{Ψ} : Função de transição de estados Ψ_k com $k \in \{m, b, s^1, s^2, \emptyset\}$
- ω_t : Perturbação independente do estado, no instante t

Variáveis de Decisão:

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

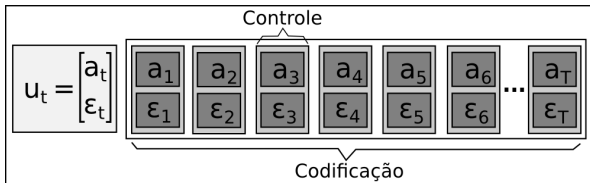
$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^{|\phi_p|} (C_{\phi_p} \cdot P(x_T \in Z_{\phi_p}^i)) - \sum_{i=1}^{|\phi_b|} (C_{\phi_b} \cdot P(x_T \in Z_{\phi_b}^i)) \quad (1)$$

sujeito a:

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

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

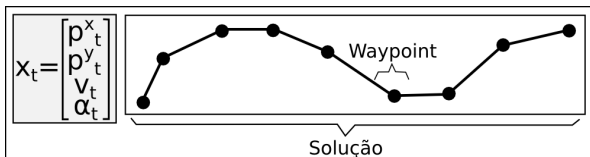
- Codificação u_t :



- Decodificação F_Ψ :

$$\bar{x}_{t+1} = F_\Psi(\bar{x}_t, \bar{u}_t) \Leftrightarrow \begin{bmatrix} p_{t+1}^x \\ p_{t+1}^y \\ v_{t+1} \\ \alpha_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_t^x + v_t \cdot \cos(\alpha_t) \cdot \Delta T + a_t \cdot \cos(\alpha_t) \cdot (\Delta T)^2/2 \\ p_t^y + v_t \cdot \sin(\alpha_t) \cdot \Delta T + a_t \cdot \sin(\alpha_t) \cdot (\Delta T)^2/2 \\ v_t + a_t \cdot \Delta T - \frac{F_t^d}{m} \cdot \Delta T \\ \alpha_t + \epsilon_t \cdot \Delta T \end{bmatrix}$$

- Solução x_t :



- Função Objetivo:

$$\text{fitness} = f_{\text{Pouso}_{\phi_b}} + f_{\text{Pouso}_{\phi_p}} + f_{\text{PousoEVoo}_{\phi_n}} + f_{\text{Curvas}} + f_{\text{DistVANT}_{\phi_b}} + f_{\text{Violou}_T} + f_{\psi_b} \quad (4)$$

- Inicialização:
 - ① Aleatória, Curva Curta, Aceleração Curta e Gulosa
- Crossover:
 - ① Média, Aritmético, Geométrico, OX e BLX- α
- Mutação:
 - ① Uniforme, Limite e Creep

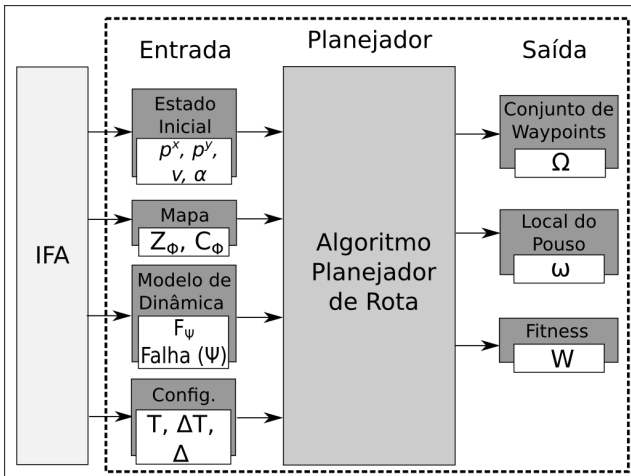


Figure 5: Arquitetura do planejador proposto.

Resultados

Geração Automática de Mapas

- Nível de Dificuldade

- ① \mathcal{M}_F

- ② \mathcal{M}_N

- ③ \mathcal{M}_D

- Área de Cobertura

- ① $\mathcal{M}^{25\%}$

- ② $\mathcal{M}^{50\%}$

- Legenda dos Mapas

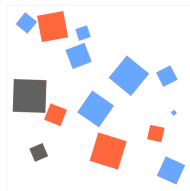
- ① $a, c, e = \mathcal{M}^{25\%}$

- ② $b, d, f = \mathcal{M}^{50\%}$

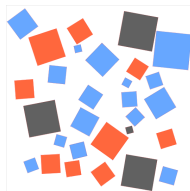
- ③ $a, b = \mathcal{M}_F$

- ④ $c, d = \mathcal{M}_N$

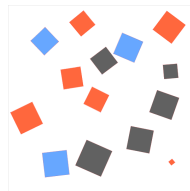
- ⑤ $e, f = \mathcal{M}_D$



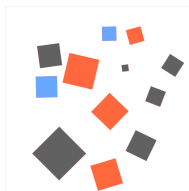
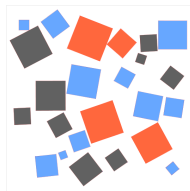
(a)



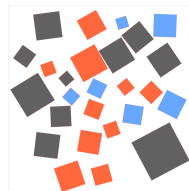
(b)



(c)



(e)



(f)

■ Zona Não Navegável

■ Zona Penalizadora

□ Zona Restante

■ Zona Bonificadora

Resultados

Experimentos: Configurações Usadas



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
Pesos das Regiões	C_{ϕ_b}	2000
	C_{ϕ_p}	8000
	C_{ϕ_n}	100000
	C_{ϕ_r}	0

Resultados

Experimentos: Exemplos de Situações Críticas

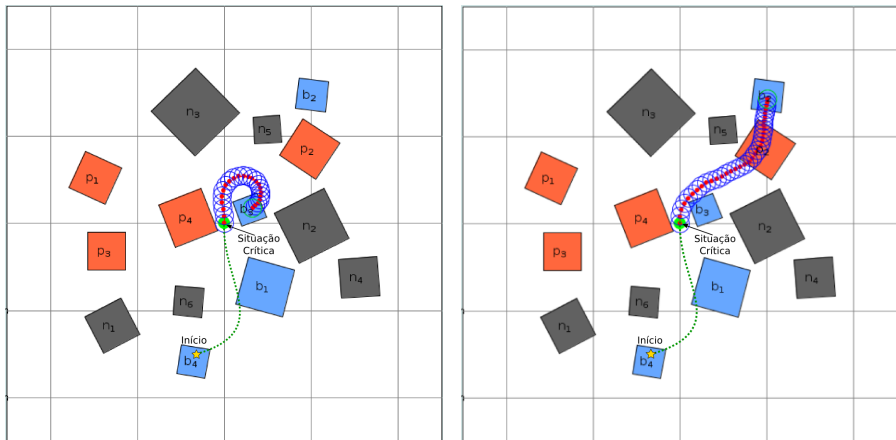


Figure 6: Exemplo de rotas para as situações críticas: a) ψ_m (79.17%). b) ψ_b (97.83%).

Resultados

Experimentos: Exemplos de Situações Críticas

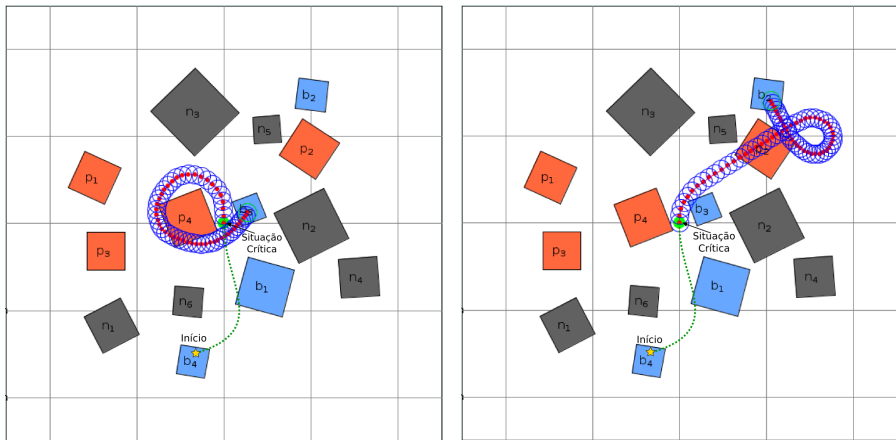


Figure 7: Exemplo de rotas para as situações críticas: a) ψ_{s_1} (84.00%). b) ψ_{s_2} (88.33%).

Resultados

Rotas Geradas pelo AGMP

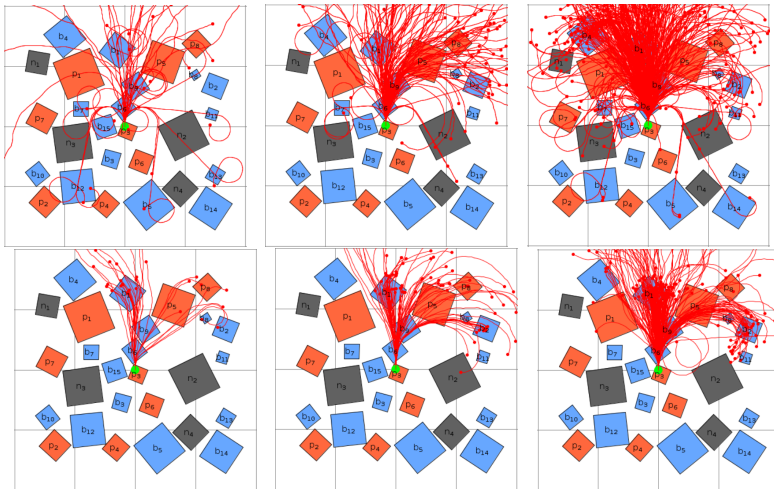


Figure 8: Todas as soluções geradas na 1^o, 3^o e 10^o primeiras gerações. Todas as soluções geradas pela 1^o, 3^o e 10^o últimas gerações. Total de 10000 avaliações.

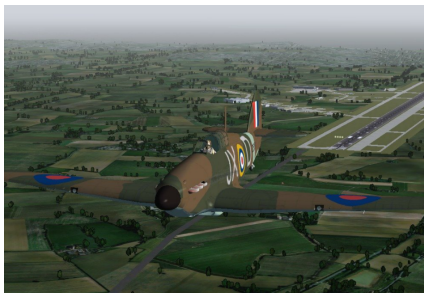
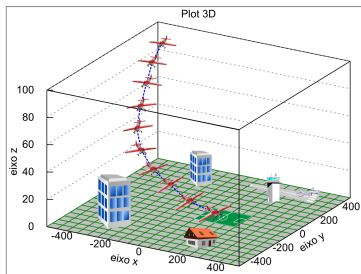


Figure 9: Próximas etapas: a) Modelagem 3D. b) Simulador de voo FlightGear.

Objetivo Geral

Construir um módulo de robótica evolutiva que utilizará AG para evoluir a morfologia e controle de robôs em um ambiente virtual

Objetivo Específicos

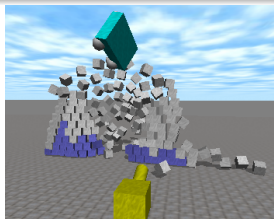
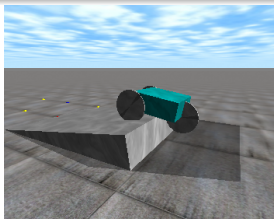
- 1 Construir um módulo de evolução de robôs
- 2 Modelar as peças do robô
- 3 Definição da função objetivo
- 4 Desenvolvimento do algoritmo genético

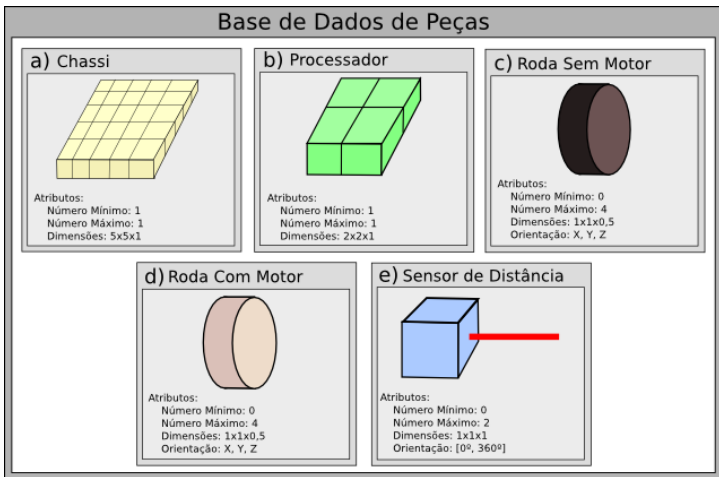
Plataforma de Robótica

- O módulo de robótica implementado funciona como uma extensão da plataforma *GrubiBots*

Biblioteca de Física

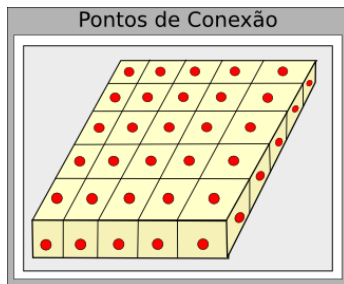
- A construção do módulo vai utilizar a biblioteca ODE
- ODE - *Open Dynamics Engine*
- Esta biblioteca é um motor de física *Open Source*
- A *ode4j* é a implementação da ODE para Java



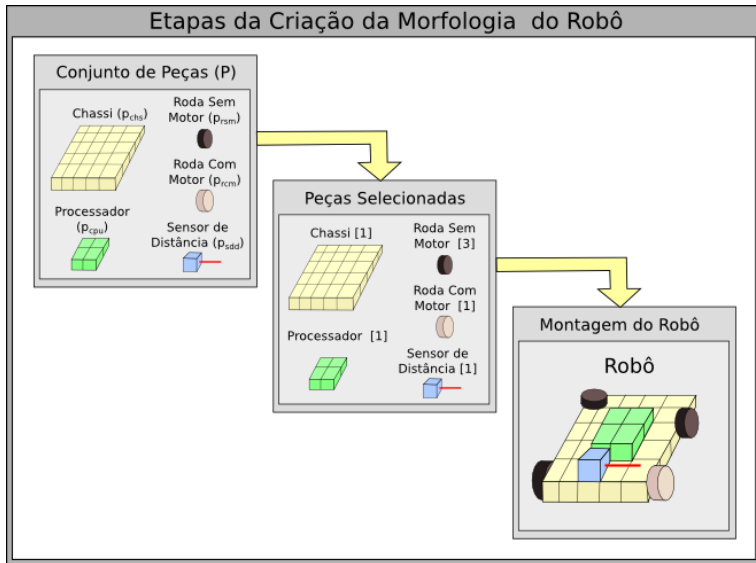


Visão Geral

- 1 Definir no simulador o local dos pontos de acoplamento de peças
- 2 O *Chassi* é constituído de um conjunto de células
- 3 Em cada célula foi colocação um ponto de junção



Etapas da Criação da Morfologia do Robô



Operadores de Crossover

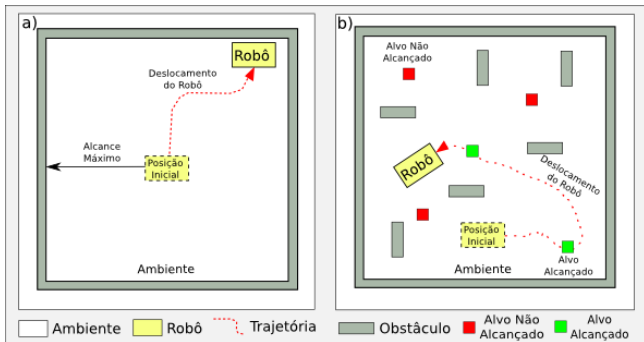
- 1 *Crossover* de Processador
- 2 *Crossover* de Roda Sem Motor
- 3 *Crossover* de Roda Com Motor
- 4 *Crossover* de Sensor de Distância

Operadores de Mutação

- 1 Adicionar Peça
- 2 Remover Peça
- 3 Trocar Peças

Cenários Simulados

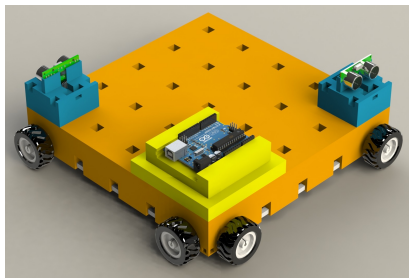
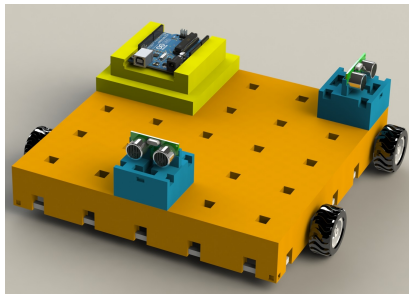
- 1 *Problema₁*: Problema da locomoção do robô no ambiente livre de obstáculos
- 2 *Problema₂*: Problema de locomoção do robô no ambiente com obstáculos e alvos



Problema	Parâmetro	Valor
Ambos	Tamanho da População	100
Ambos	Número de Gerações	50
Ambos	Tamanho do Torneio	3
Ambos	Elitismo	Sim
<i>Problema₁</i>	Número de <i>Steps</i> (Tempo)	600
<i>Problema₂</i>	Número de <i>Steps</i> (Tempo)	6000
<i>Problema₁</i>	Taxa <i>Crossover</i>	75%
<i>Problema₁</i>	Taxa de Mutação	85%
<i>Problema₂</i>	Taxa <i>Crossover</i>	75%
<i>Problema₂</i>	Taxa de Mutação	85%

Trabalhos Futuros

Construção do Robô Gerado



- Este trabalho apresentou o problema de pouso de VANTs em caso de situação crítica;
- Um algoritmo planejador de rotas baseado em AG foi desenvolvido;
- Modelagem da dinâmica do VANT com situações críticas feita;
- Resultados promissores foram encontrados pelo AG e AGMP;
- Pôster foi aceito para publicação no GECCO 2015 sobre esse trabalho.

- Este trabalho desenvolveu um módulo de robótica evolutiva;
- Este módulo é capaz de evoluir a morfologia de um robô;
- Com base num conjunto de peças, cenário e função objetivo;
- Pôster publicado e apresentado na MNR 2014;
- Artigo submetido para uma revista de robótica em 2015.



LUREG. Lan-

caster University Renewable Energy Group. LUREG. Disponível em:
<http://www.engineering.lancs.ac.uk/lureg/group_research/wave_energy>
Acesso em: 27 mar. 2015.



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.








DRONEWARS. **Drone Crash Database - Drone Wars UK.**

Dronewars. Disponível em:
<<http://dronewars.net/drone-crash-database/>>. Acesso em: 25 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 Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS)**, Munich, 2013.

-  LI, H. X. **Kongming: A Generative Planner for Hybrid Systems with Temporally Extended Goals**. 2010, PhD thesis - Massachusetts Institute of Technology, 2010. 237 p.
-  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 under Bounded Risk, **Journal of Artificial Intelligence Research**, v. 46, p. 511-577, 2013.

Obrigado a Todos!!! Perguntas?

[Contato: jesimar.arantes@gmail.com]

