

# 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

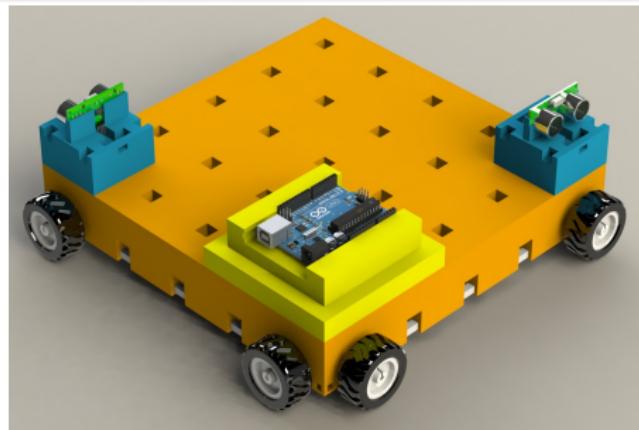
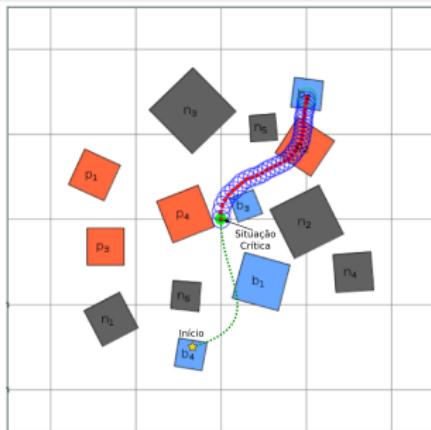
## 4 Aplicação em Robótica Evolutiva

- 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

LCR

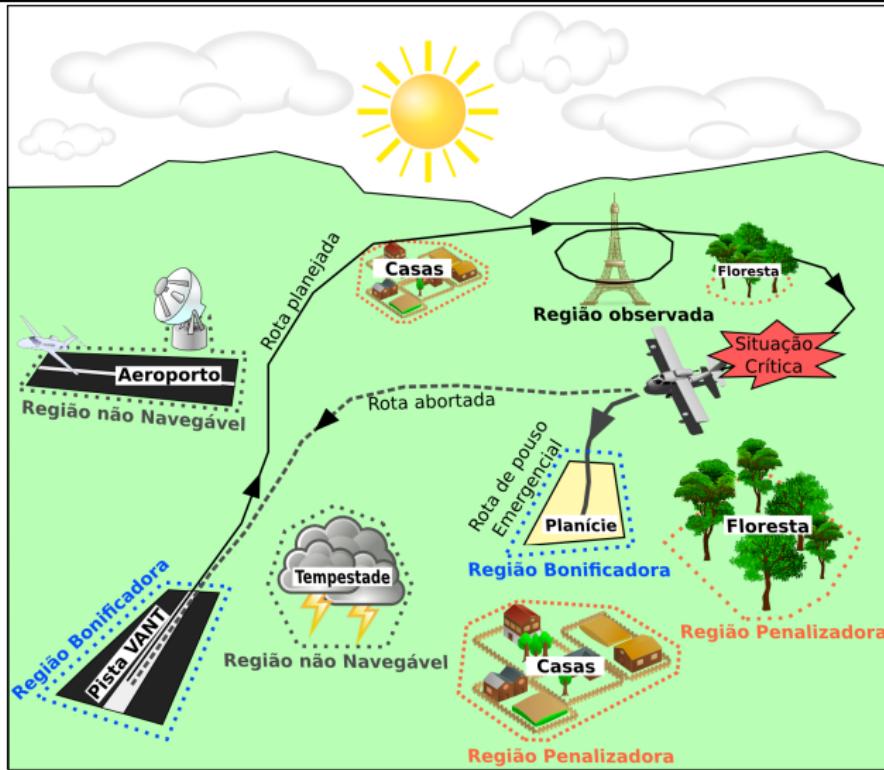


Figure 1: Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

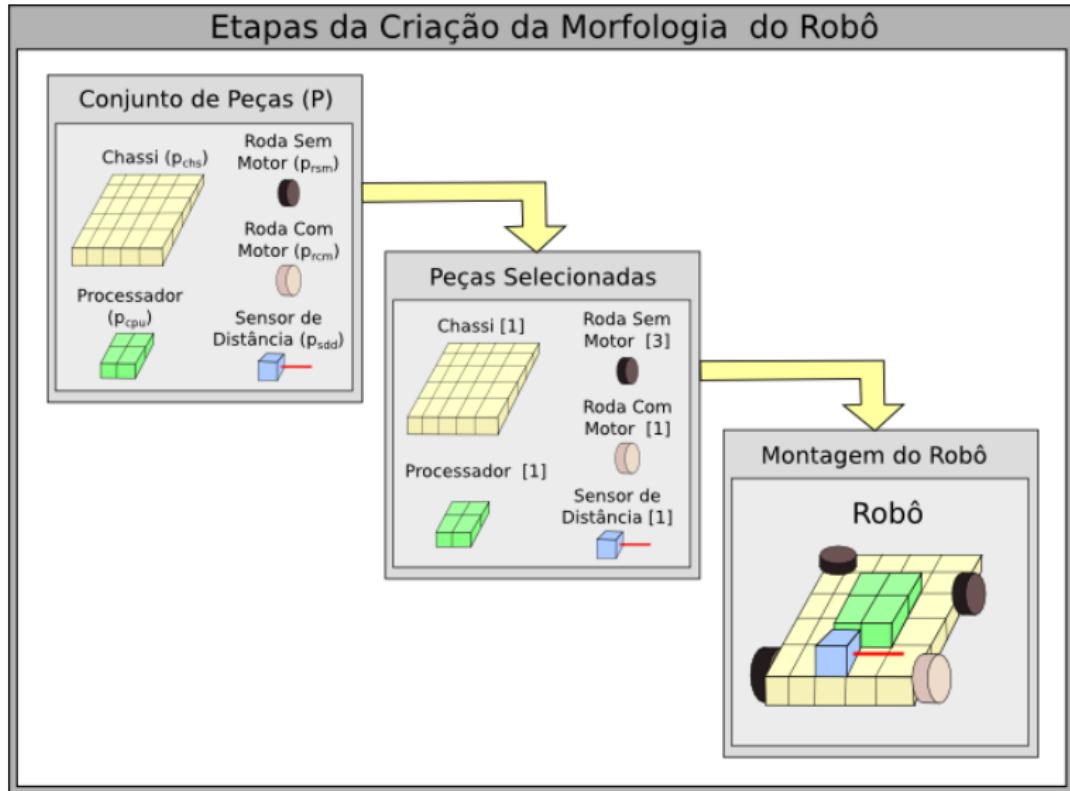
### Ideia Básica

- 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

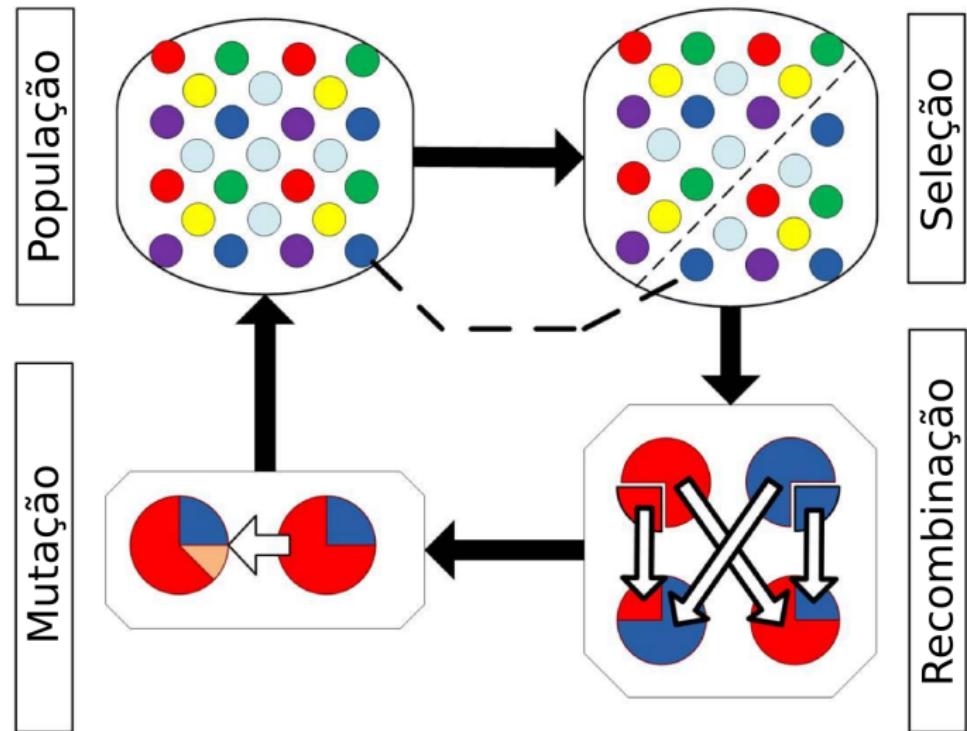
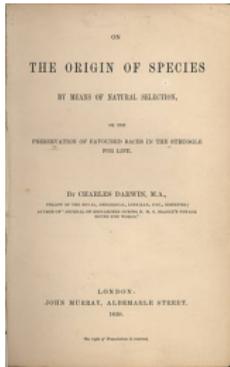
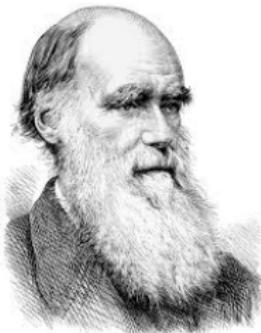
LCR



# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

LCR



# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

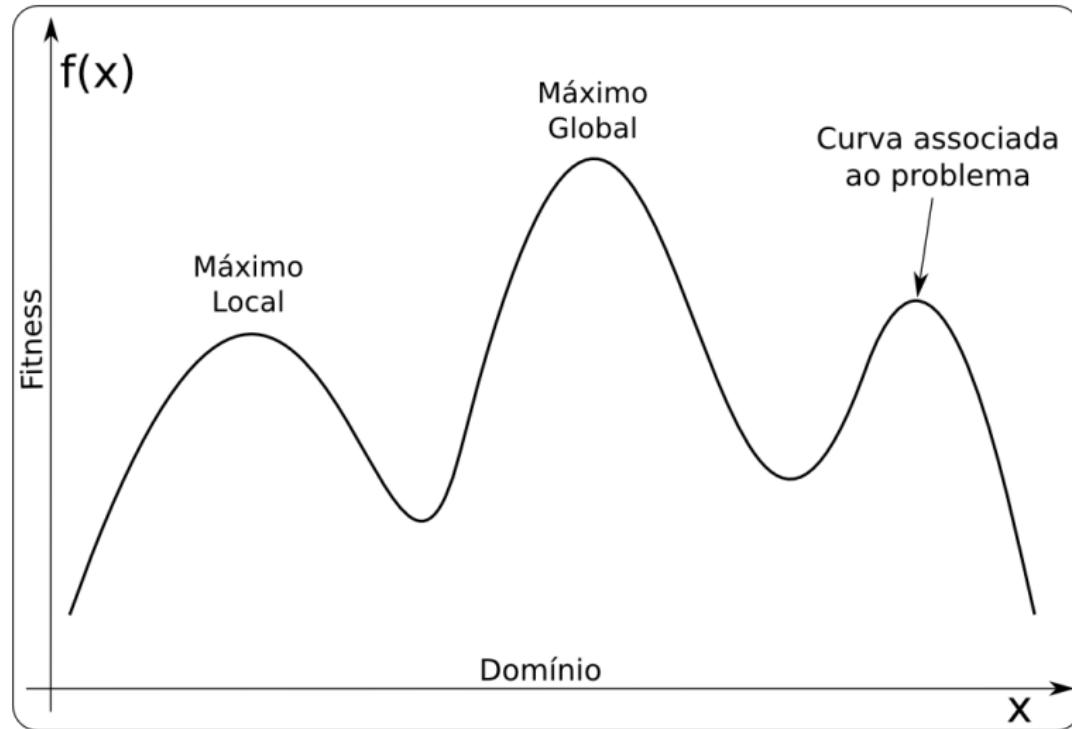
LCR



# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

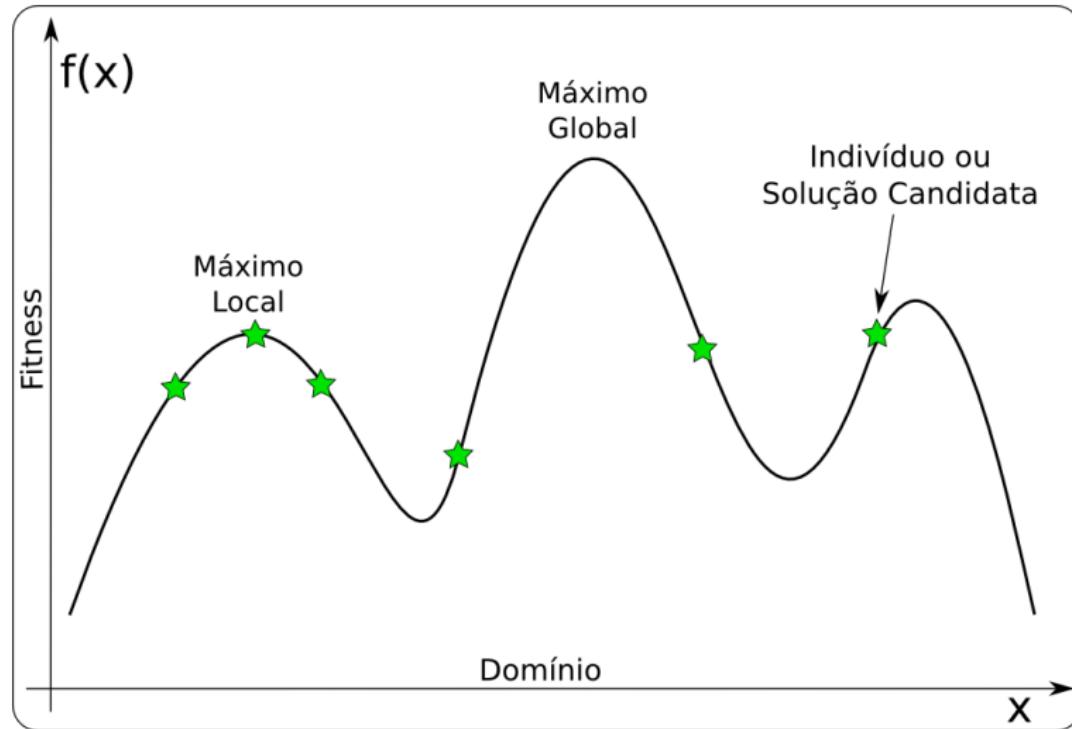
LCR



# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

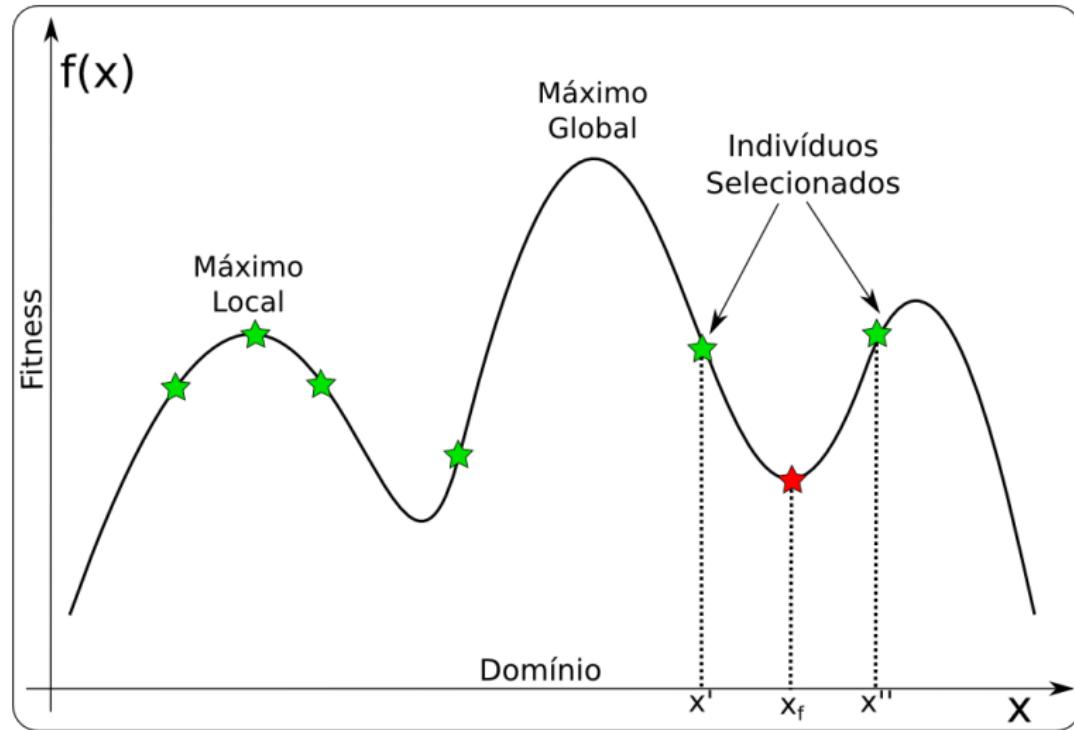
LCR



# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

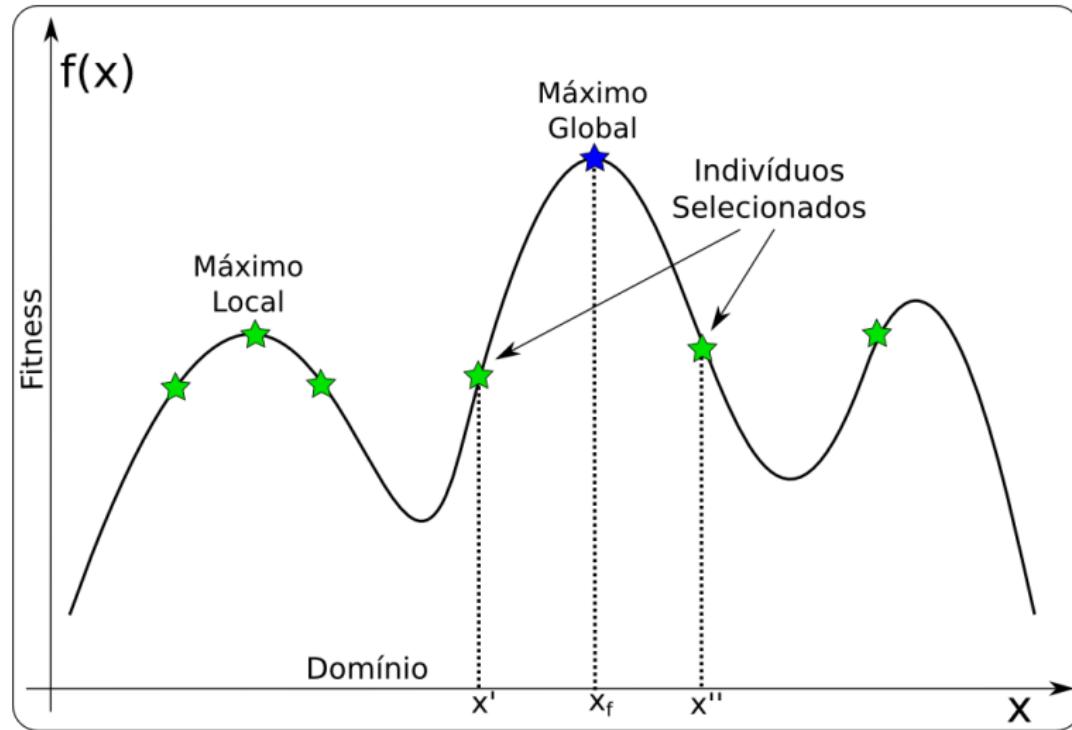
LCR



# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

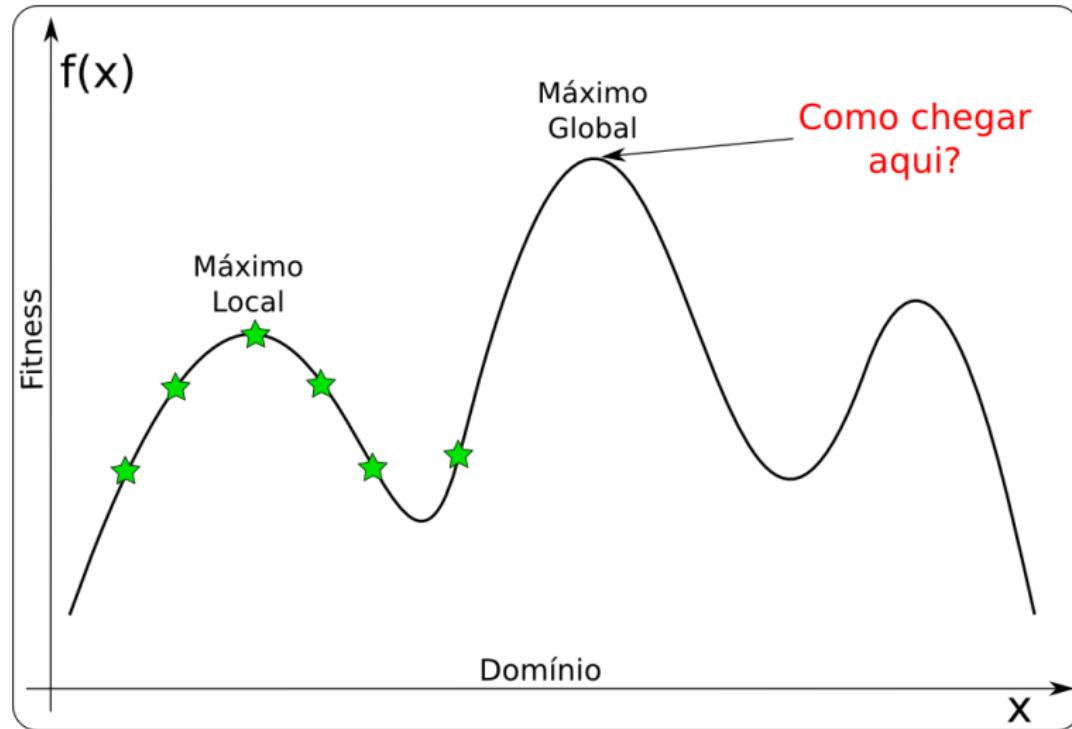
LCR



# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

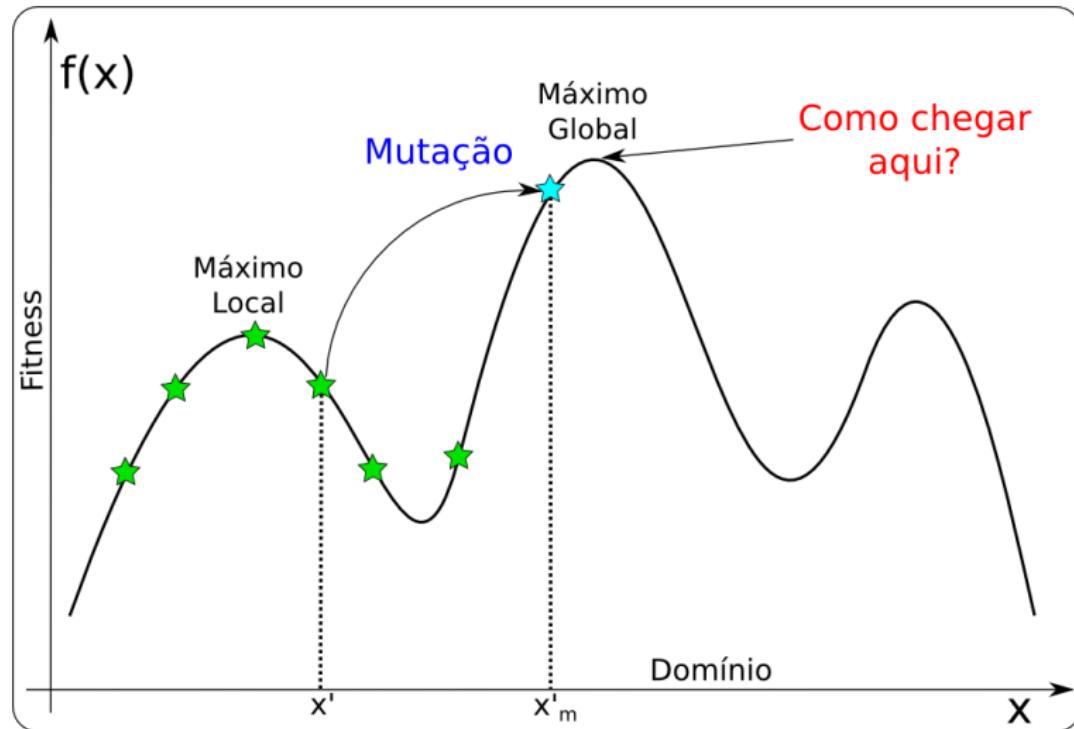
LCR



# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

LCR

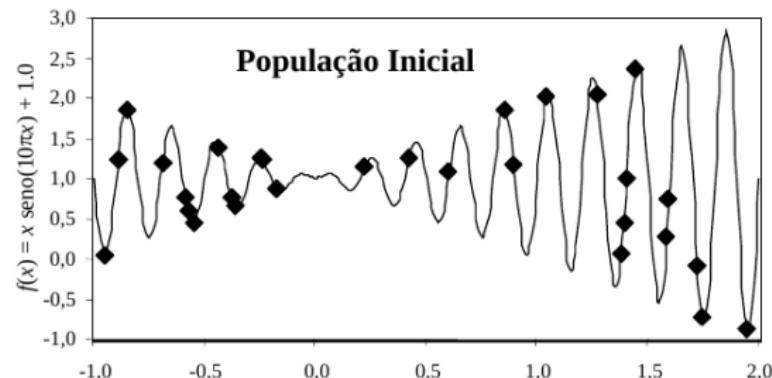
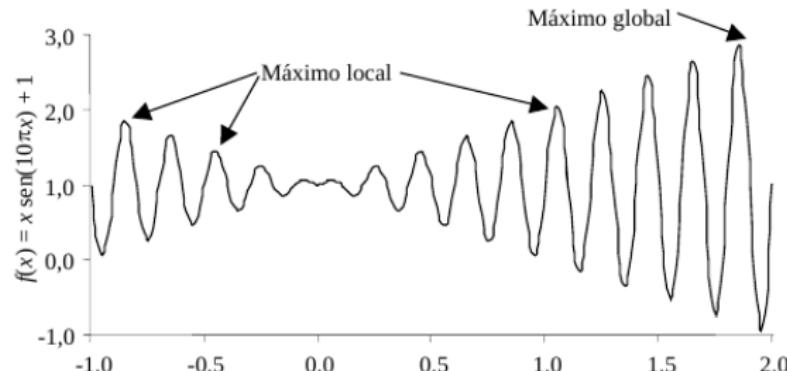


# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

LCR

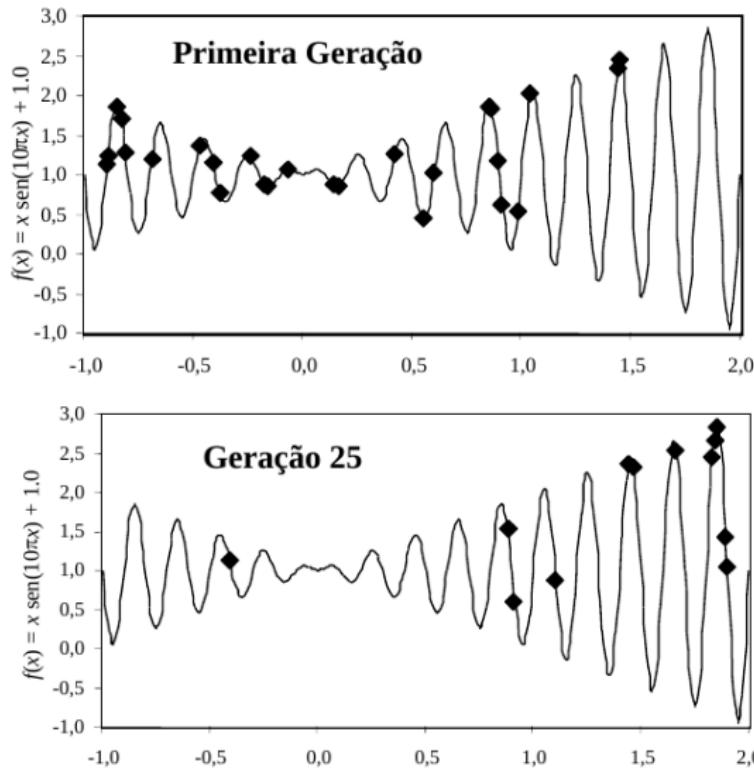
Maximizar:  $f(x) = x \cdot \operatorname{sen}(10\pi x) + 1,0$  restrita a  $-1,0 \leq x \leq 2,0$



# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

LCR

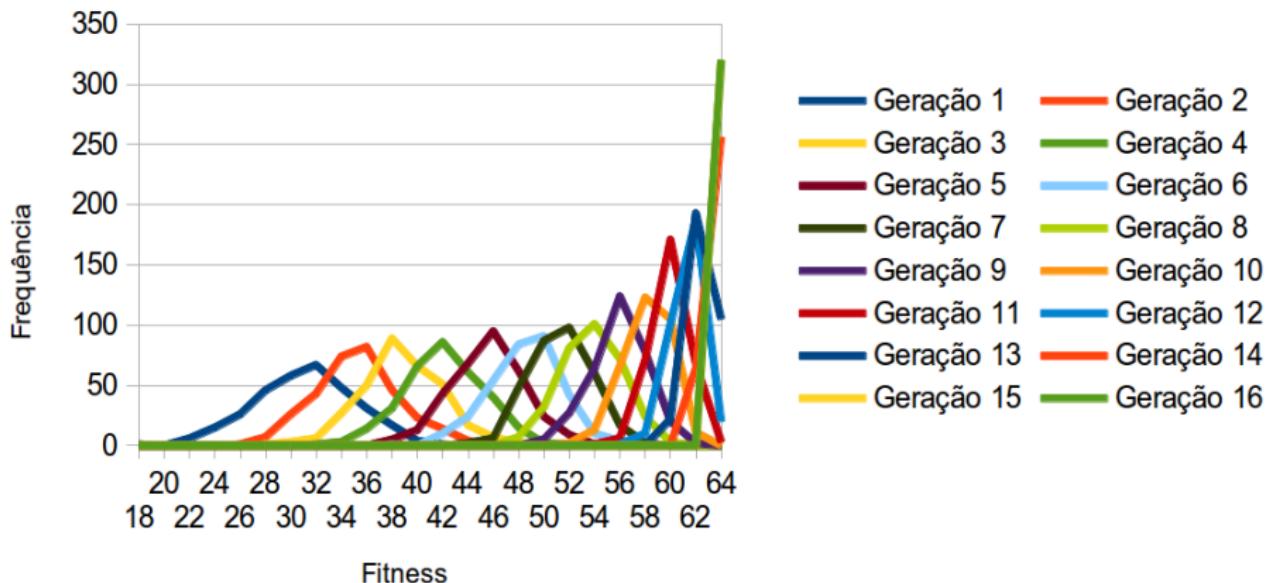


# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

LCR

Distribuição dos Indivíduos em Função das Gerações

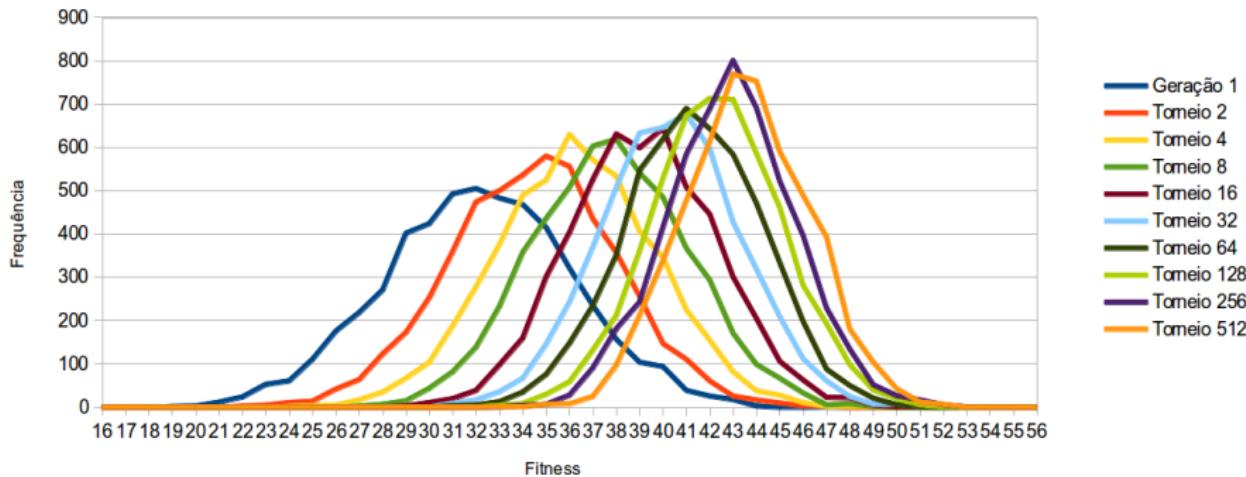


# Algoritmos Evolutivos

## Algoritmos Genéticos

LCR

Melhoria do Fitness em Função do Tamanho do Torneio



# Metodologia

## Algoritmo Genético Multi-Populacional

LCR

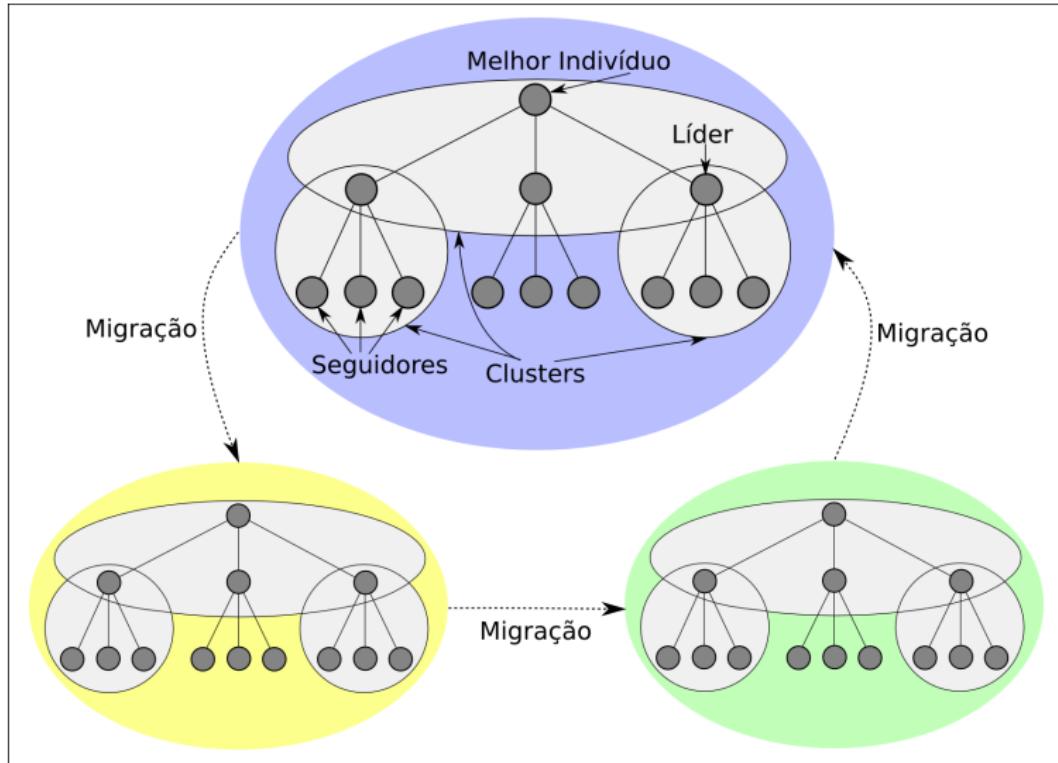


Figure 2: Estrutura hierárquica em árvore dos indivíduos.

# Aplicação em Planejamento de Rotas

## Objetivos

LCR

### 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

LCR

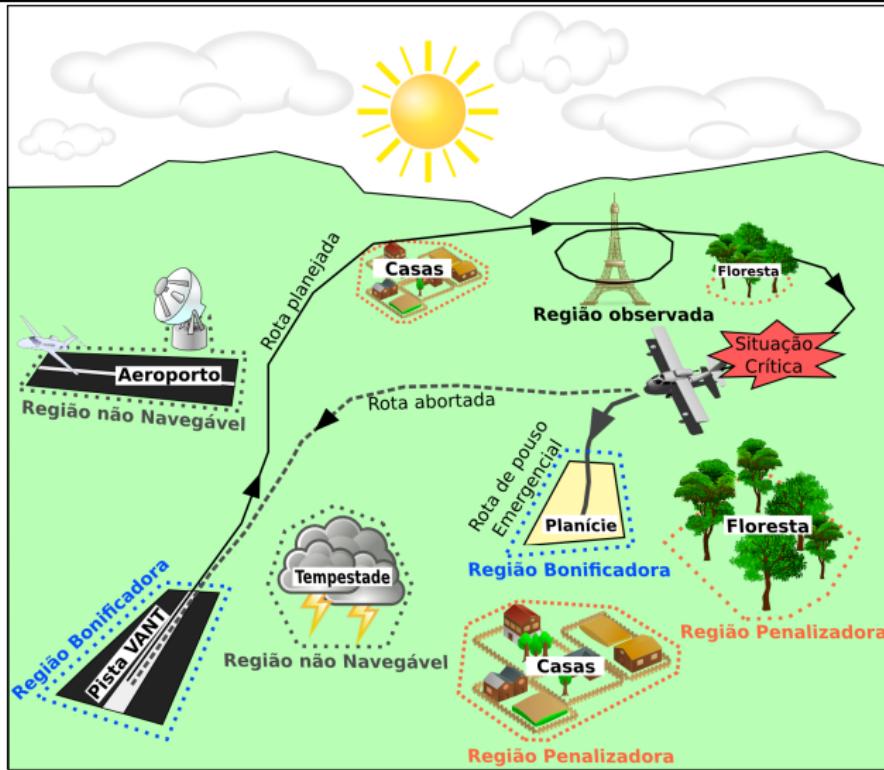


Figure 3: Cenário ilustrativo para o planejamento de rotas.

# Problema Abordado

## Estratégia de Construção de Mapas

LCR

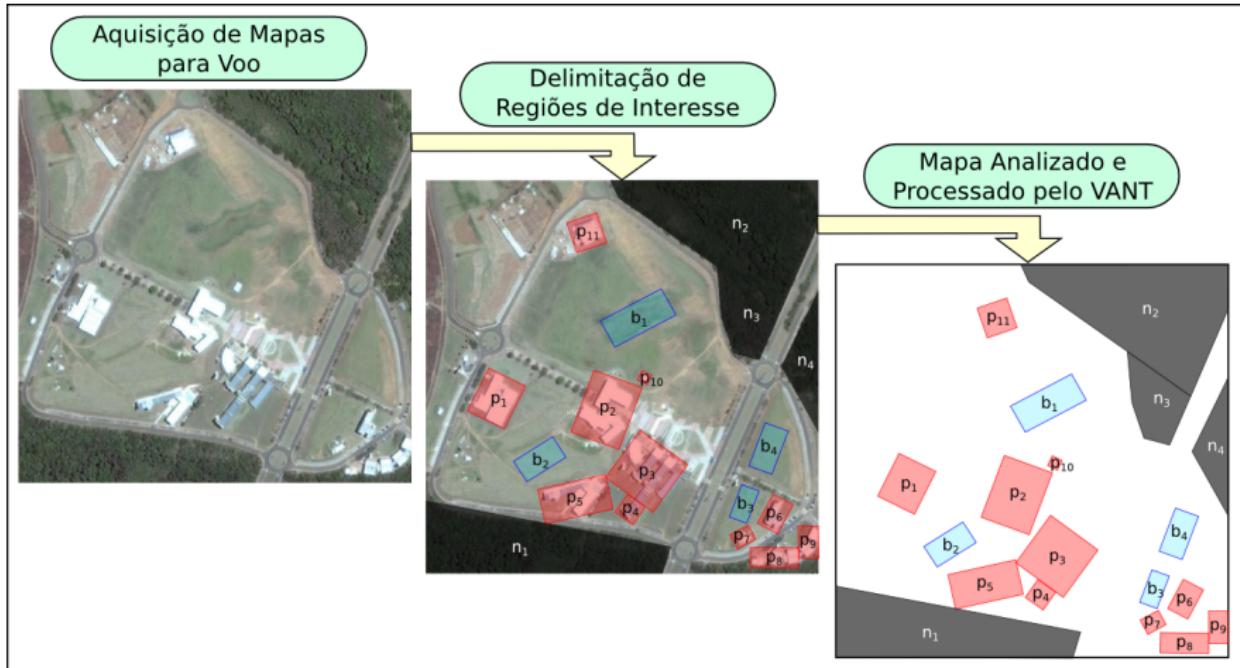
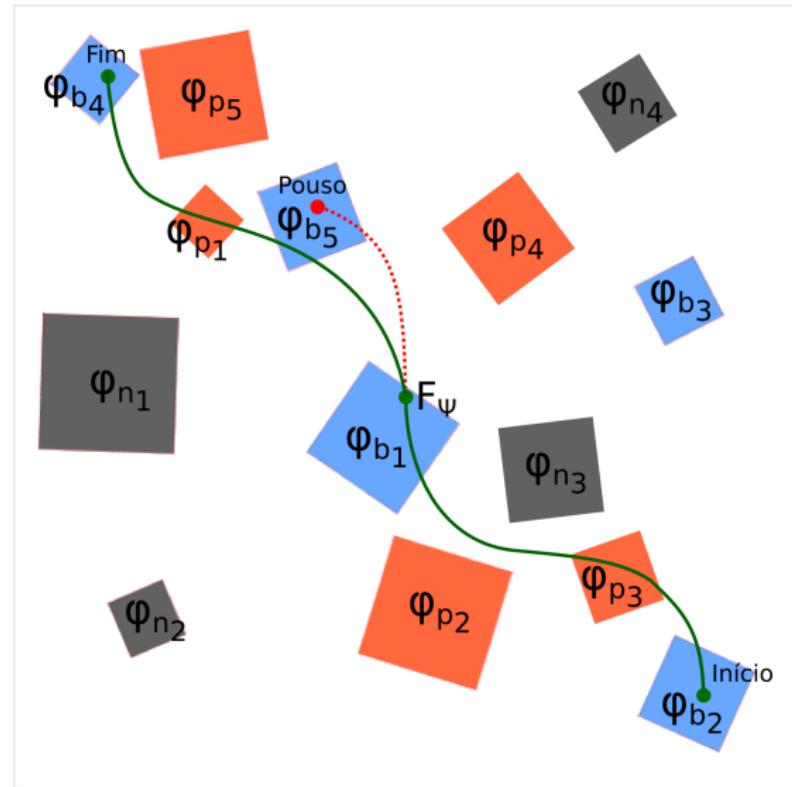


Figure 4: Estratégia de construção de mapas.

# Problema Abordado

Tipos de Regiões Modeladas e Falha Crítica

LCR



# Problema Abordado

## Tipos de Situações Críticas Modeladas

LCR

- 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 ( $\emptyset$ )

# Problema Abordado

## Formulação Matemática

LCR

### 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  $\Phi_j$
- $C_{\Phi_j}$ : Custo de pousar no conjunto  $\Phi_j$
- $T$ : Número de passos de tempo para pousar o VANT
- $\Delta$ : Probabilidade do VANT violar uma região no conjunto  $\Phi_n$
- $F_\Psi$ : Função de transição de estados  $\Psi_k$  com  $k \in \{m, b, s^1, s^2, \emptyset\}$
- $\omega_t$ : Perturbação independente do estado, no instante  $t$

### Variáveis de Decisão:

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

# Problema Abordado

## Formulação Matemática

LCR

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

sujeito a:

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

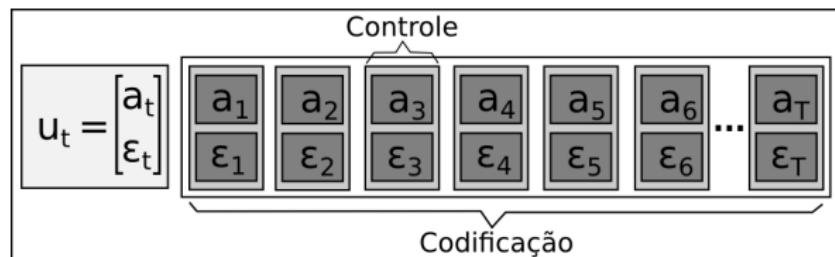
$$P \left( \bigwedge_{t=0}^T \bigwedge_{i=1}^{|\phi_n|} x_t \notin Z_{\phi_n}^i \right) \geq 1 - \Delta \quad (3)$$

# Metodologia

## Codificação, Decodificação e Solução

LCR

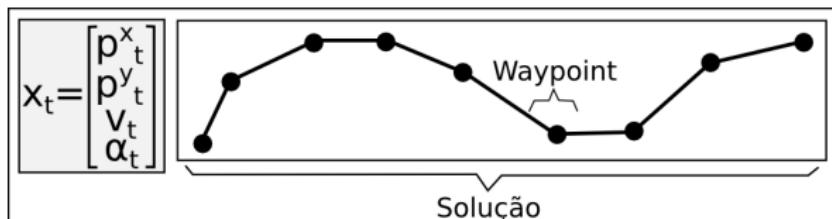
- Codificação  $u_t$ :



- Decodificação  $F_\Psi$ :

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

- Solução  $x_t$ :



- Função Objetivo:

$$\begin{aligned} \text{fitness} = & f_{Pousos_{\phi_b}} + f_{Pousos_{\phi_p}} + f_{PousosEVoo_{\phi_n}} + f_{Curvas} + \\ & f_{DistVANT_{\phi_b}} + f_{ViolouT} + f_{\psi_b} \end{aligned} \quad (4)$$

- Inicialização:

① Aleatória, Curva Curta, Aceleração Curta e Gulosa

- Crossover:

① Média, Aritmético, Geométrico, OX e BLX- $\alpha$

- Mutação:

① Uniforme, Limite e Creep

# Metodologia

## Arquitetura Proposta

LCR

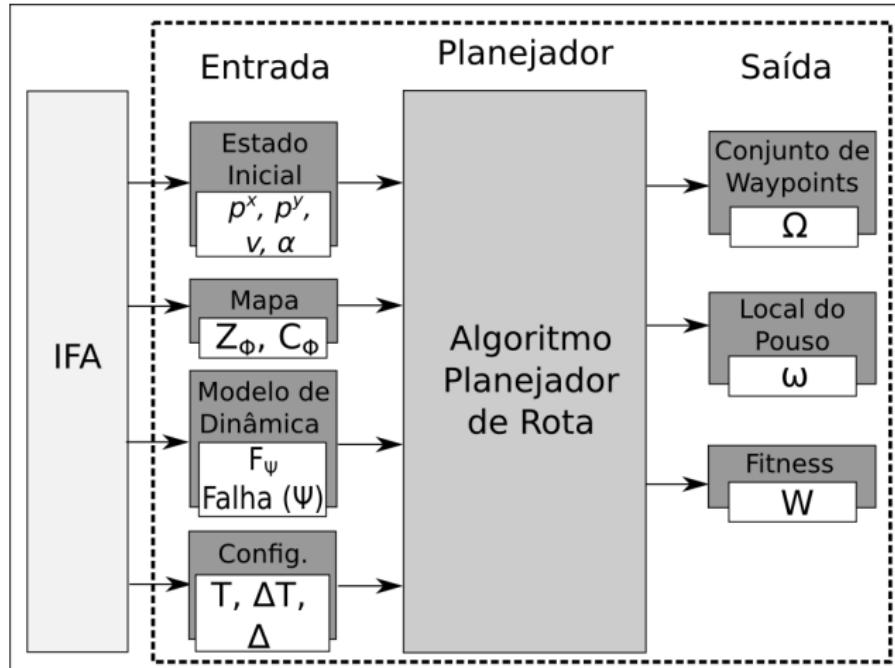


Figure 5: Arquitetura do planejador proposto.

# Resultados

LCR

## Geração Automática de Mapas

- Nível de Dificuldade

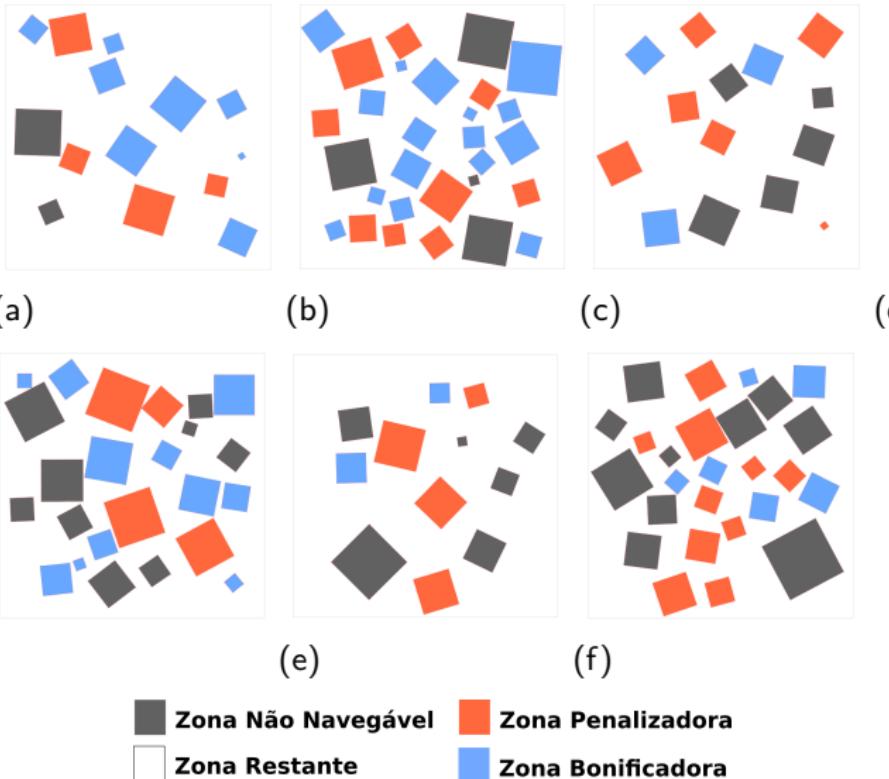
- ①  $\mathcal{M}_F$
- ②  $\mathcal{M}_N$
- ③  $\mathcal{M}_D$

- 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  $e, f = \mathcal{M}_D$



# Resultados

## Experimentos: 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 ( $\alpha_0$ ) [°]	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 ( $\Delta T$ ) [s]	1
	Probabilidade de violar a região $\phi_n$ ( $\Delta$ )	0,001
Pesos das Regiões	$C_{\phi_b}$	2000
	$C_{\phi_p}$	8000
	$C_{\phi_n}$	100000
	$C_{\phi_r}$	0

# Resultados

## Experimentos: Exemplos de Situações Críticas

LCR

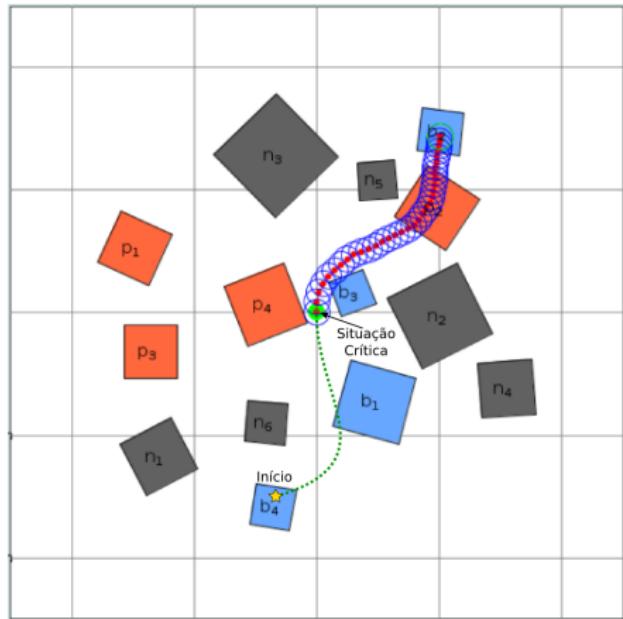
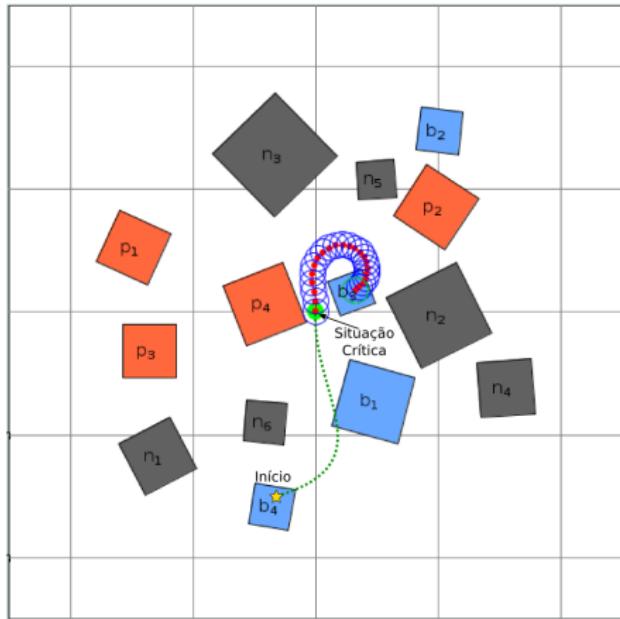


Figure 6: Exemplo de rotas para as situações críticas: a)  $\psi_m$  (79.17%). b)  $\psi_b$  (97.83%).

# Resultados

## Experimentos: Exemplos de Situações Críticas

LCR

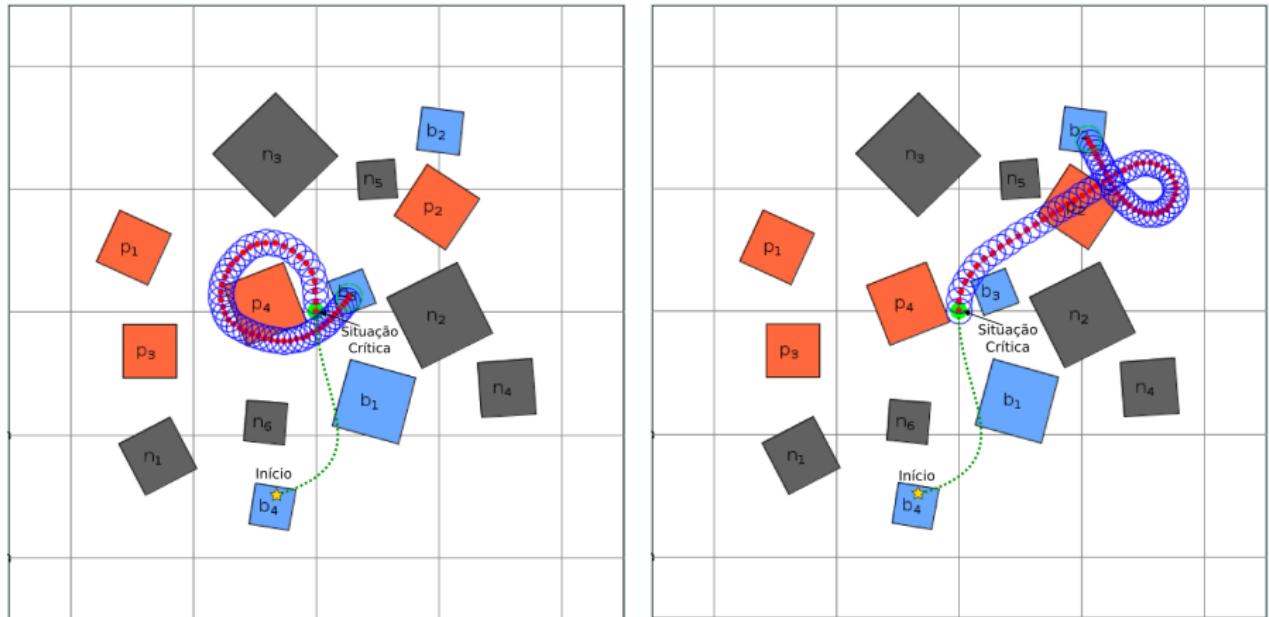
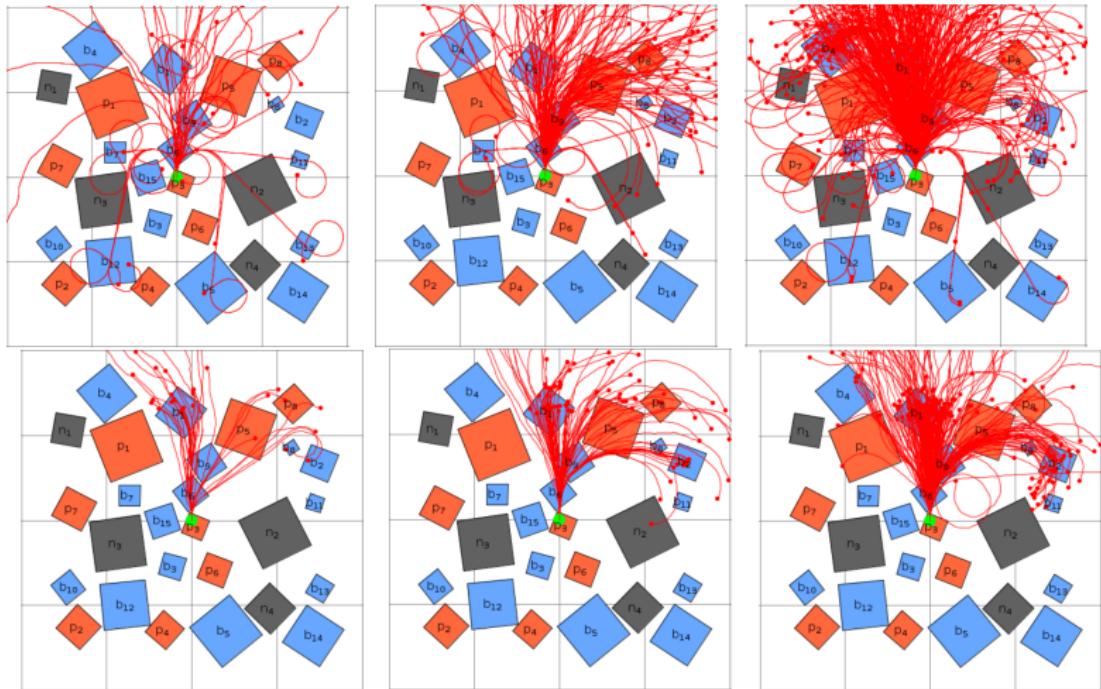


Figure 7: Exemplo de rotas para as situações críticas: a)  $\psi_{s^1}$  (84.00%). b)  $\psi_{s^2}$  (88.33%).

# Resultados

## Rotas Geradas pelo AGMP

LCR



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

# Próximas Etapas

## Pouso 3D e Simulação

LCR

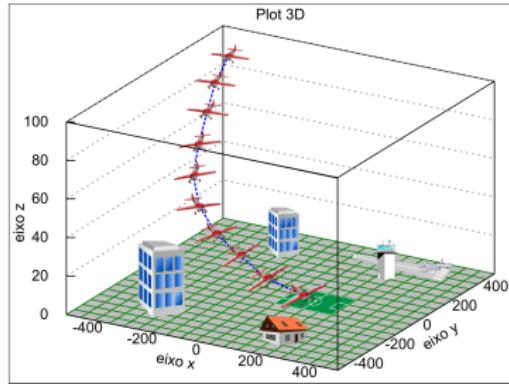


Figure 9: Próximas etapas: a) Modelagem 3D. b) Simulador de voo FlightGear.

### 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

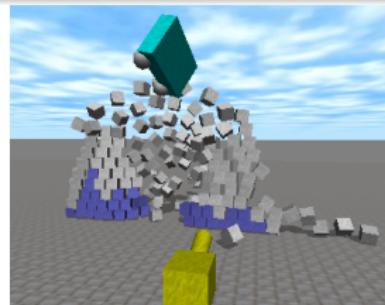
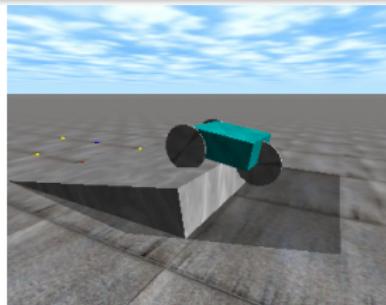
- ① Construir um módulo de evolução de robôs
- ② Modelar as peças do robô
- ③ Definição da função objetivo
- ④ Desenvolvimento do algoritmo genético

### Plataforma de Robótica

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

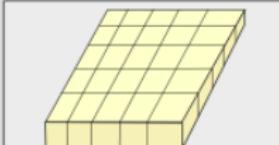
### Biblioteca de Física

- 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



### Base de Dados de Peças

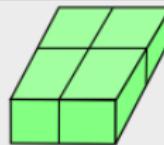
a) Chassi



Atributos:

Número Mínimo: 1  
Número Máximo: 1  
Dimensões: 5x5x1

b) Processador



Atributos:

Número Mínimo: 1  
Número Máximo: 1  
Dimensões: 2x2x1

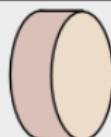
c) Roda Sem Motor



Atributos:

Número Mínimo: 0  
Número Máximo: 4  
Dimensões: 1x1x0,5  
Orientação: X, Y, Z

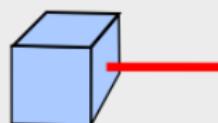
d) Roda Com Motor



Atributos:

Número Mínimo: 0  
Número Máximo: 4  
Dimensões: 1x1x0,5  
Orientação: X, Y, Z

e) Sensor de Distância

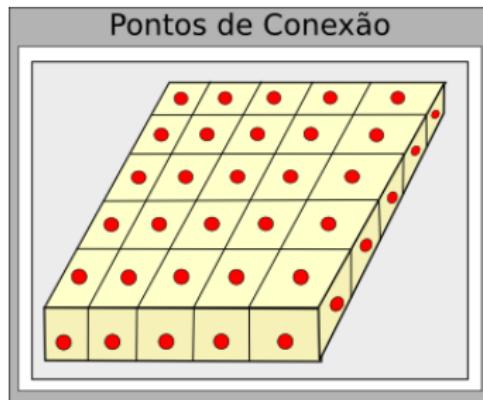


Atributos:

Número Mínimo: 0  
Número Máximo: 2  
Dimensões: 1x1x1  
Orientação: [0°, 360°]

### Visão Geral

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

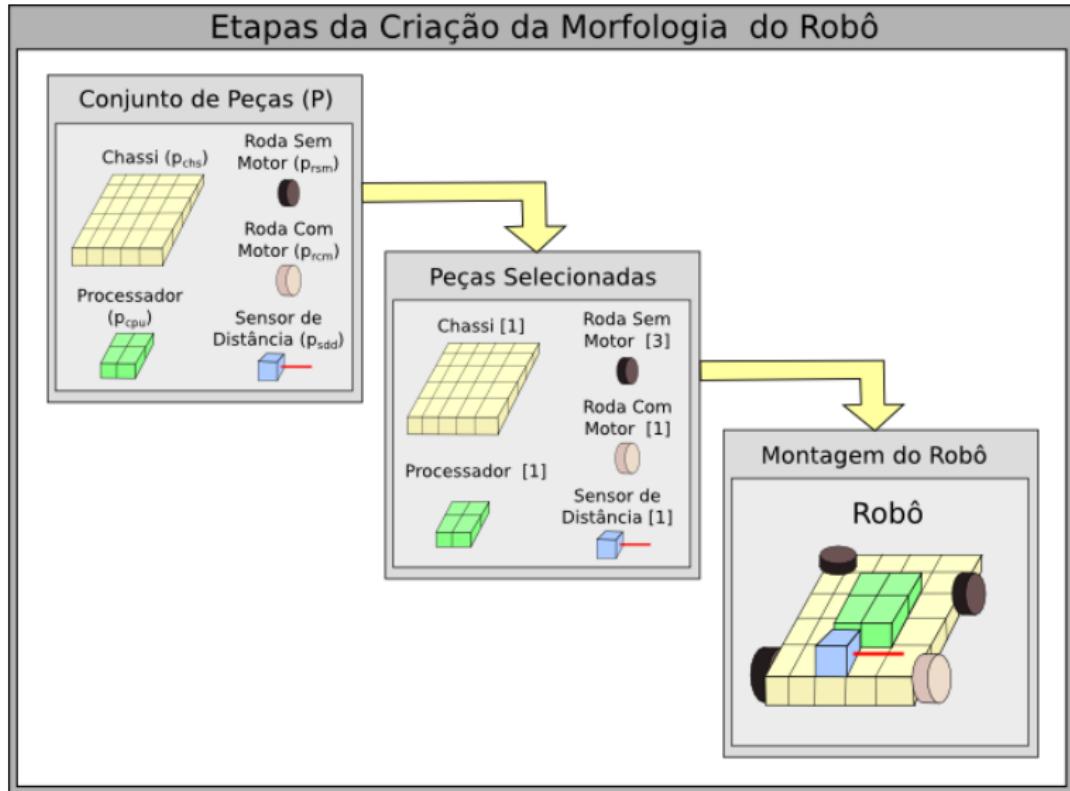


# Metodologia

## Montagem da Morfologia do Robô

LCR

### Etapas da Criação da Morfologia do Robô



### Operadores de Crossover

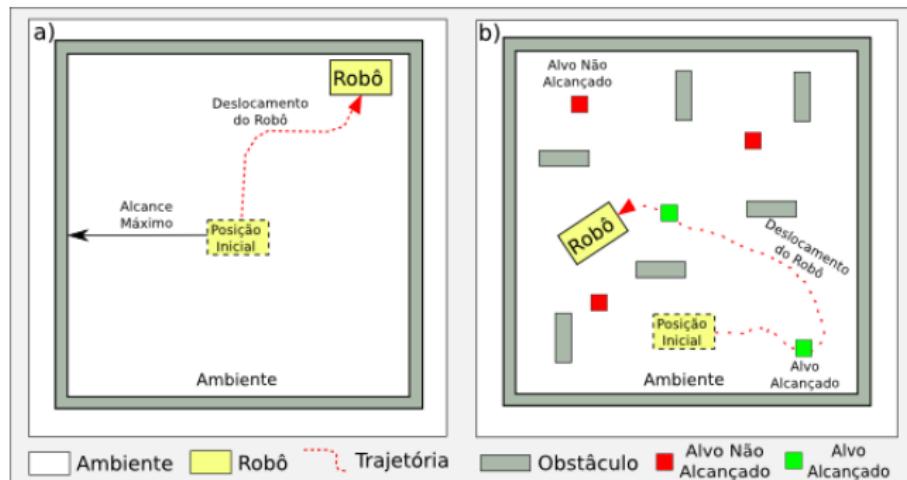
- ① *Crossover de Processador*
- ② *Crossover de Roda Sem Motor*
- ③ *Crossover de Roda Com Motor*
- ④ *Crossover de Sensor de Distância*

### Operadores de Mutação

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

### Cenários Simulados

- ① *Problema<sub>1</sub>*: Problema da locomoção do robô no ambiente livre de obstáculos
- ② *Problema<sub>2</sub>*: Problema de locomoção do robô no ambiente com obstáculos e alvos



# Resultados

## Parâmetros Utilizados

LCR

Problema	Parâmetro	Valor
Ambos	Tamanho da População	100
Ambos	Número de Gerações	50
Ambos	Tamanho do Torneio	3
Ambos	Elitismo	Sim
<i>Problema</i> <sub>1</sub>	Número de Steps (Tempo)	600
<i>Problema</i> <sub>2</sub>	Número de Steps (Tempo)	6000
<i>Problema</i> <sub>1</sub>	Taxa Crossover	75%
<i>Problema</i> <sub>1</sub>	Taxa de Mutação	85%
<i>Problema</i> <sub>2</sub>	Taxa Crossover	75%
<i>Problema</i> <sub>2</sub>	Taxa de Mutação	85%

# Resultados

## Trajetória do Robô

LCR

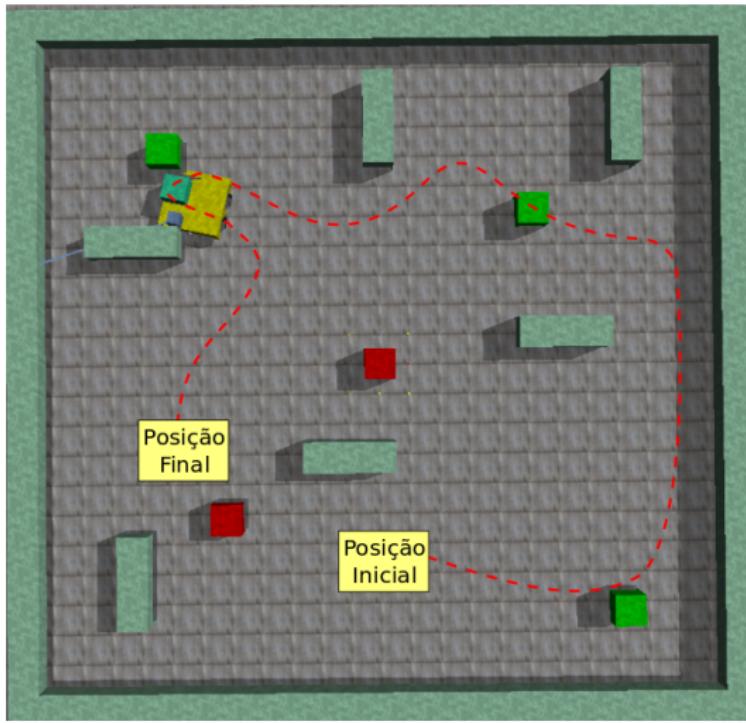
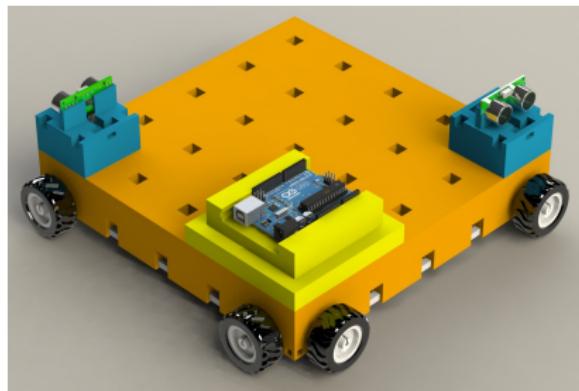
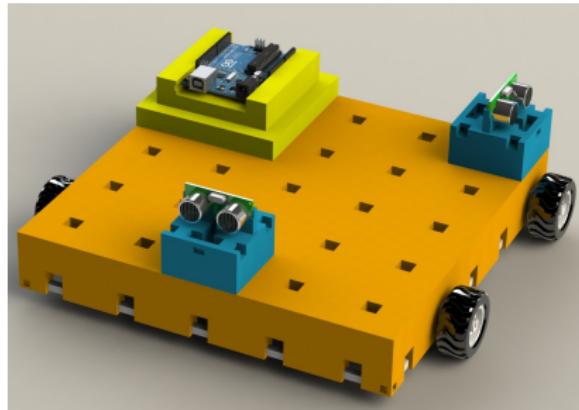


Figure 10: Trajetória descrita pelo robô no *Problema<sub>2</sub>*.

# Trabalhos Futuros

Construção do Robô Gerado

LCR



# Considerações Finais

## Conclusão: Aplicação 1

LCR

- 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.

# Considerações Finais

## Conclusão: Aplicação 2

LCR

- 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](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 underBounded Risk, **Journal of Artificial Intelligence Research**, v. 46, p. 511-577, 2013.

## Obrigado a Todos!!! Perguntas?

[Contato: jesimar.arantes@gmail.com]

