



# Aplicações evolutivas (2021/2022)

## 5. Evolução em computação e engenharia

**5.1. Inteligência artificial**

**5.2. Computação evolutiva**

### Conceitos

Redes neurais, aprendizagem supervisionada, aprendizagem não-supervisionada, aprendizagem por reforço, ótimos locais e ótimos globais



## 5. Evolução em computação e engenharia

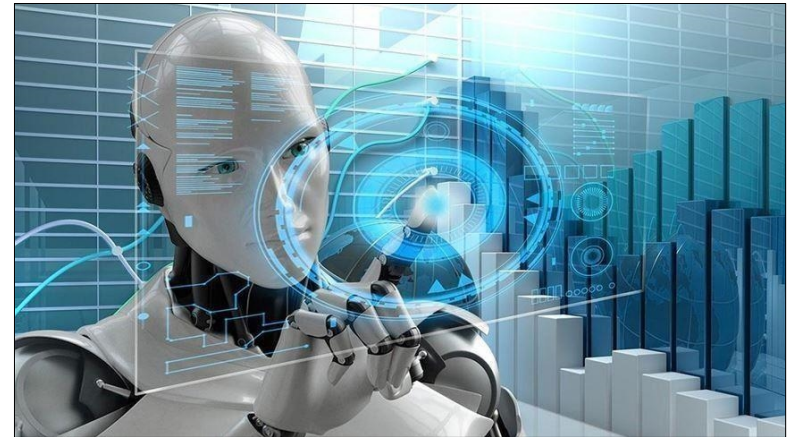
**Inteligência artificial** – *evento ou atividade que permite uma máquina tomar decisões e funcionar adequadamente de acordo com as condições externas*

Utilizada em:

- Data mining
- Análise de Big data
- Engenharia

Técnicas:

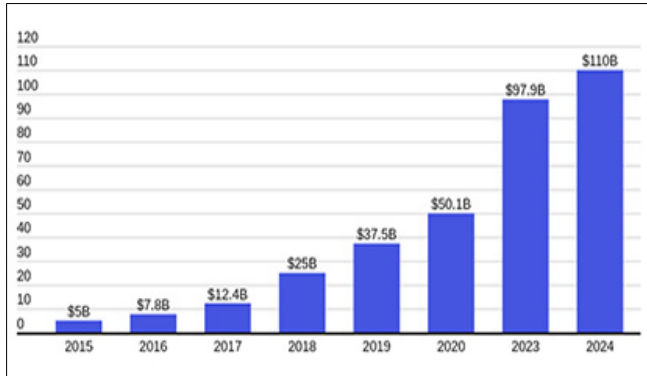
- Modelação de redes neuronais
- Algoritmos de decisão racional
- Modelos de simulação
- DNA computing, etc.





# Inteligência artificial – Machine learning

## Investimento crescente em inteligência artificial e principalmente em machine learning



### The Future Of A.I.

Forecasted cumulative global artificial intelligence revenue 2016-2025, by use case (U.S. dollars)



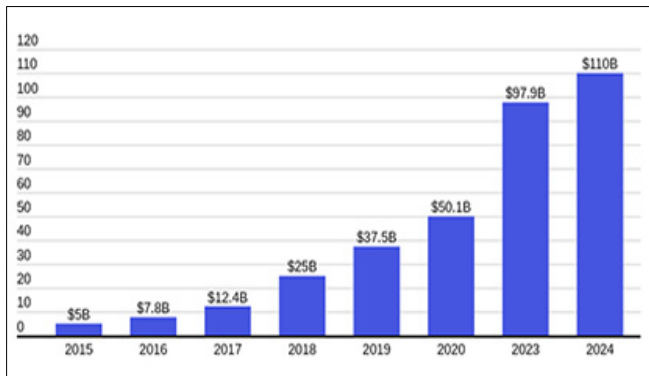
\* From geospatial images  
©StatistaCharts Source: Tractica

statista



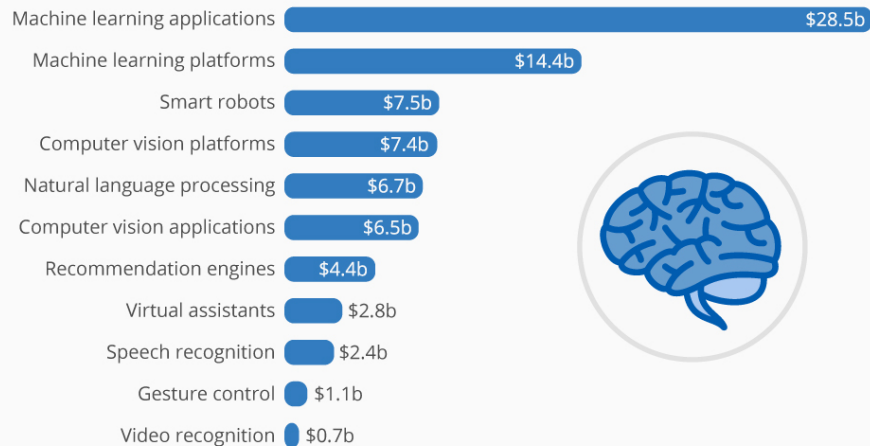
## Inteligência artificial – Machine learning

### Investimento crescente em inteligência artificial e principalmente em machine learning



### Machine Learning Tops AI Dollars

AI funding worldwide cumulative through March 2019 (in billion U.S. dollars), by category



@StatistaCharts Sources: Venture Scanner, Statista estimates

statista

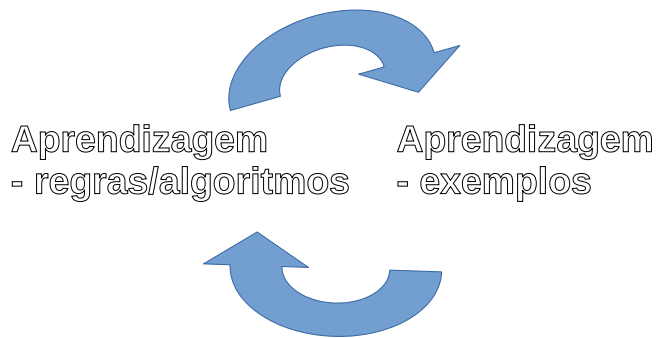




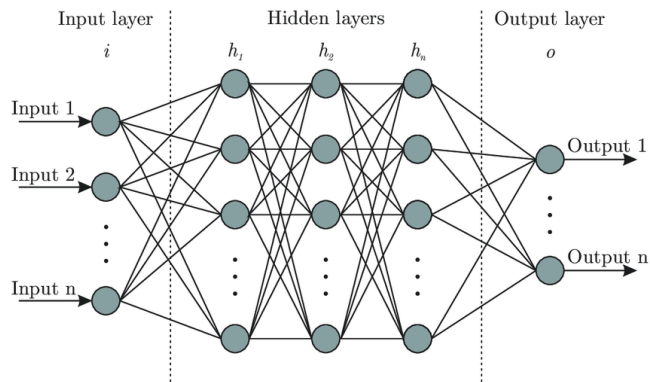
## Inteligência artificial – Machine learning

**Machine learning – forma de IA que permite aprender (sem ter programação explícita) the forma a tomar boas decisões**

- **algoritmo define regras de aprendizagem**
- **otimização de função de custo**



Rede neuronal



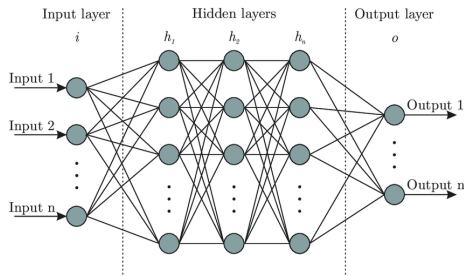
Tomada de decisões

What is a neural network?



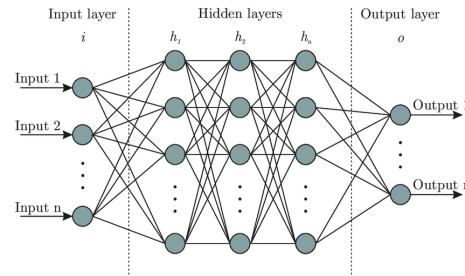
# Machine learning – algoritmos de aprendizagem

## Supervised learning



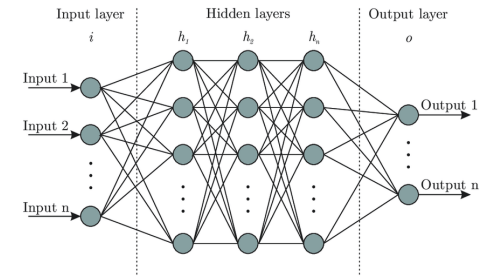
Os parâmetros da rede são ajustados por comparação entre os resultados do sistema e o pretendido, definido por humanos

## Unsupervised learning



Não existe um resultado “esperado”.  
Várias hipóteses são testadas e para cada uma delas os parâmetros são otimizados.  
Apenas o conjunto de parâmetros com os melhores resultados é utilizado

## Reinforcement learning



Otimização entre a classificação num dataset de treino e a sua aplicação a um dataset diferente. Processo dinâmico.



## Machine learning – algoritmos de aprendizagem

### Supervised learning

#### Classificação

- Detecção de fraudes
- Detecção de spam
- Diagnóstico
- Classificação de imagens

#### Regressão

- Avaliação de risco
- Previsão de desempenho

### Unsupervised learning

#### Redução de dimensionalidade

- Text mining
- Reconhecimento facial
- Visualização de Big Data
- Reconhecimento de imagem

#### Clustering

- Biologia
- Planeamento urbano
- Marketing dirigido

### Reinforcement learning

- Gaming
- Setor financeiro
- Produção industrial
- Gestão de stocks
- Navegação de sistemas autónomos



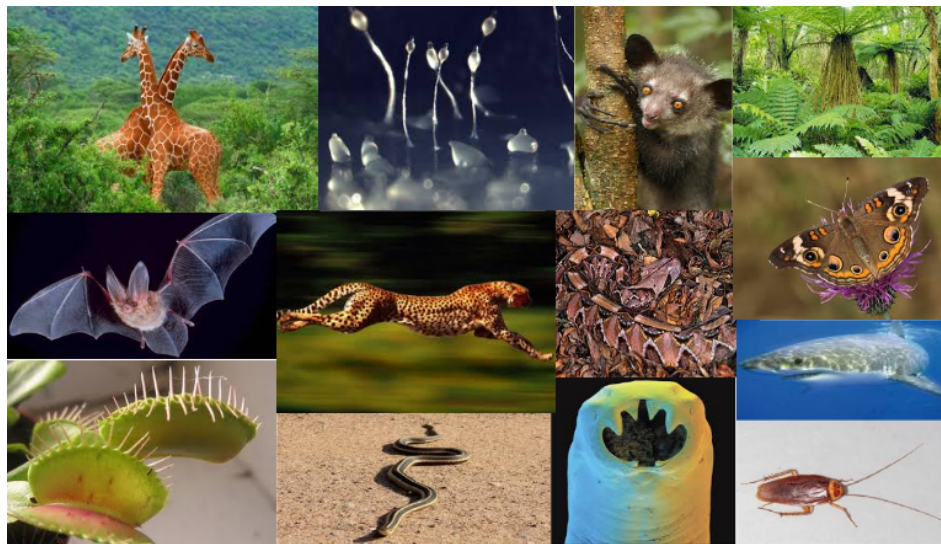


## Machine learning – para além dos limites

**O problema** – machine learning/IA demasiado restritiva?

Evolução biológica geradora de novidade e diversidade:

- diversas escalas
- tipos de interações
- níveis de organização

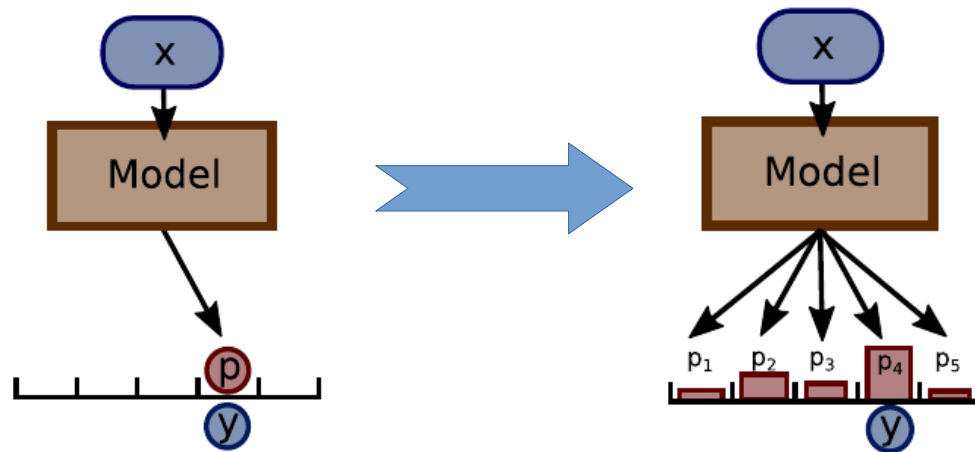




## Machine learning – para além dos limites

### Possível solução:

- Passar de modelos preditivos para modelos probabilísticos



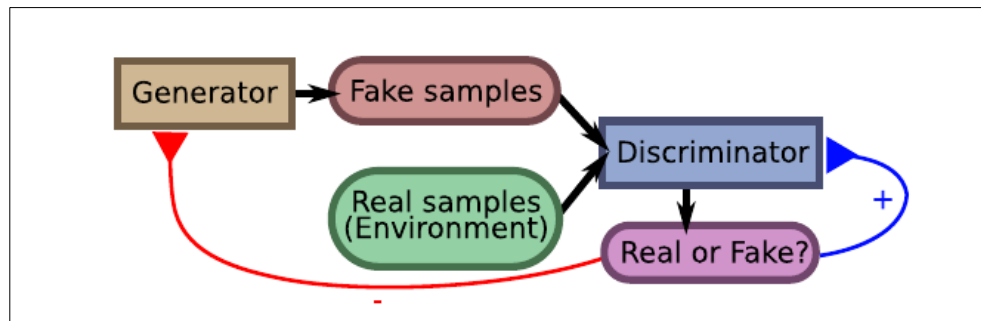
Guttenberg et al (2019). On the potential for open-endedness in neural networks. *Artificial Life*



## Machine learning – para além dos limites

### Possível solução:

- Passar de modelos preditivos para modelos probabilísticos
- Geração de redes adversárias (*GAN* – *generative adversary networks*)

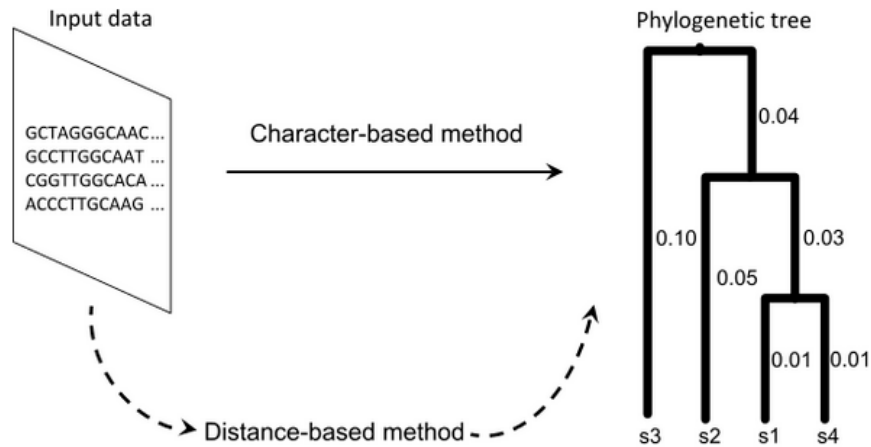


Guttenberg et al (2019). On the potential for open-endedness in neural networks. *Artificial Life*



# Computação evolutiva

## Inferência filogenética



- Métodos de distâncias: UPGMA, Neighbour-joining
- Máxima Parsimónia
- Máxima Verosimilhança
- Abordagem bayesiana



## Computação evolutiva

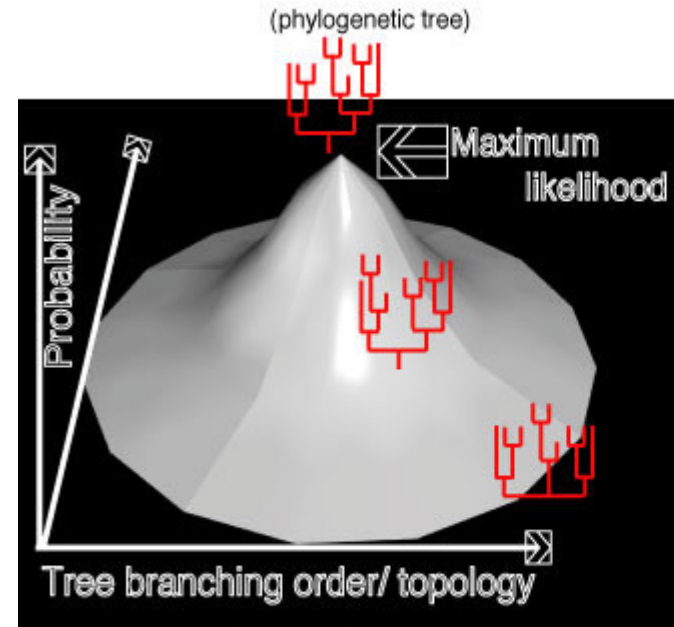
### Inferência filogenética

$$L(\tau, \mathbf{v}, \Theta | \mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_r) = \binom{n}{n_1, n_2, \dots, n_r} \prod_{i=1}^r \Pr[\mathbf{y}_i | \tau, \mathbf{v}, \Theta]^{n_i},$$

$\tau$  – topologia

$\mathbf{v}$  – comprimento dos ramos

$\Theta$  – modelo de substituição

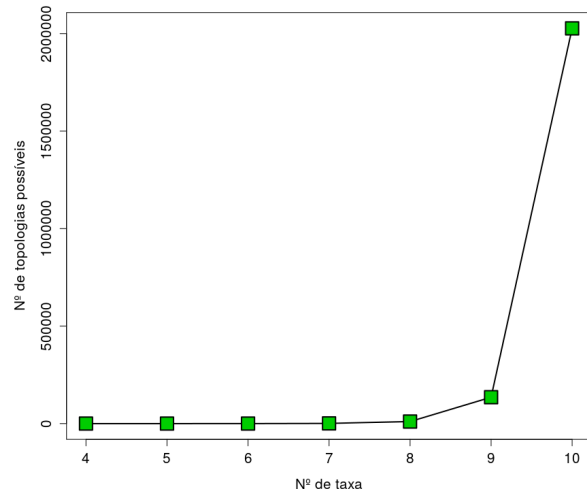




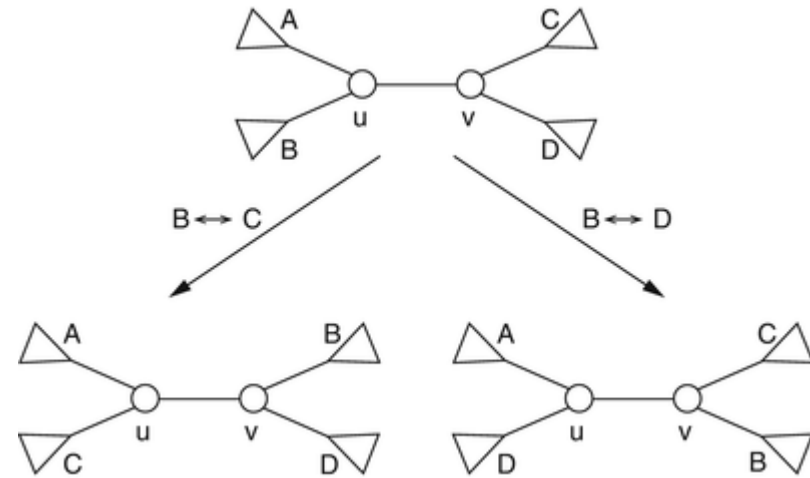
# Computação evolutiva

## Inferência filogenética

- número de topologias possível =  $(2s-5)!/2^{s-3}(s-3)!$



## Algoritmo NNI (nearest neighbour interchange)

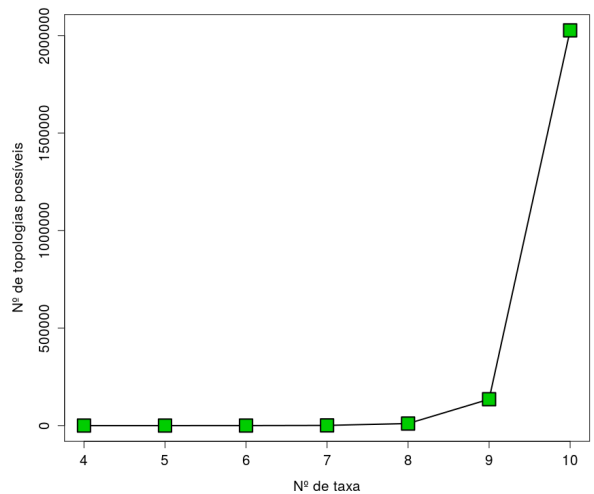




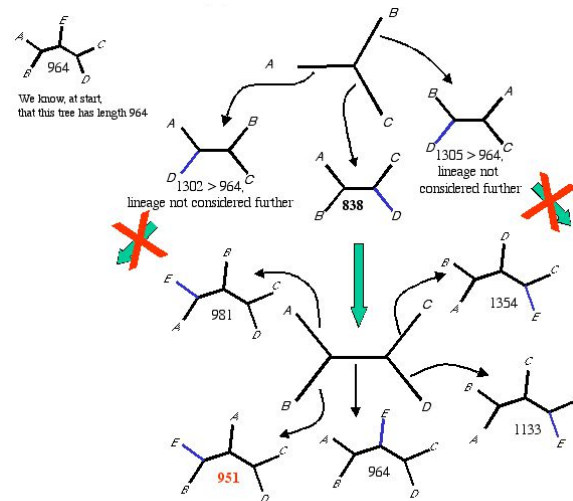
# Computação evolutiva

## Inferência filogenética

- número de topologias possível =  $(2s-5)!/2^{s-3}(s-3)!$



## Algoritmo BB (branch and bound)





## 5. Evolução em computação e engenharia

**Computação evolutiva** – conjunto de algoritmos (evolutivos) baseados em evolução biológica com o objetivo de atingirem uma otimização global de um sistema.

### Algoritmo evolutivo

1. Inicialização de uma população de indivíduos
2. Avaliação de todos os elementos de uma população

*Enquanto a condição de finalização não for alcançada*

3. Escolher indivíduos que serão progenitores
4. Criar novos indivíduos pela aplicação de operadores de variação
5. Avaliar os novos indivíduos
6. Substituir alguns/todos os indivíduos da população com os novos indivíduos

Possível solução para um problema

Genótipo → Fitness

Reprodução

Mutação/recombinação

Genótipo → Fitness

Seleção





## Algoritmos evolutivos

**Estratégias evolutivas** - vetores reais

**Programação evolutiva** – circuitos lógicos

**Algoritmos genéticos** – vetores binários

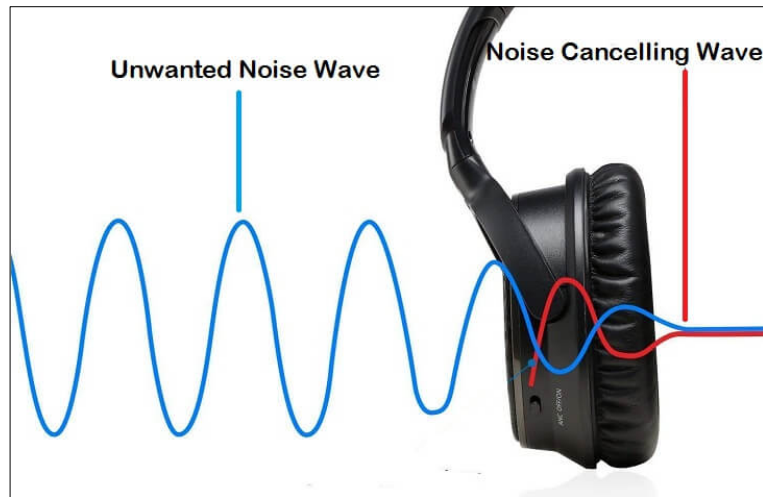
**Programação genética** – árvores classificativas



## Algoritmos evolutivos

### Algoritmos genéticos e processamento de sinal

Controlo ativo de ruído – Produção de onda de som anti-fase com o ruído

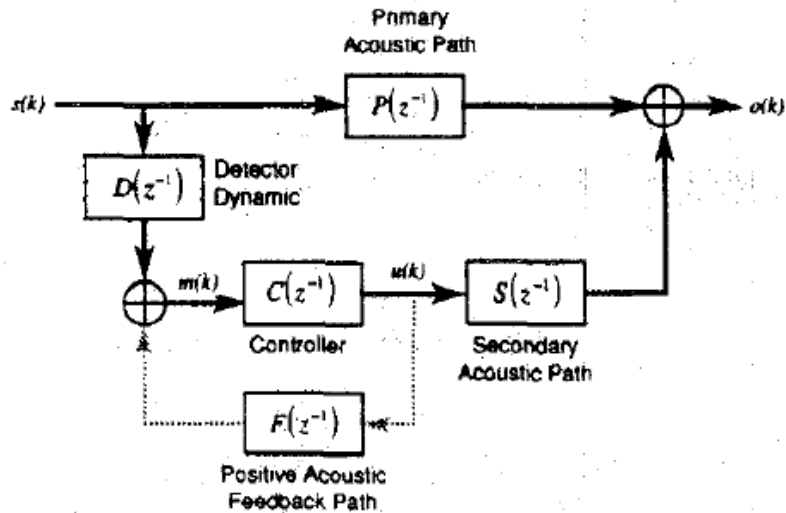




## Algoritmos evolutivos

### Algoritmos genéticos e processamento de sinal

#### Controlo ativo de ruído



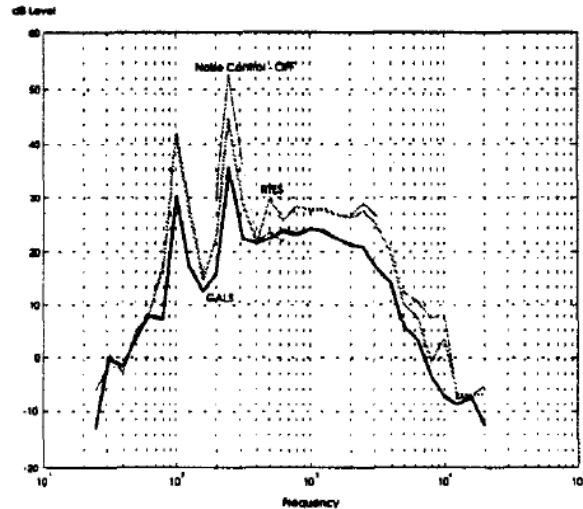
Controlador  $C(z^{-1})$  produz sinal que será emitido por altifalantes  $S(z^{-1})$ , que agindo sobre o ruído  $s(k)$  levam à produção de ruído residual  $o(k)$



## Algoritmos evolutivos

### Algoritmos genéticos e processamento de sinal

#### Controlo ativo de ruído

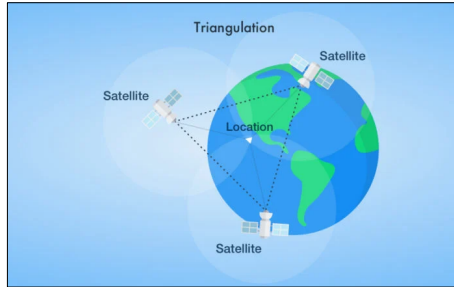
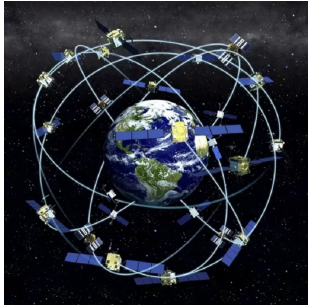


Controlador  $C(z^{-1})$  produz sinal que será emitido por altifalantes  $S(z^{-1})$ , que agindo sobre o ruído  $s(k)$  levam à produção de ruído residual  $o(k)$



## Algoritmos evolutivos

### Algoritmos genéticos e seleção de satélites GPS

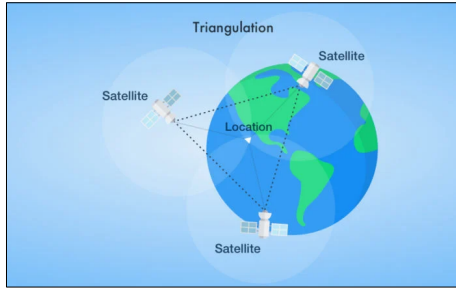


- Sistema GPS permite localizar recetores na Terra
- GDOP (geometric dilution of precision) → precisão de localização tendo em conta os satélites em linha com o recetor
- ↗ satélites ----- ↘ GDOP
- nº limitado de satélites que podem ser utilizados nos recetores



## Algoritmos evolutivos

### Algoritmos genéticos e seleção de satélites GPS



Como escolher quais os satélites a utilizar?

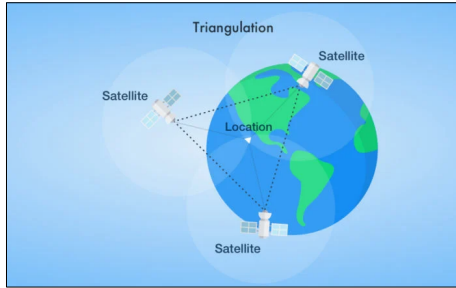
$$\begin{aligned}GDOP &= \sqrt{\text{tr}((G^T G)^{-1})} \\ &= \sqrt{\text{tr}((H))} \\ &= \sqrt{\lambda_1^{-1} + \lambda_2^{-1} + \lambda_3^{-1} + \lambda_4^{-1}}\end{aligned}$$

$$\min_{\forall (G_i, G_j, G_l, G_m) \in G} (GDOP) = \sqrt{\text{tr}((G_k^T G_k)^{-1})} = \sqrt{\lambda_1^{-1} + \lambda_2^{-1} + \dots + \lambda_k^{-1}}$$



# Algoritmos evolutivos

## Algoritmos genéticos e seleção de satélites GPS



$$Fit(t) = \frac{1}{\sqrt{\text{tr}((G_1^T G_1)^{-1})}}$$

Função a maximizar (fitness)

$$P\{T_s(Pop) = Ind_i\} = P\{Ind_i\} = \frac{Fitness(Ind_i)}{\sum_{k=1}^{PopSize} Fitness(Ind_k)}$$

Seleção

### Termination

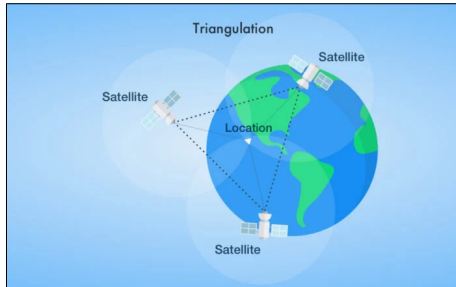
This evolutionary process for MGA satellite selection arrives at an endpoint when one of the following conditions has been reached:

1. A solution is found that satisfies the minimum criterion,  $GDOP < 3$ .
2. The number of generations reaches 20.



## Algoritmos evolutivos

### Algoritmos genéticos e seleção de satélites GPS



**Table 2. A comparison of the results.**

Approach	Correction Percent(%)	Minimum GDOP	Maximum GDOP	Average GDOP	Time(s)
Optimal selection	100	2.12	6.79	3.16	8.38
Proposed MGA	99.6	2.12	6.82	3.19	0.146
Neural Network	92.9	2.38	7.14	3.34	0.168
Fast selection	93.2	2.32	7.23	3.32	0.25

doi:10.1371/journal.pone.0150005.t002





## Algoritmos evolutivos

### Computação evolutiva e design de arquitetura

Evolução de designs estruturais de acordo com a sua capacidade de lidar com contingências físicas



Forma e função

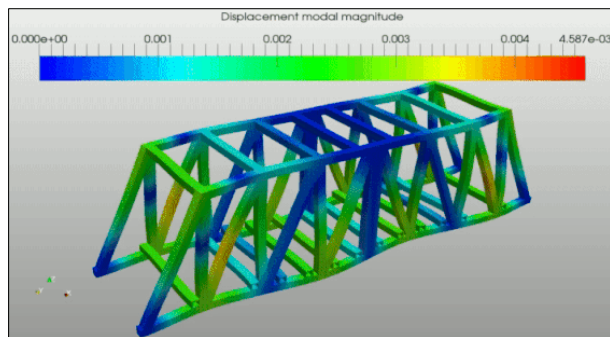




## Algoritmos evolutivos

### Computação evolutiva e design de arquitetura

Qual o design que minimiza o stress estrutural e simultaneamente a quantidade de material utilizada



Formas de stress:

- tração
- compressão
- torção
- cisalhamento
- flexão

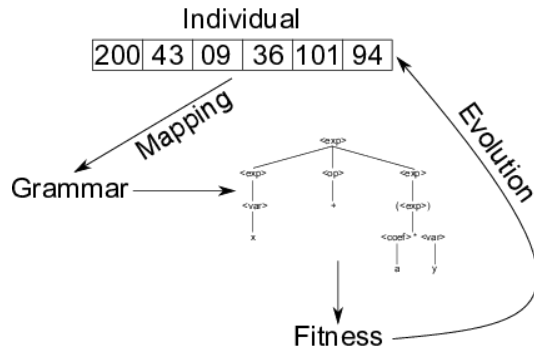




# Computação evolutiva e design de arquitetura

## Evolução de designs estruturais de acordo com a sua capacidade de lidar com contingências físicas

Evolução gramatical (algoritmo evolutivo)



Indivíduo – conjunto de regras de produção

Production	Semantic Rules
Program → begin Moves end	Program.out_x = Moves.out_x; Program.out_y = Moves.out_y; Moves.in_x = 0; Moves.in_y = 0;
Moves <sub>0</sub> → Move Moves <sub>1</sub>	Moves <sub>0</sub> .out_x = Moves <sub>1</sub> .out_x; Moves <sub>0</sub> .out_y = Moves <sub>1</sub> .out_y; Move.in_x = Moves <sub>0</sub> .in_x; Move.in_y = Moves <sub>0</sub> .in_y; Moves <sub>1</sub> .in_x = Move.out_x; Moves <sub>1</sub> .in_y = Move.out_y;
Moves → ε	Moves.out_x = Moves.in_x; Moves.out_y = Moves.in_y;
Move → left	Move.out_x = Move.in_x - 1; Move.out_y = Move.in_y;
Move → right	Move.out_x = Move.in_x + 1; Move.out_y = Move.in_y;
Move → up	Move.out_x = Move.in_x; Move.out_y = Move.in_y + 1;
Move → down	Move.out_x = Move.in_x; Move.out_y = Move.in_y - 1;

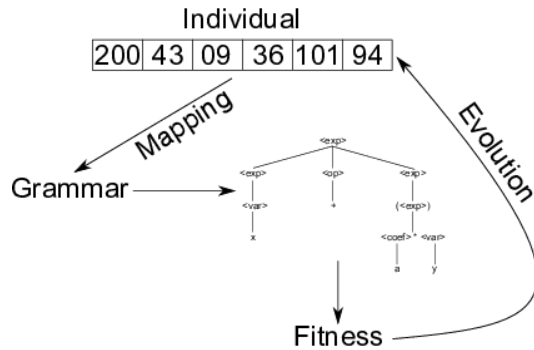


## Computação evolutiva e design de arquitetura

### Evolução de designs estruturais de acordo com a sua capacidade de lidar com contingências físicas

Evolução gramatical (algoritmo evolutivo)

Gramática



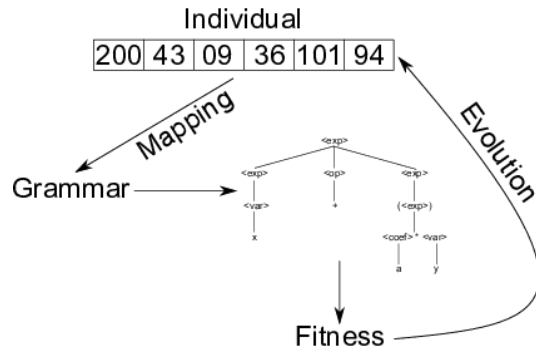
*Ponte feita de madeira, com um arco opcional, largura de 2m, comprimento de 10m*



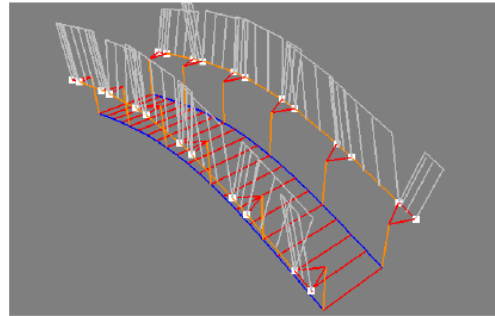
## Computação evolutiva e design de arquitetura

### Evolução de designs estruturais de acordo com a sua capacidade de lidar com contingências físicas

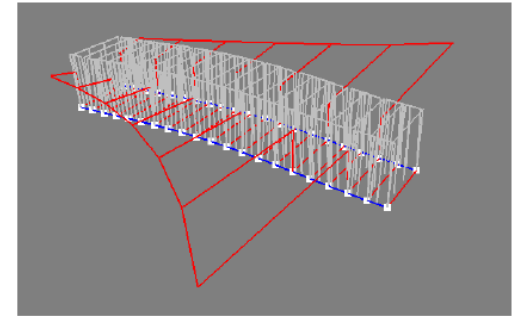
Evolução gramatical (algoritmo evolutivo)



Análise estrutural – quais os efeitos do stress na estrutura resultante?



(a) Force being applied to the handrail



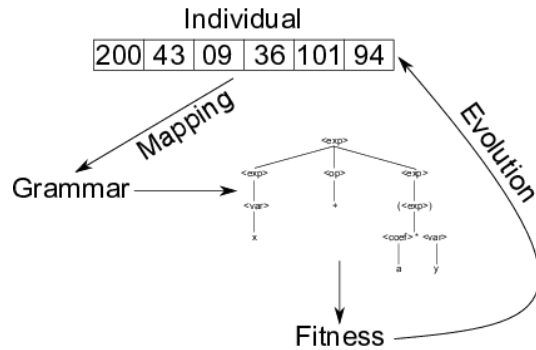
(b) Force being applied to the walkway



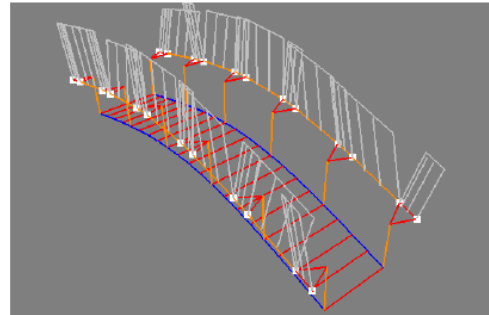
# Computação evolutiva e design de arquitetura

## Evolução de designs estruturais de acordo com a sua capacidade de lidar com contingências físicas

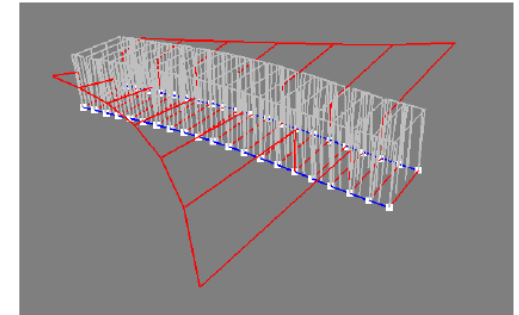
Evolução gramatical (algoritmo evolutivo)



Otimização múltipla do fitness – stress e material



(a) Force being applied to the handrail



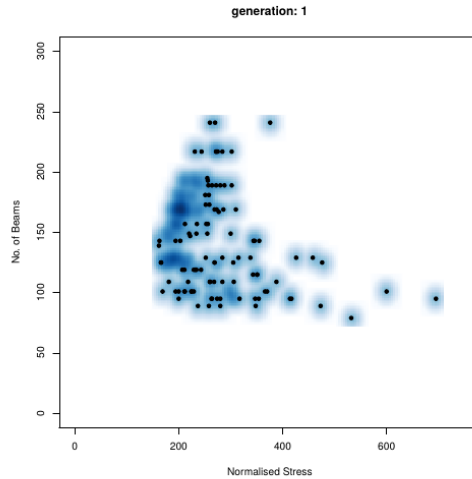
(b) Force being applied to the walkway



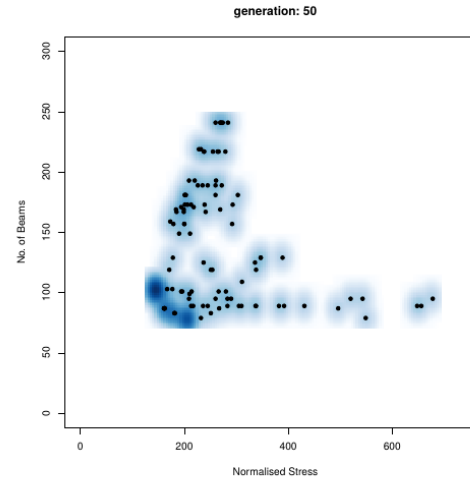
## Computação evolutiva e design de arquitetura

### Evolução de designs estruturais de acordo com a sua capacidade de lidar com contingências físicas

Otimização múltipla do fitness – stress e material



(a) Generation 1



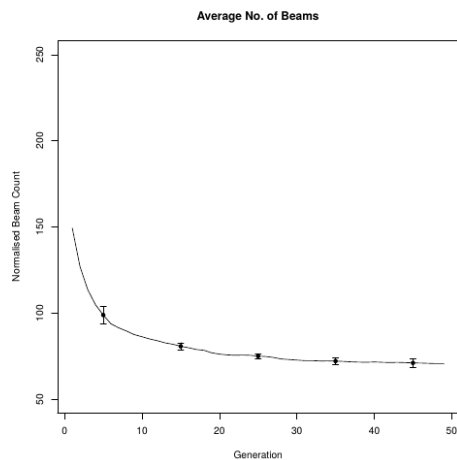
(b) Generation 50



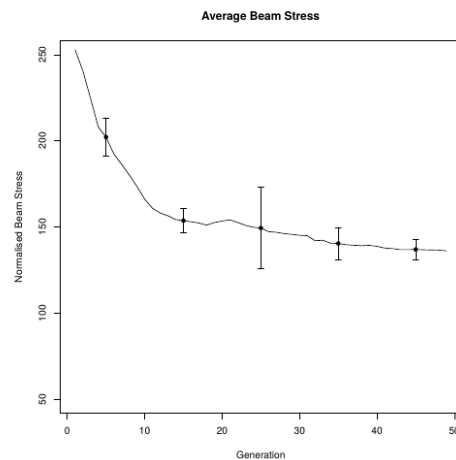
## Computação evolutiva e design de arquitetura

### Evolução de designs estruturais de acordo com a sua capacidade de lidar com contingências físicas

Otimização múltipla do fitness – stress e material



(a) Normalised Average of Beams Used



(b) Normalised Average of Stress

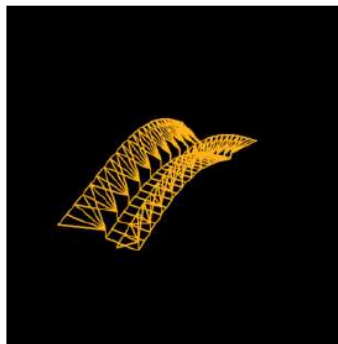




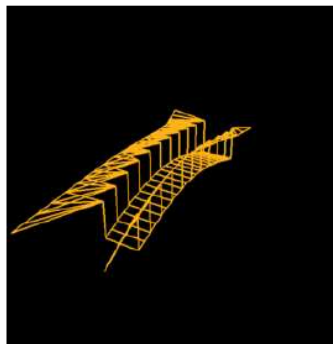
## Computação evolutiva e design de arquitetura

### Evolução de designs estruturais de acordo com a sua capacidade de lidar com contingências físicas

Múltiplas soluções possíveis



(a)



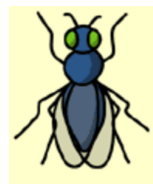
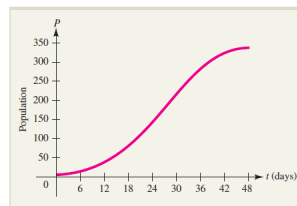
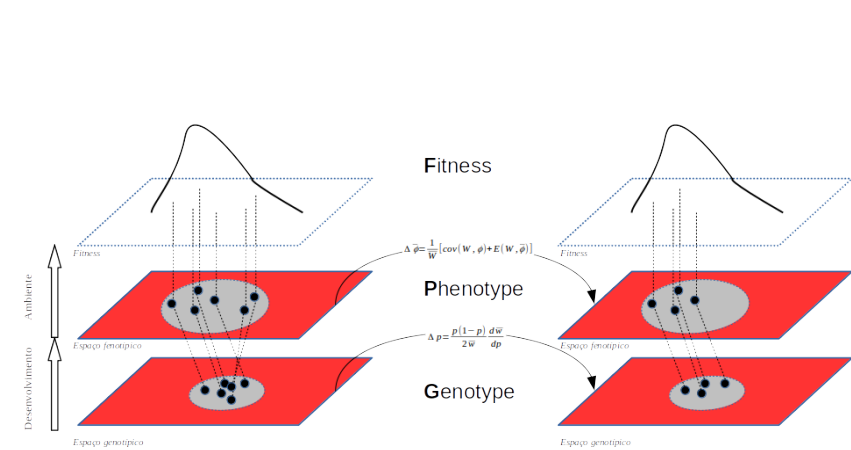
(b)



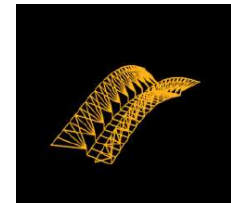
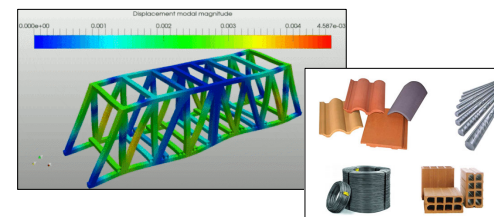
(c)



# Adaptação como processo de otimização



TAAAAGGATCT  
TAAAAGGATCT



200 43 09 36 101 94



## 5. Evolução em computação e engenharia

Questões

