

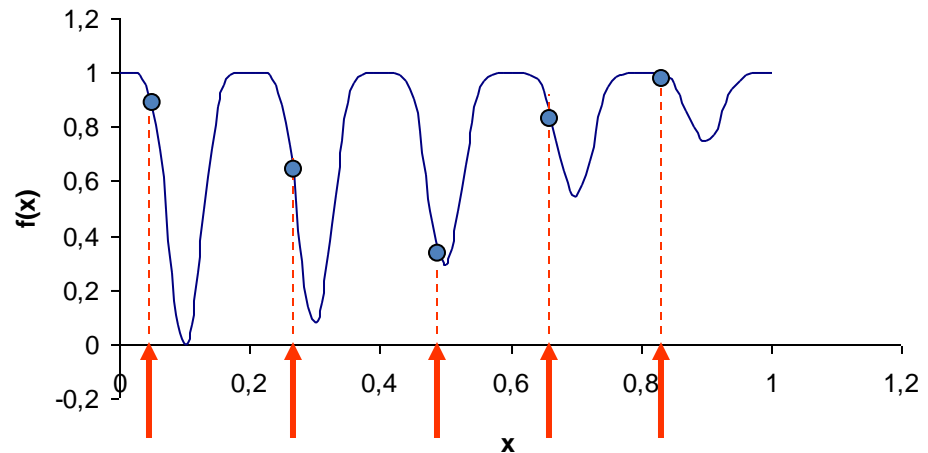
# **Algoritmos evolutivos**

- **Principais conceitos**
- **Algoritmos Genéticos**
- **Estratégias Evolutivas**
- **Exemplos ilustrativos e de aplicação**
- **Utilização do software OTIMIZA**

# Computação evolutiva

- Algoritmos genéticos (AG)
- Estratégias evolutivas (EE) - Algoritmos Evolutivos (AE)

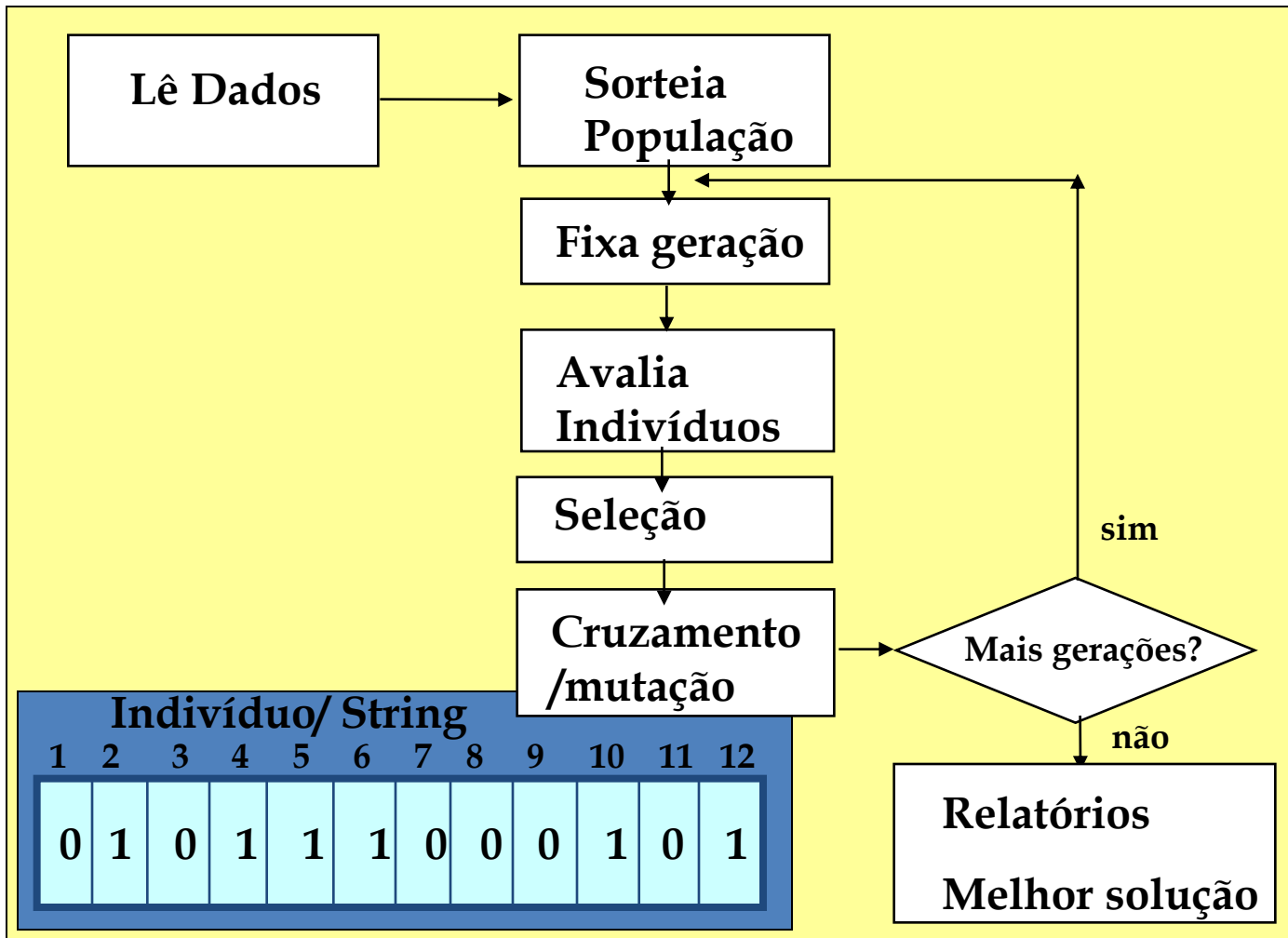
- Indivíduo
- População
- Seleção
- Reprodução
- Mutação



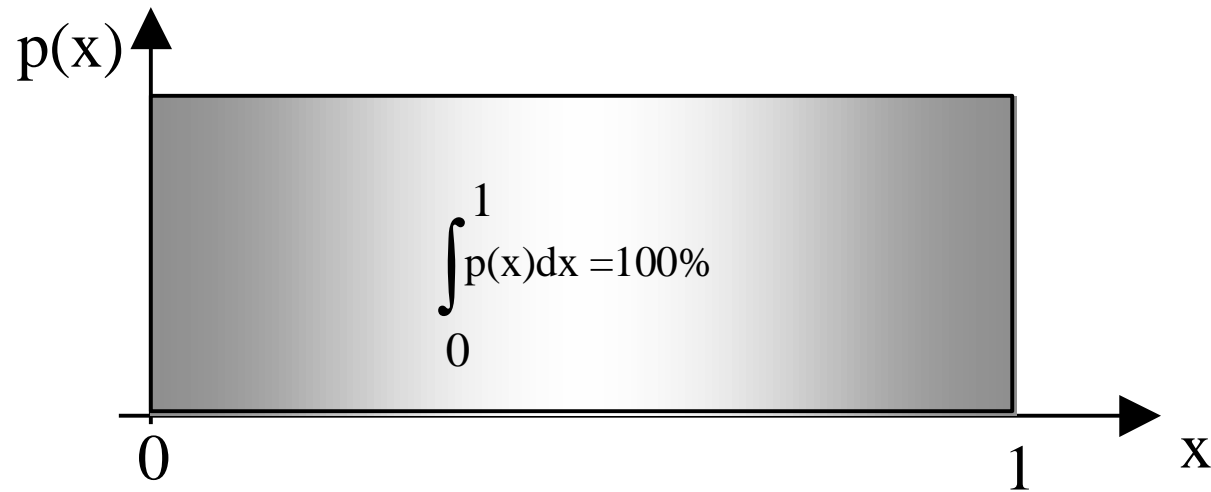
# Bases de Algoritmos Genéticos

- Codificação do conjunto de parâmetros
- Desenvolvimento a partir de uma população de soluções alternativas
- Utilização de informação da função objetivo
- Regras de transição probabilísticas para busca no espaço de soluções.

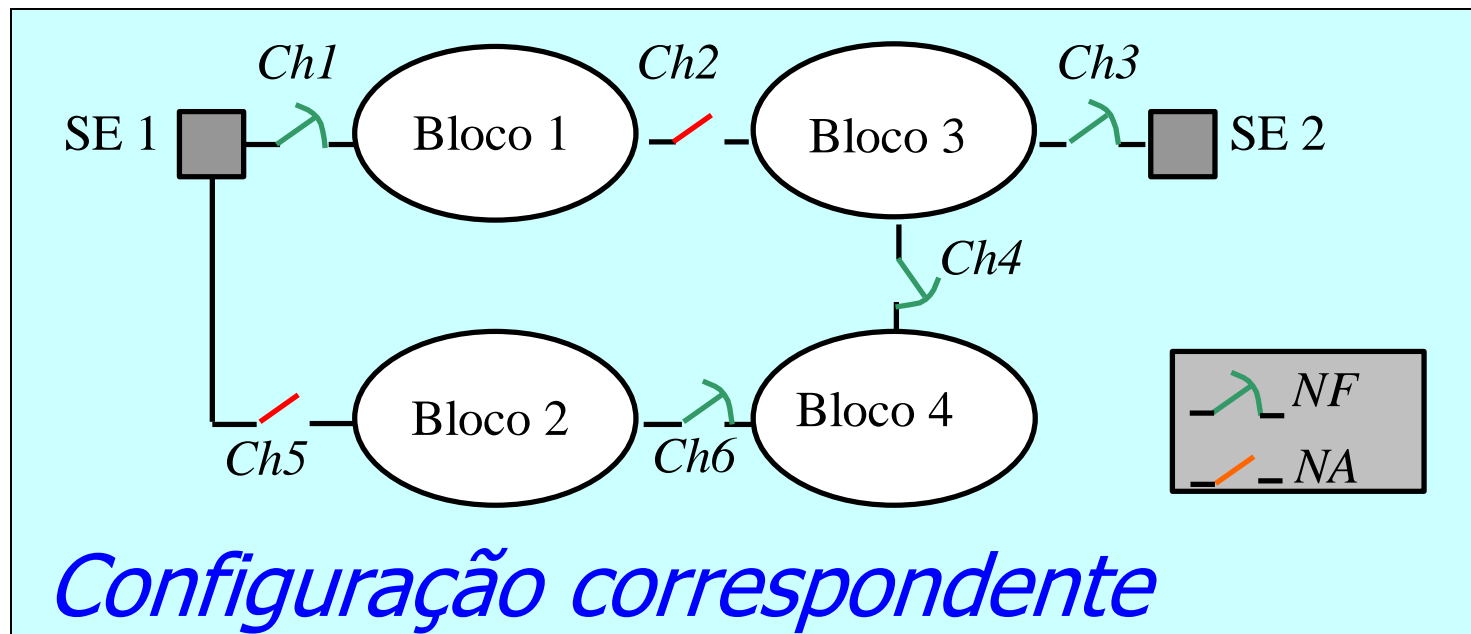
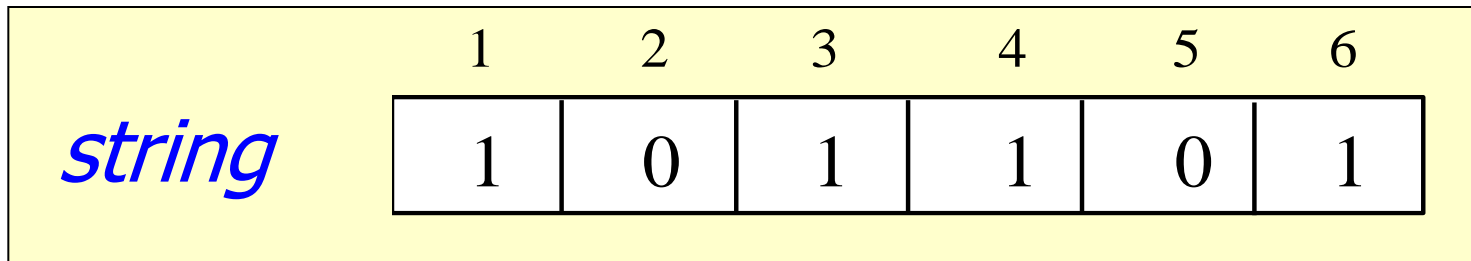
# Algoritmo Básico



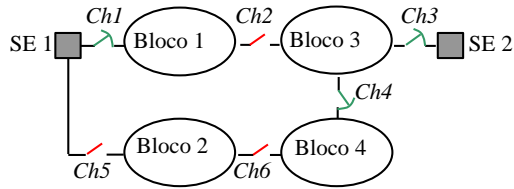
# Distribuição uniforme / sorteios



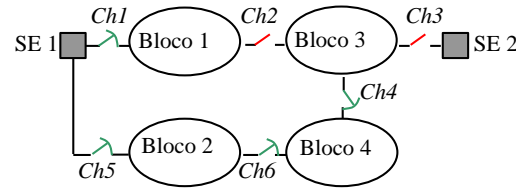
# Exemplo - Codificação String



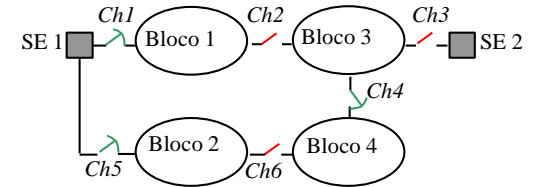
# Configurações iniciais – sorteio



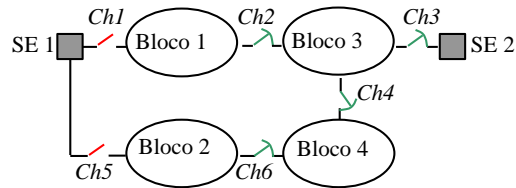
1	2	3	4	5	6
1	0	1	1	0	1



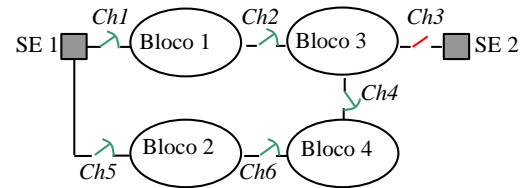
1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	1	1



1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	1	0



1	2	3	4	5	6
0	1	1	1	0	1

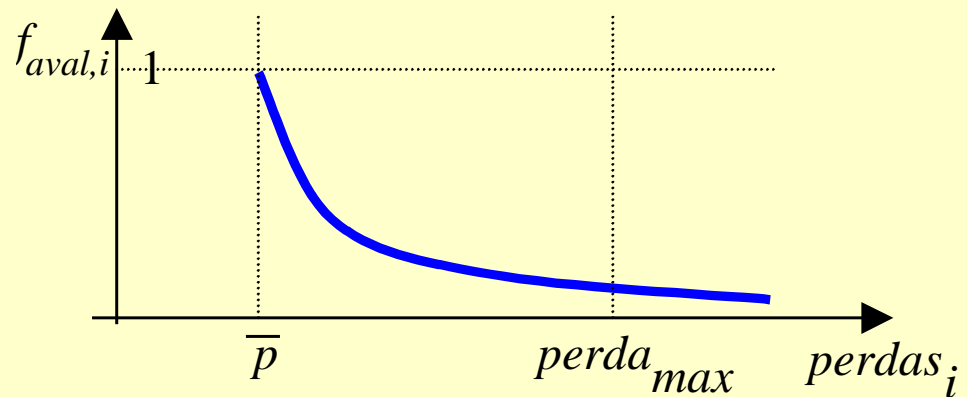


1	2	3	4	5	6
1	1	0	1	1	1

# Função de Avaliação

- Exemplo sem restrições:

$$f_{aval,i} = \frac{\bar{p}}{perdas_i}$$



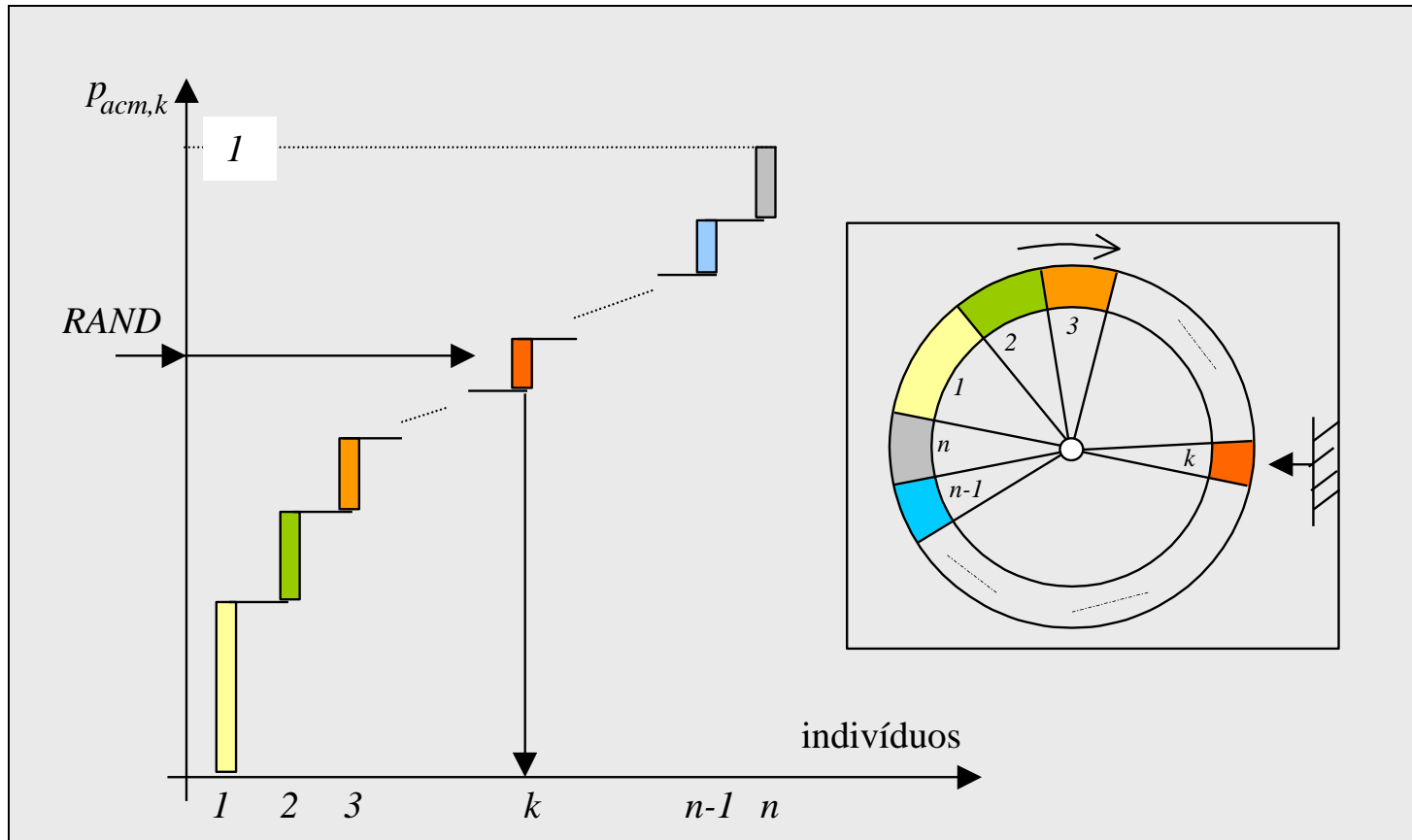
com restrições:

$$f_{aval,i} = \frac{\bar{p}}{perdas_i + r.Penal_i} \quad Penal_i = \sum_{j=1}^n \left\{ \max[0, h_j(\mathbf{x})] \right\}^k$$

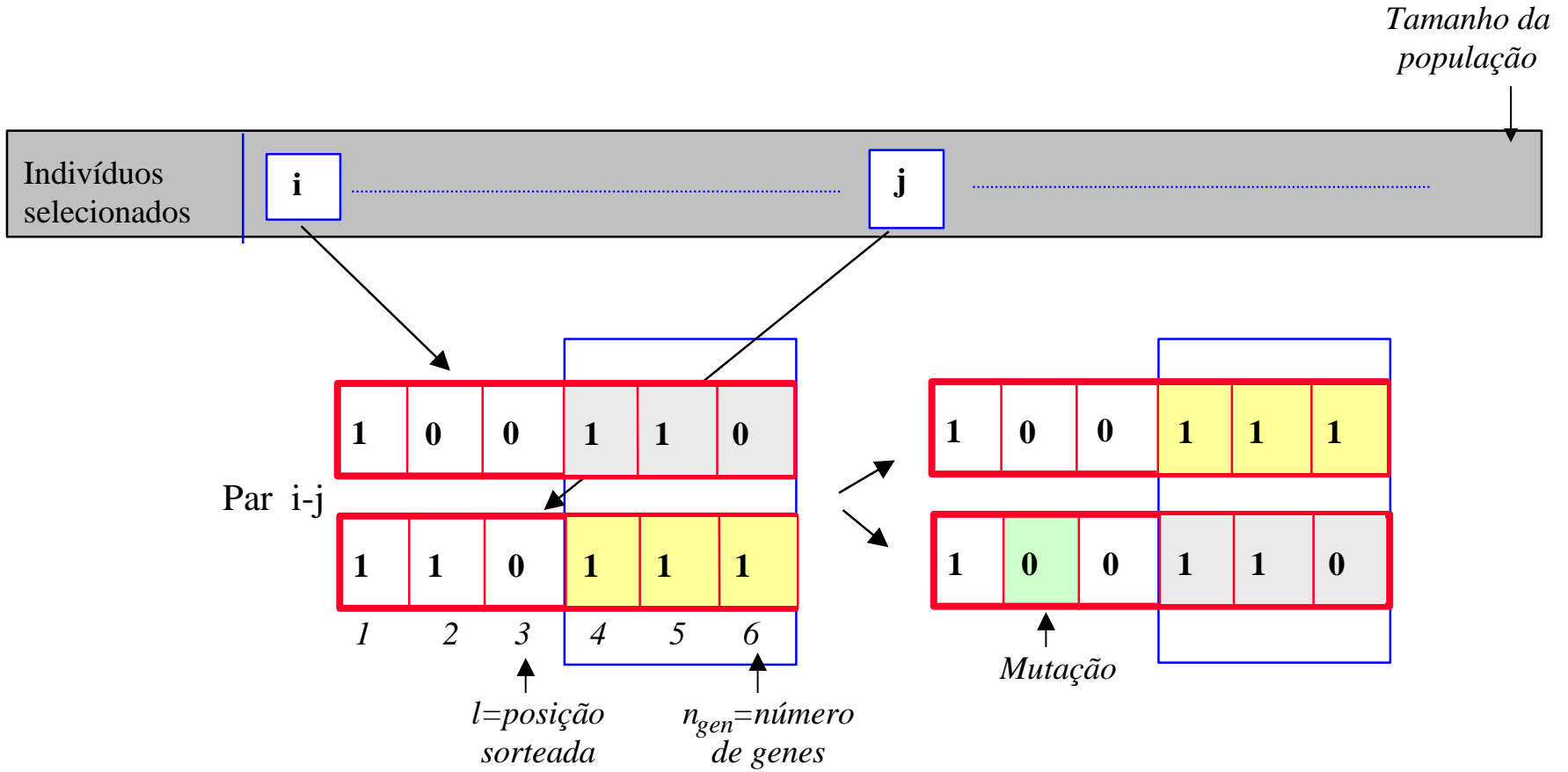


# Reprodução / seleção

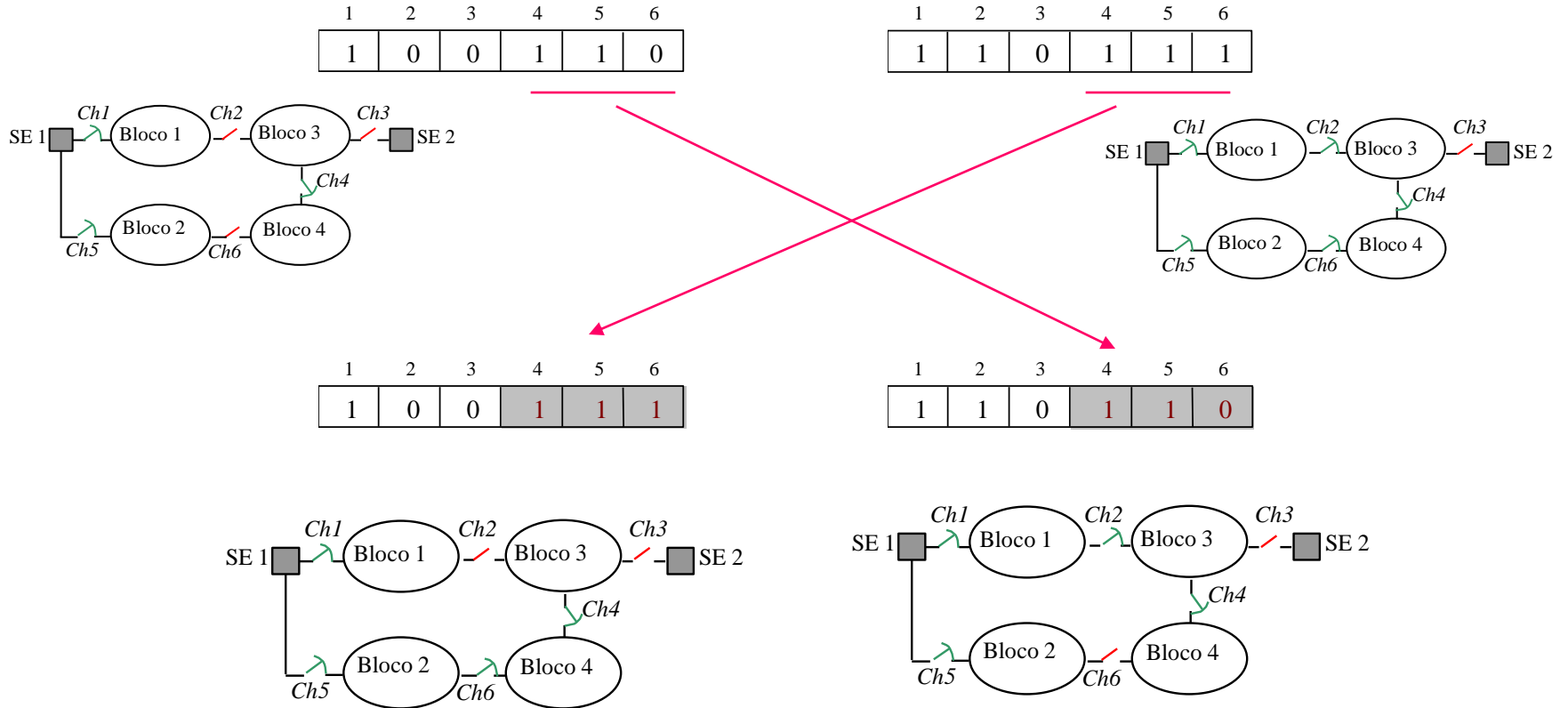
## Método da roleta:



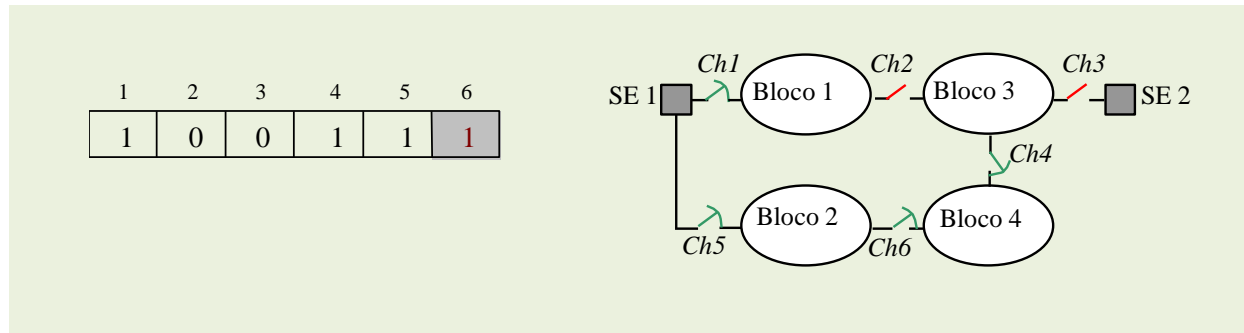
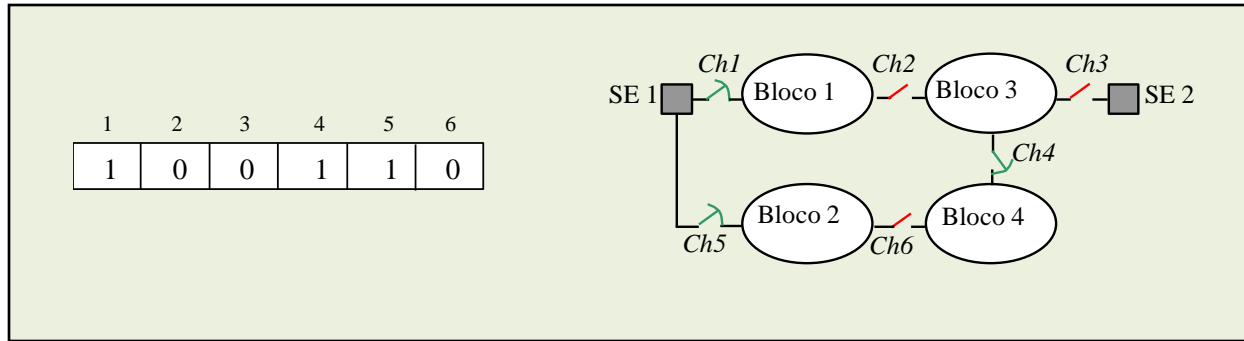
# Cruzamento e Mutação



# Cruzamento na população - exemplo



# Mutação do indivíduo 3 (exemplo)



# Minimização Perdas por AG

OTIMIZA: Métodos de Otimização Aplicados a Estudo de Sistemas Elétricos

Estudo Telas Ajuda

OTIMIZAÇÃO: Rede1.txt

Rede Otimizada Rel. Perdas Rel. Fluxo de Potência Rel. Alg.Genético Erros

zoom gráfico eqptos cancela zoom zoom anterior salvar gráfico

OTIMIZAÇÃO: Rede1.txt

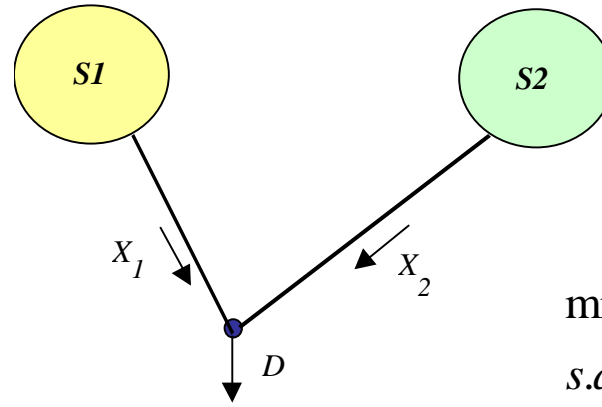
Rede Otimizada Rel. Perdas Rel. Fluxo de Potência Rel. Alg.Genético Erros

Grava Imprime Localiza

Algoritmo Genético: relação dos melhores indivíduos de cada geração

Geração	F. Objetivo	Penalização	máximo	mínimo	médio	desvi.
1	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	0.4324203	0.0000000
2	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	0.8859093	0.0000000
3	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	1.3941735	0.0000000
4	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	2.4836186	0.0000000
5	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	3.6327306	0.0000000
6	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.1028454	0.0000000
7	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.1845493	0.0000000
8	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	3.7407464	0.0000000
9	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.2305879	0.0000000
10	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.1888999	0.0000000
11	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	3.6681045	0.0000000
12	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.5022541	0.0000000
13	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.3835736	0.0000000
14	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	3.9280026	0.0000000
15	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.0937556	0.0000000
16	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.3600373	0.0000000
17	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.6552398	0.0000000
18	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.4360305	0.0000000
19	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.7611529	0.0000000
20	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.6841605	0.0000000
<ALFA>	67.95	13.00	5.0264354	0.0000000	4.6841605	0.0000000

# Exemplos ilustrativos

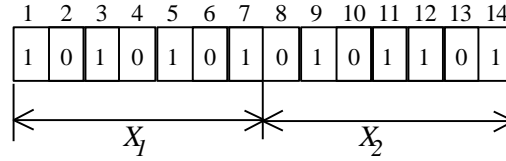


$$\min p_{tot} = r_1 X_1^2 + r_2 X_2^2$$
$$s.a. \quad X_1 + X_2 \geq D$$

$$\min p_{tot} = r_1 X_1^2 + r_2 (D - X_1)^2 = (r_1 + r_2) X_1^2 - 2r_2 D X_1 + r_2 D^2$$

$$X_1 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} D; \quad X_2 = \frac{r_1}{r_1 + r_2} D \text{ e } p_{tot} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} D^2$$

# Resolução por AG

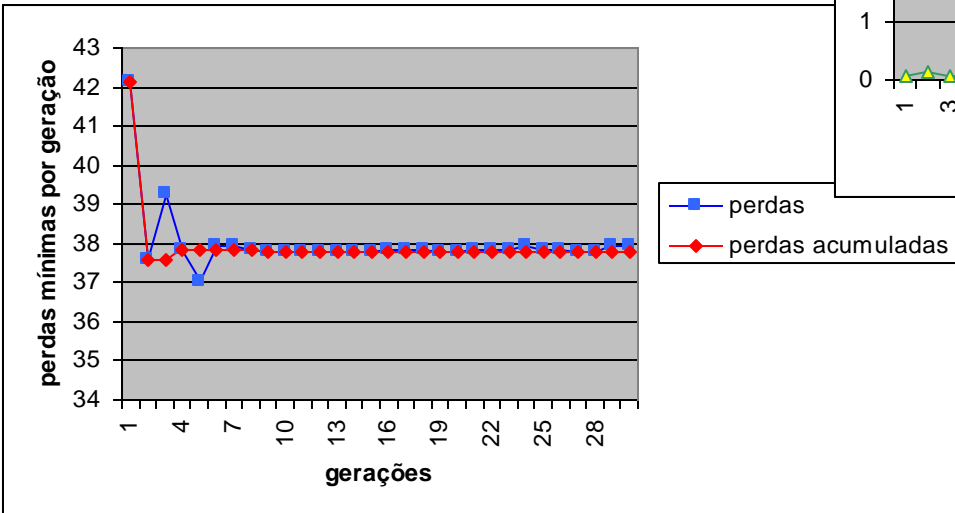
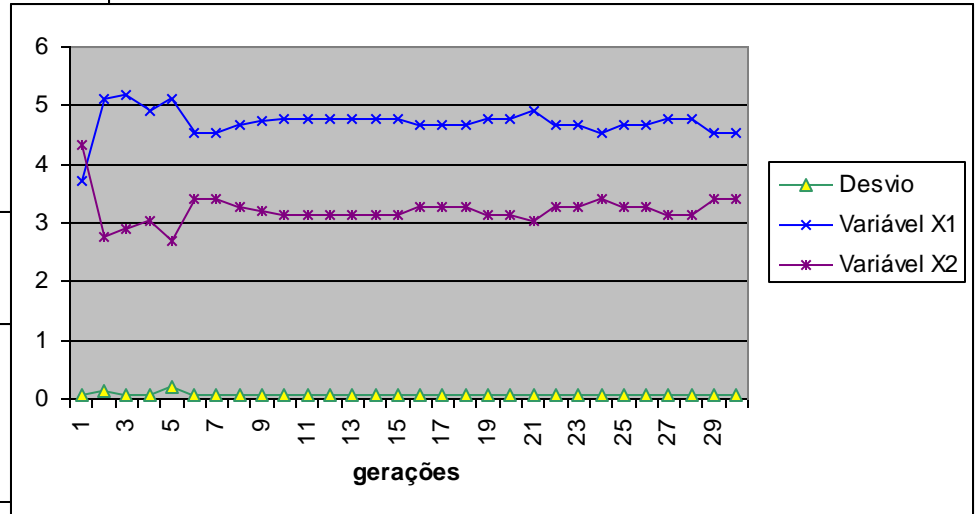
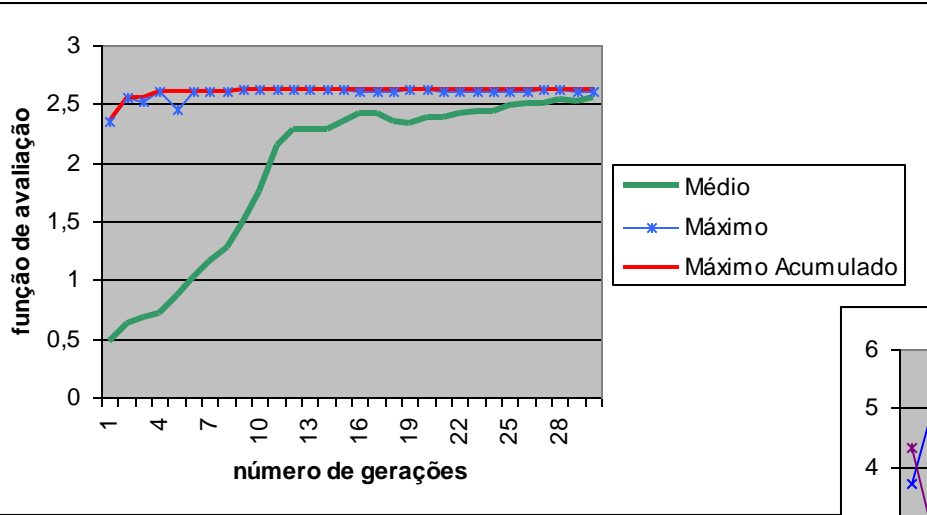


$$X_{1,i} = \frac{(2^0 \text{bit}_{i,1} + 2^1 \text{bit}_{i,2} + 2^2 \text{bit}_{i,3} + 2^3 \text{bit}_{i,4} + 2^4 \text{bit}_{i,5} + 2^5 \text{bit}_{i,6} + 2^6 \text{bit}_{i,7})}{(2^7 - 1)} X_{\max}$$

$$X_{2,i} = \frac{(2^0 \text{bit}_{i,8} + 2^1 \text{bit}_{i,9} + 2^2 \text{bit}_{i,10} + 2^3 \text{bit}_{i,11} + 2^4 \text{bit}_{i,12} + 2^5 \text{bit}_{i,13} + 2^6 \text{bit}_{i,14})}{(2^7 - 1)} X_{\max}$$

$$f_{obj,i} = r_1 X_{1,i}^2 + r_2 X_{2,i}^2 + r \left\{ \max[0, (D - X_{1,i} - X_{2,i})] \right\}^2$$

# Resolução AG

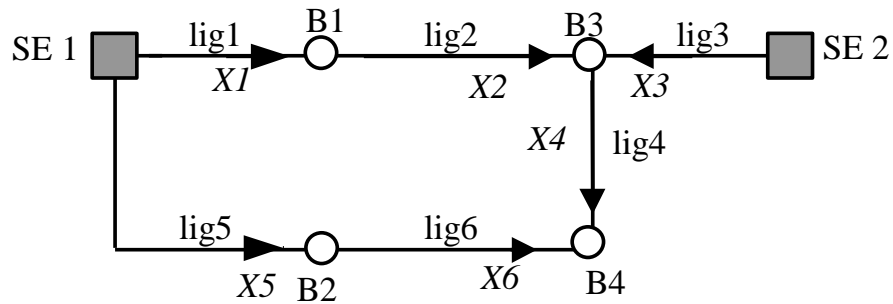




# Resolução AG

Método Utilizado	Variável $X_1$		Variável $X_2$		Variável $p_{tot}$	
	(pu)	erro (%)	(pu)	erro (%)	(pu)	erro (%)
Exato	0,0480	0	0,0320	0	0,00384	0
PL – aproximação 1	0,0800	66,7	0,0000	100	0,00640	66,7
PL – aproximação 2	0,0400	16,7	0,0400	25,0	0,00400	4,2
AG	0,0479	0,2	0,0315	1,6	0,00378	1,6

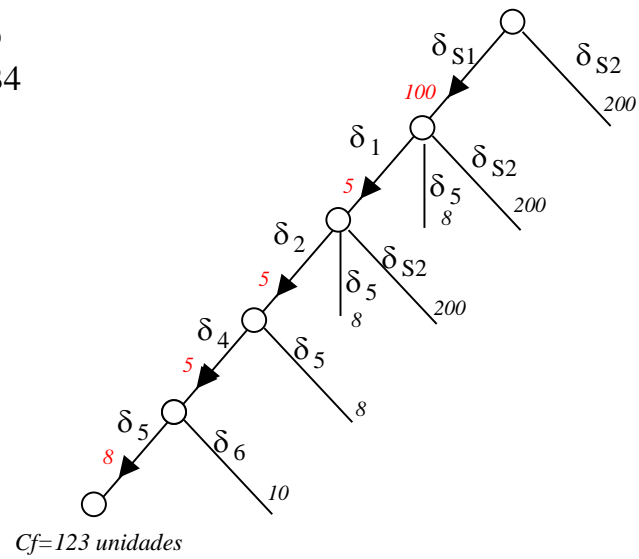
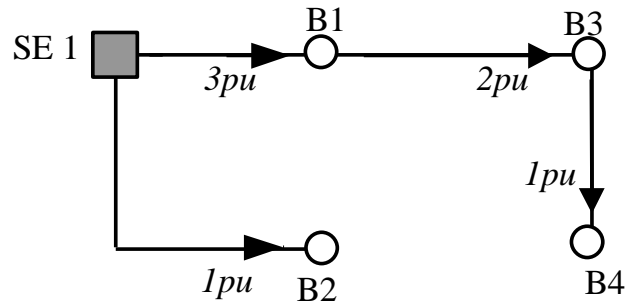
# Exemplo 2



$$\min C_f = \min \left( \sum_{i=1}^6 C_i \delta_i + \sum_{j=1}^2 C_{sj} \delta_{sj} \right)$$

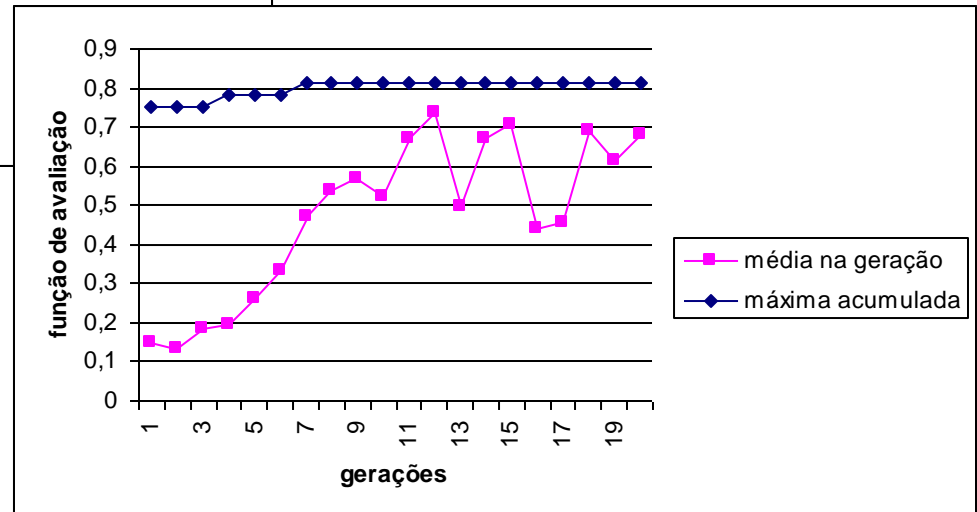
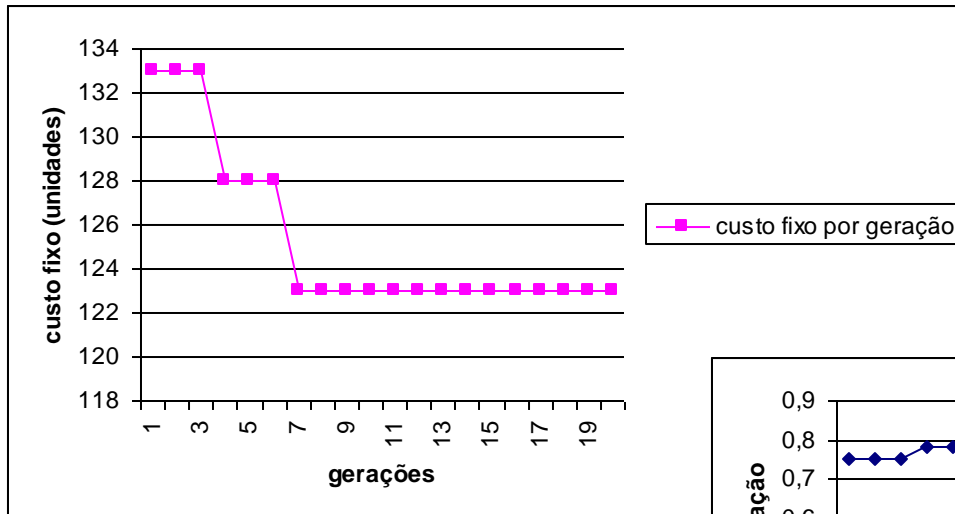
$$\begin{aligned} \text{s.a.} \quad X_1 - X_2 &= D_1 \\ X_5 - X_6 &= D_2 \\ X_2 + X_3 - X_4 &= D_3 \\ X_4 + X_6 &= D_4 \\ X_i - M\delta_i &\leq 0, \quad i = 1, \dots, 6 \\ X_1 + X_5 - M\delta_{s1} &\leq 0 \\ X_3 - M\delta_{s2} &\leq 0 \\ \delta_i, \delta_{sj} &\in \{0, 1\} \end{aligned}$$

# Exemplo 2

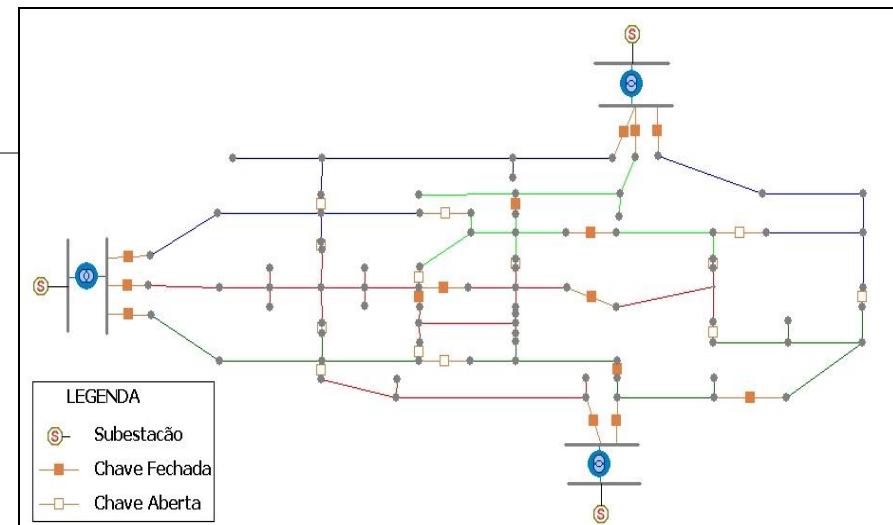
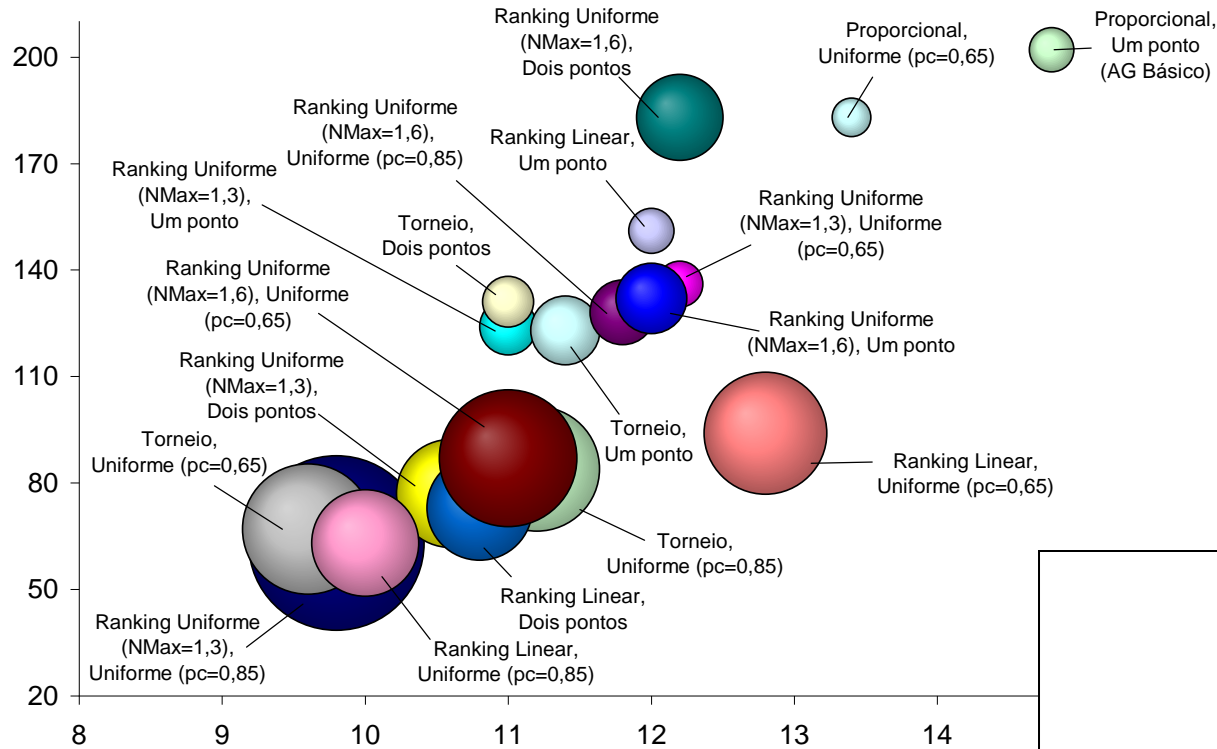


# Exemplo 2 – por AG

$$f_{obj,i} = C_{f,i} + r.penal_i$$

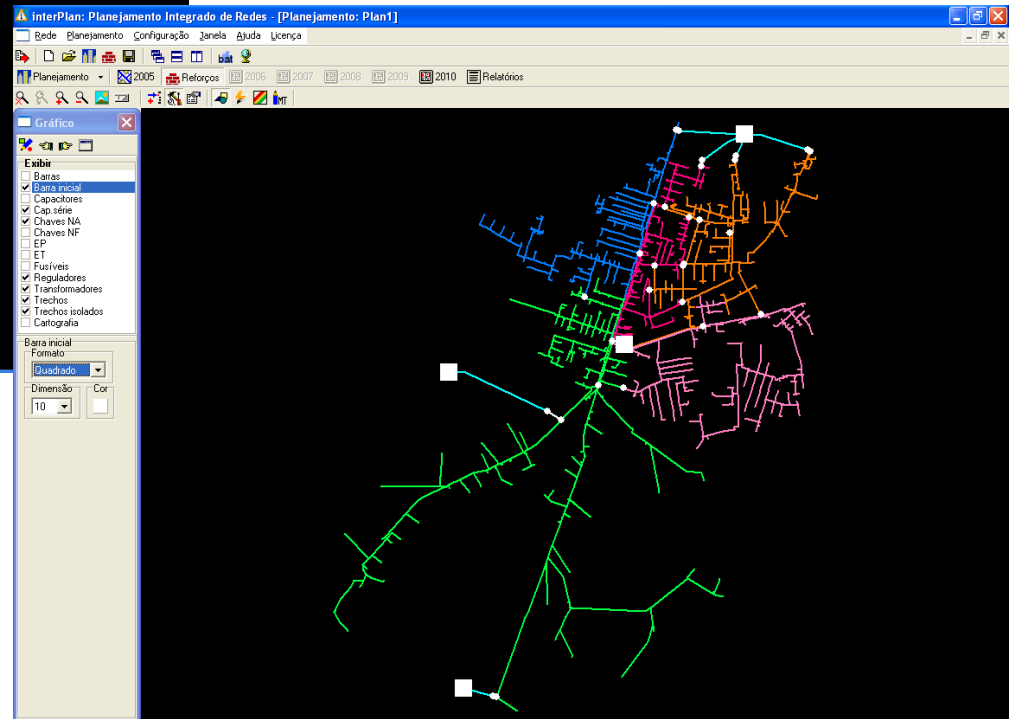
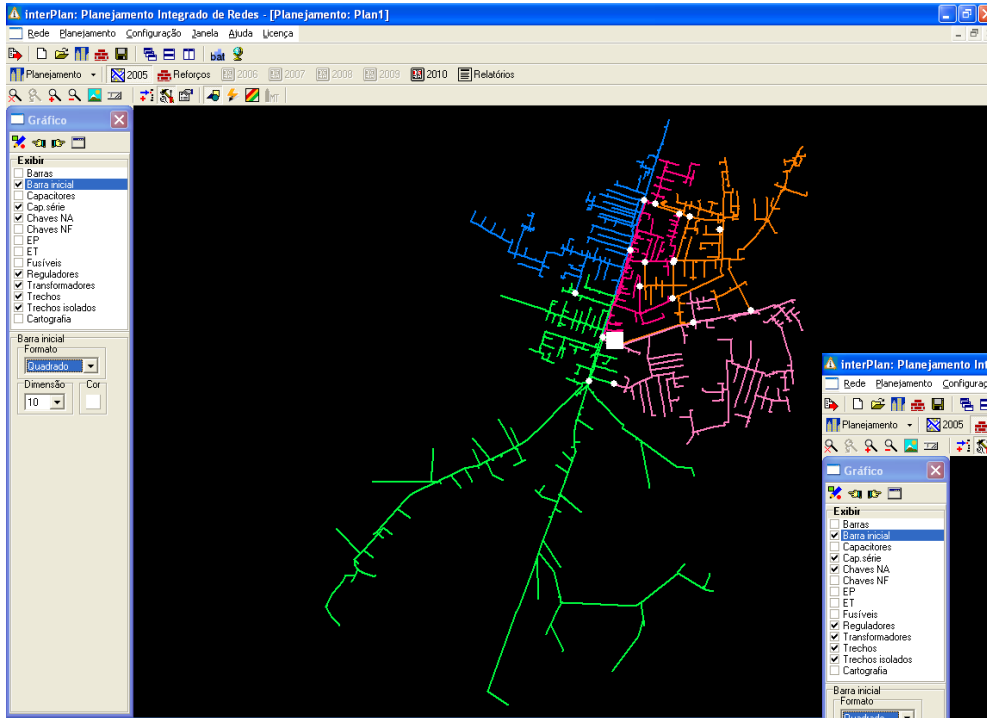


# Minimização Perdas por AG – testando variantes...



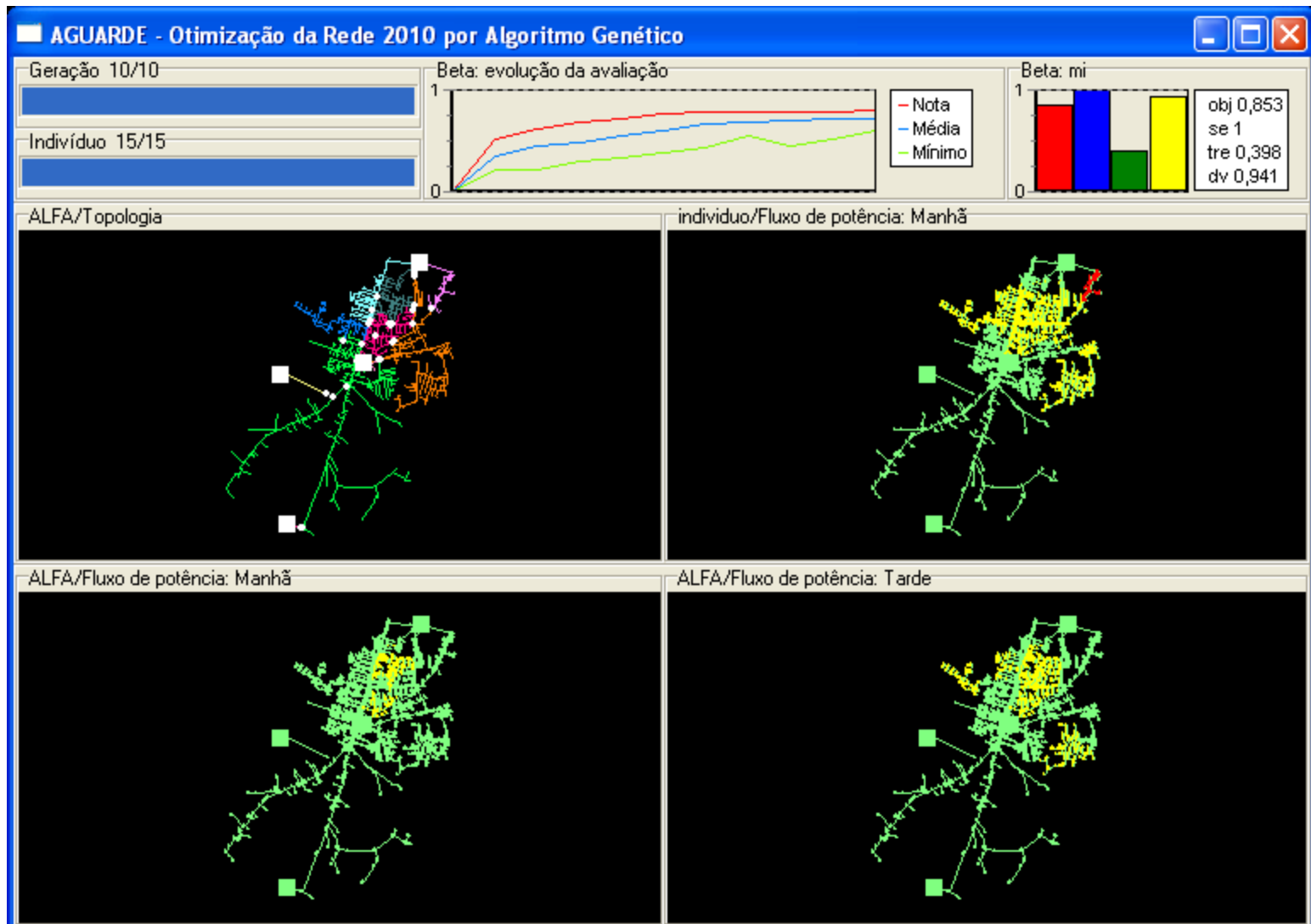
# Planejamento Expansão - AG

Configuração  
← ano inicial

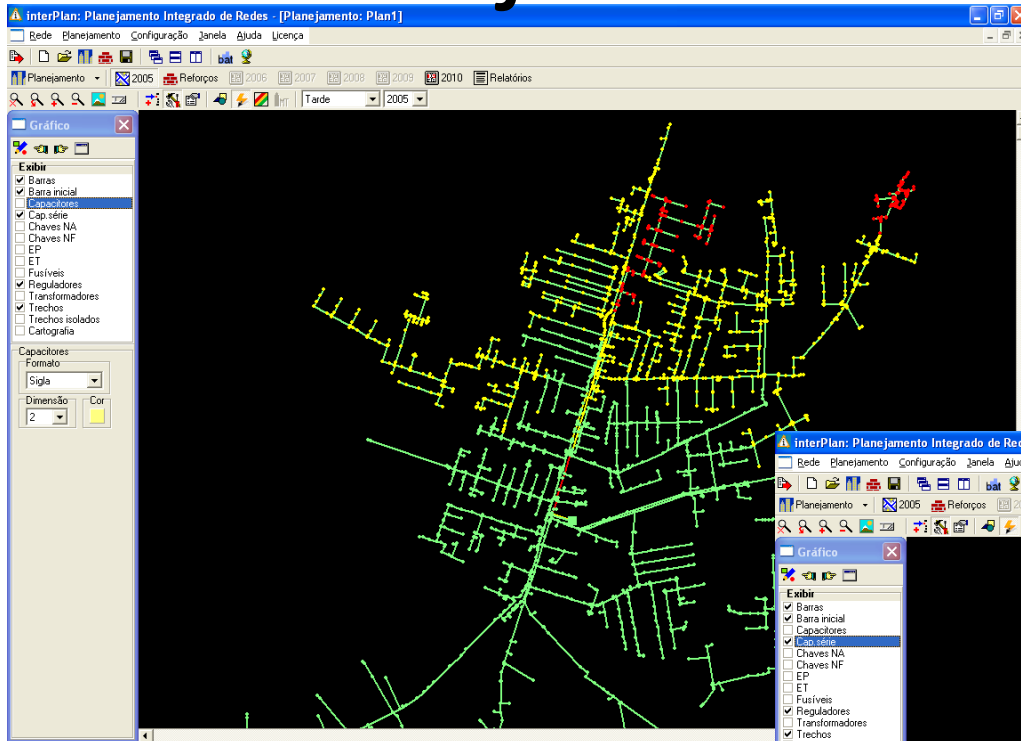


Reforços propostos →

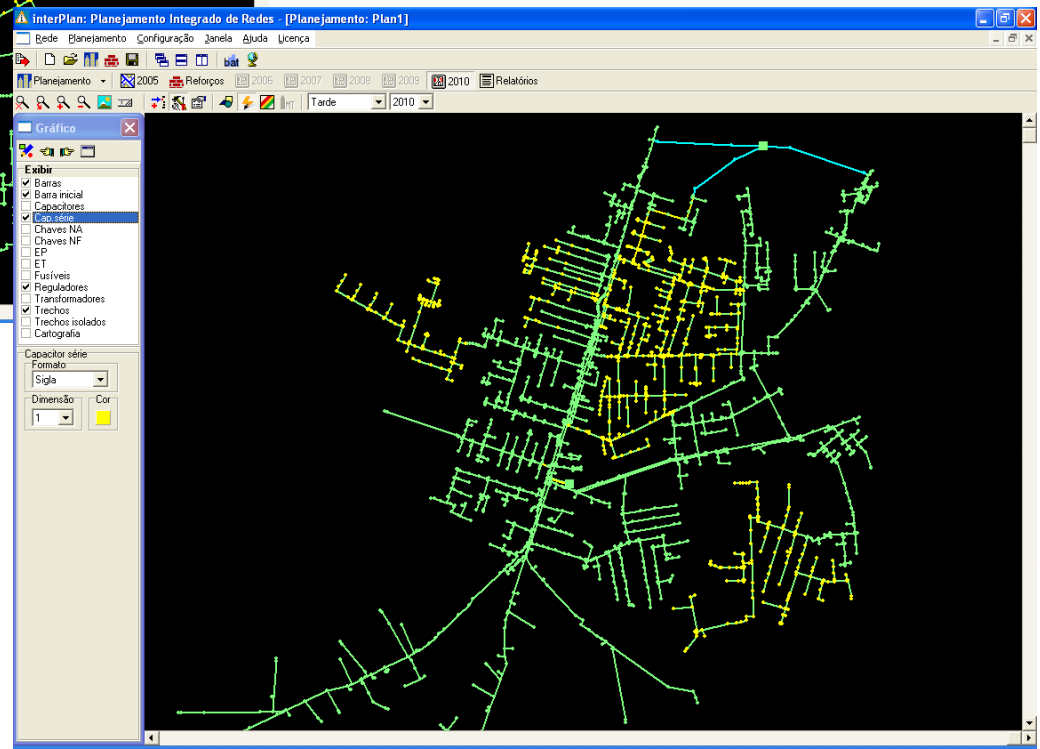
# Planejamento Expansão - AG



# Planejamento Expansão - AG



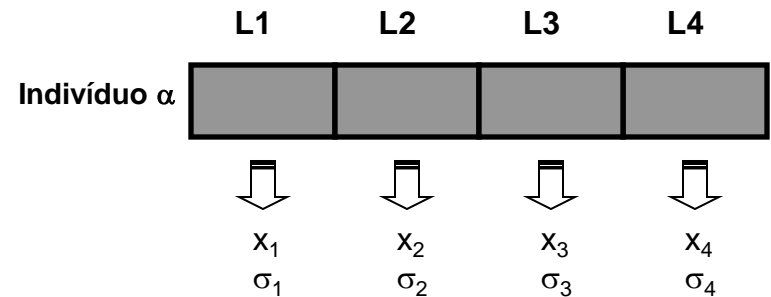
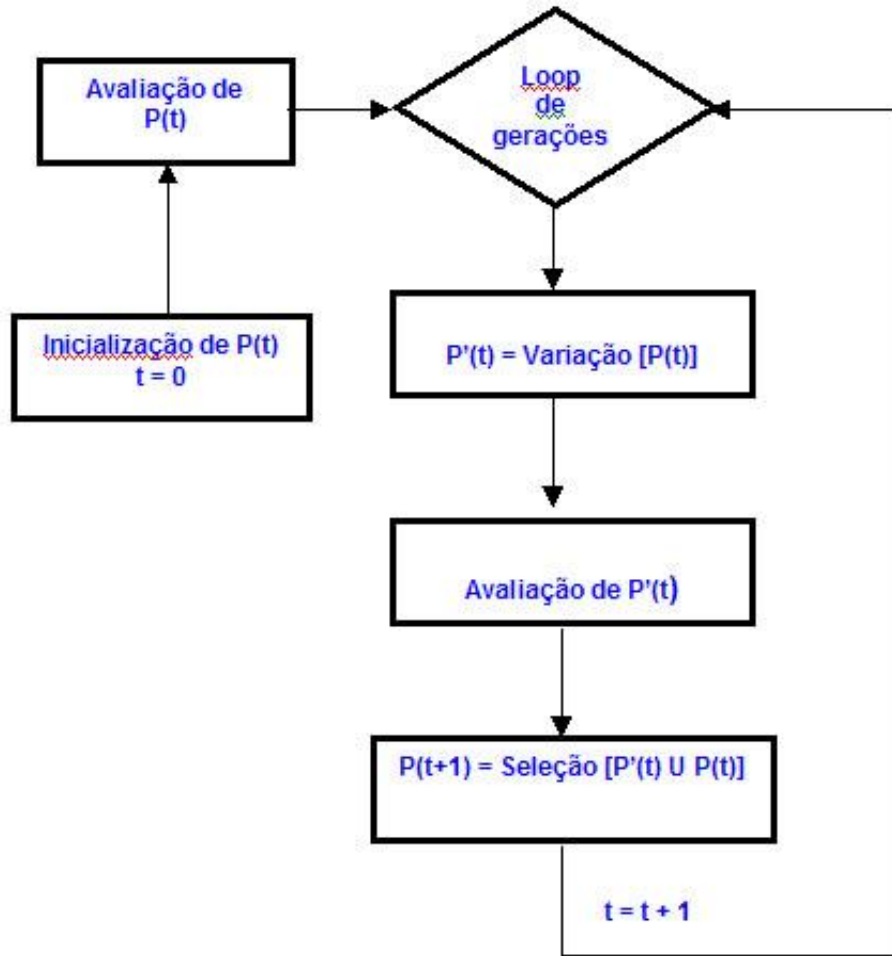
Sem obras  
← em 2010



Com reforços →

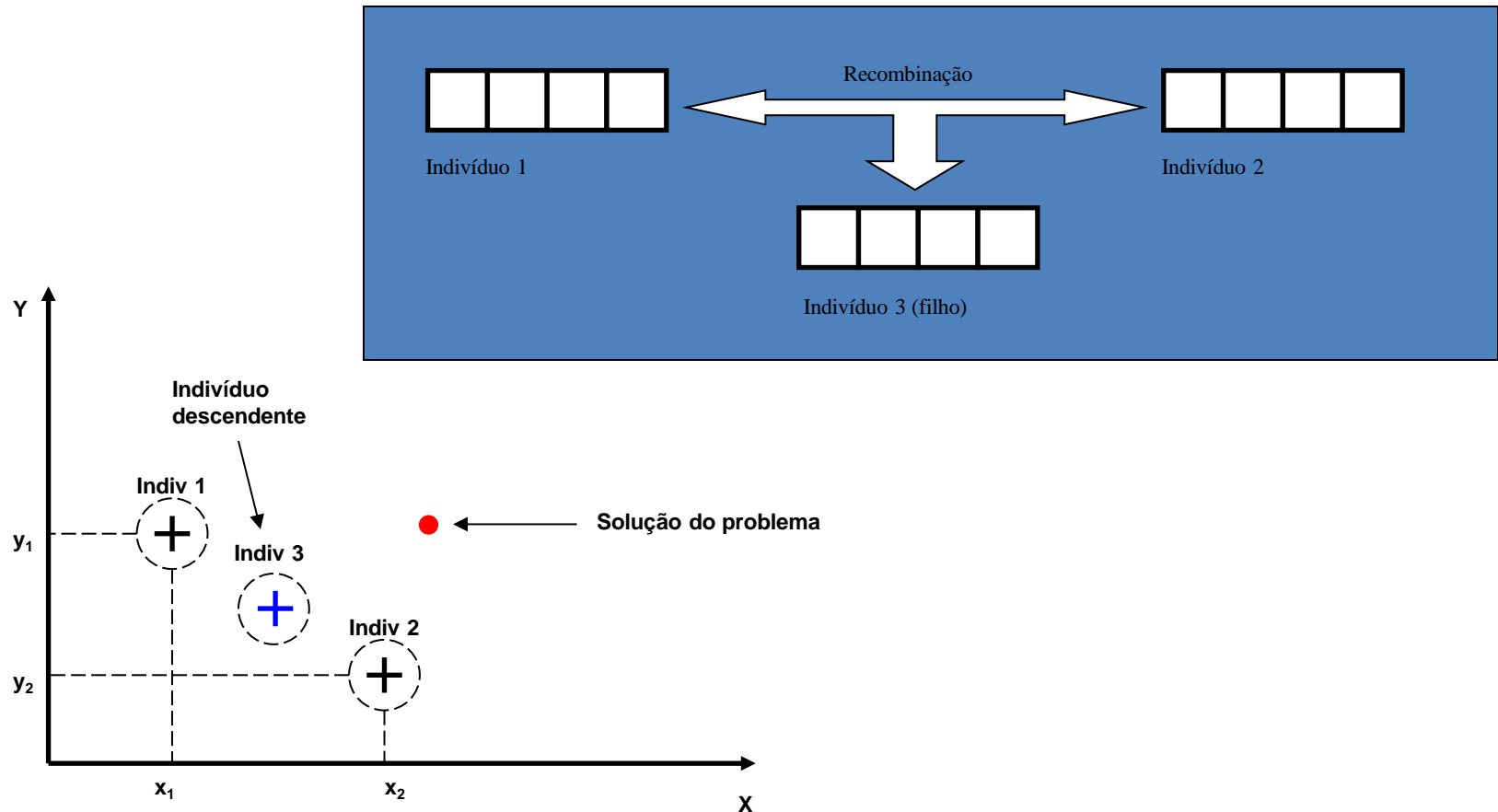


# Estratégias evolutivas (EEs)



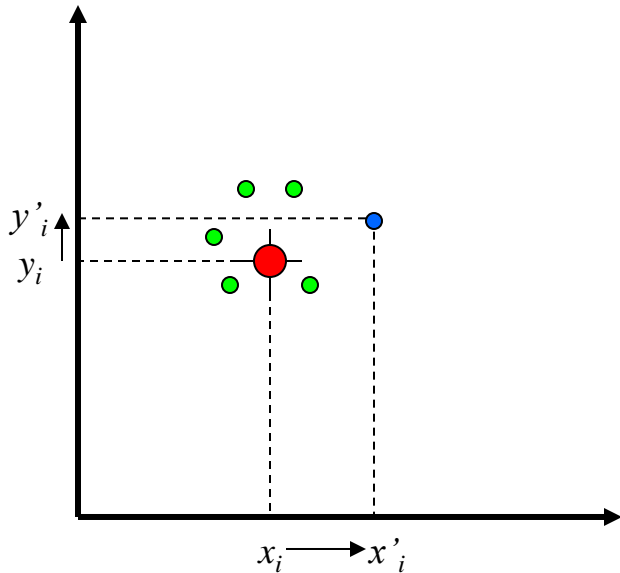
# Variação da População em EE

- Recombinação



# Variação da População em EE

- Mutação



$$x'_i = x_i + \sigma \cdot N_i(0,1)$$

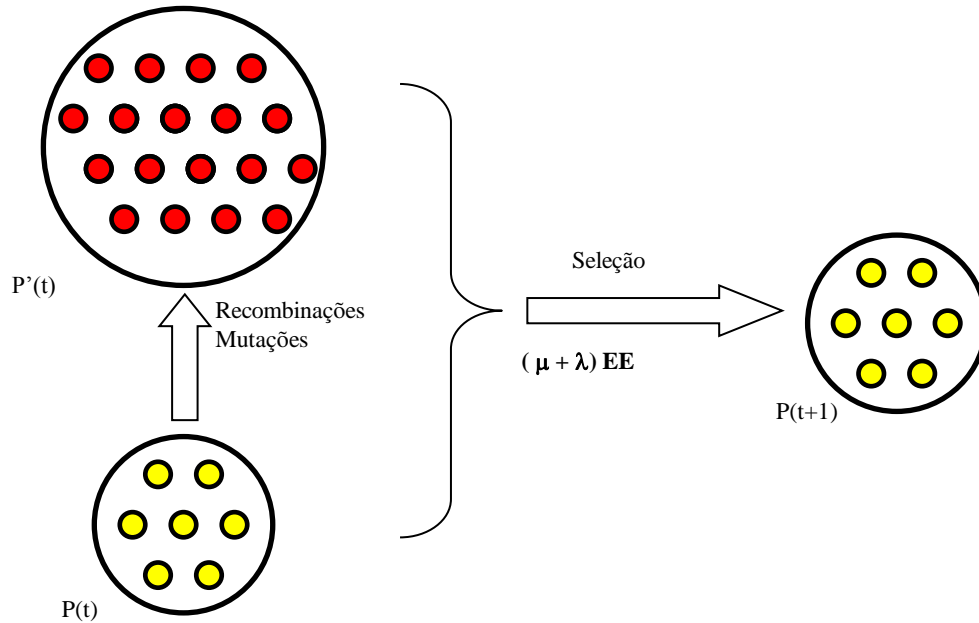
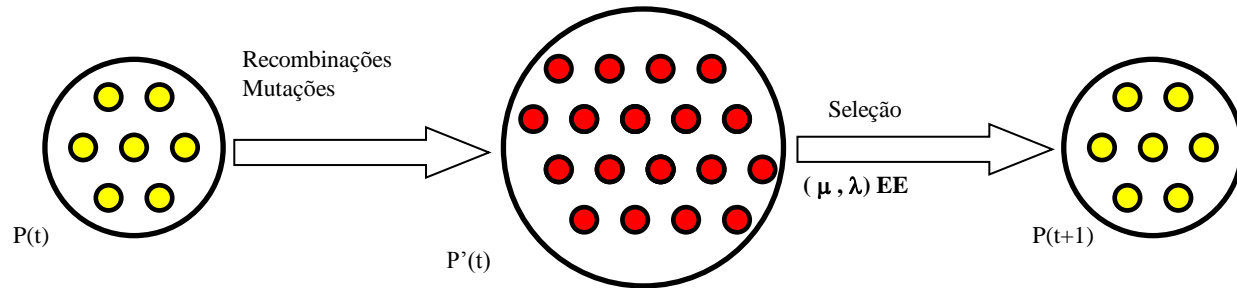
- Mutação com auto-adaptaç o

$$x'_i = x_i + \sigma'_i \cdot N_i(0,1)$$

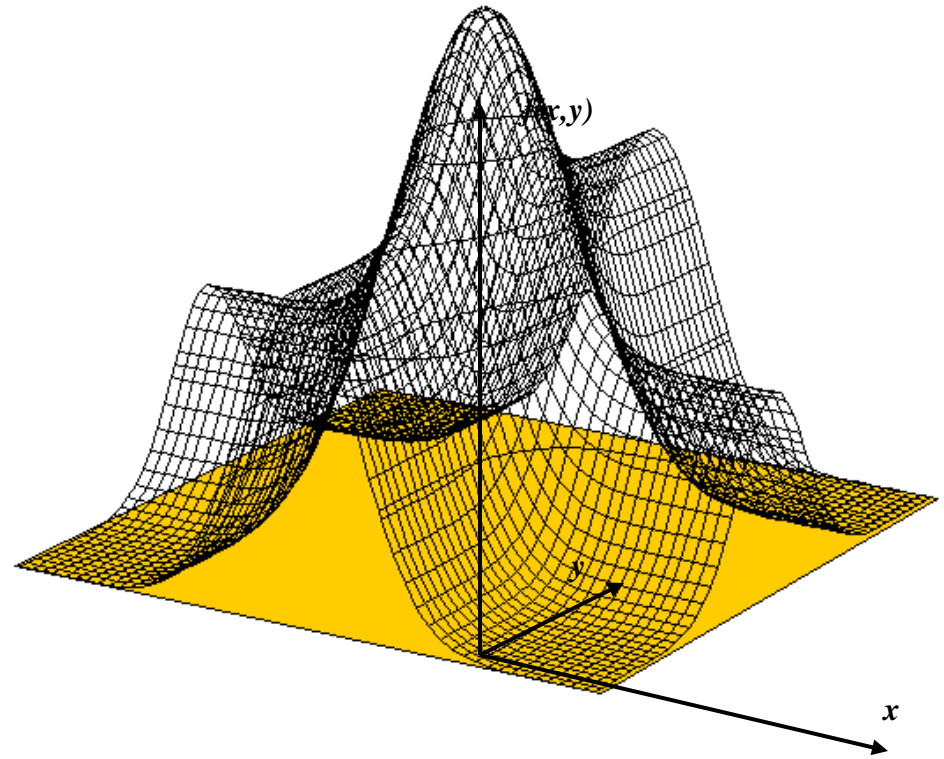
$$\sigma'_i = \sigma_i \cdot \exp(\tau' \cdot N(0,1) + \tau \cdot N_i(0,1))$$

$\tau', \tau$  – taxas de aprendizado  $\propto 1/\sqrt{2n}, 1/\sqrt{2\sqrt{n}}$

# Seleção em EEs



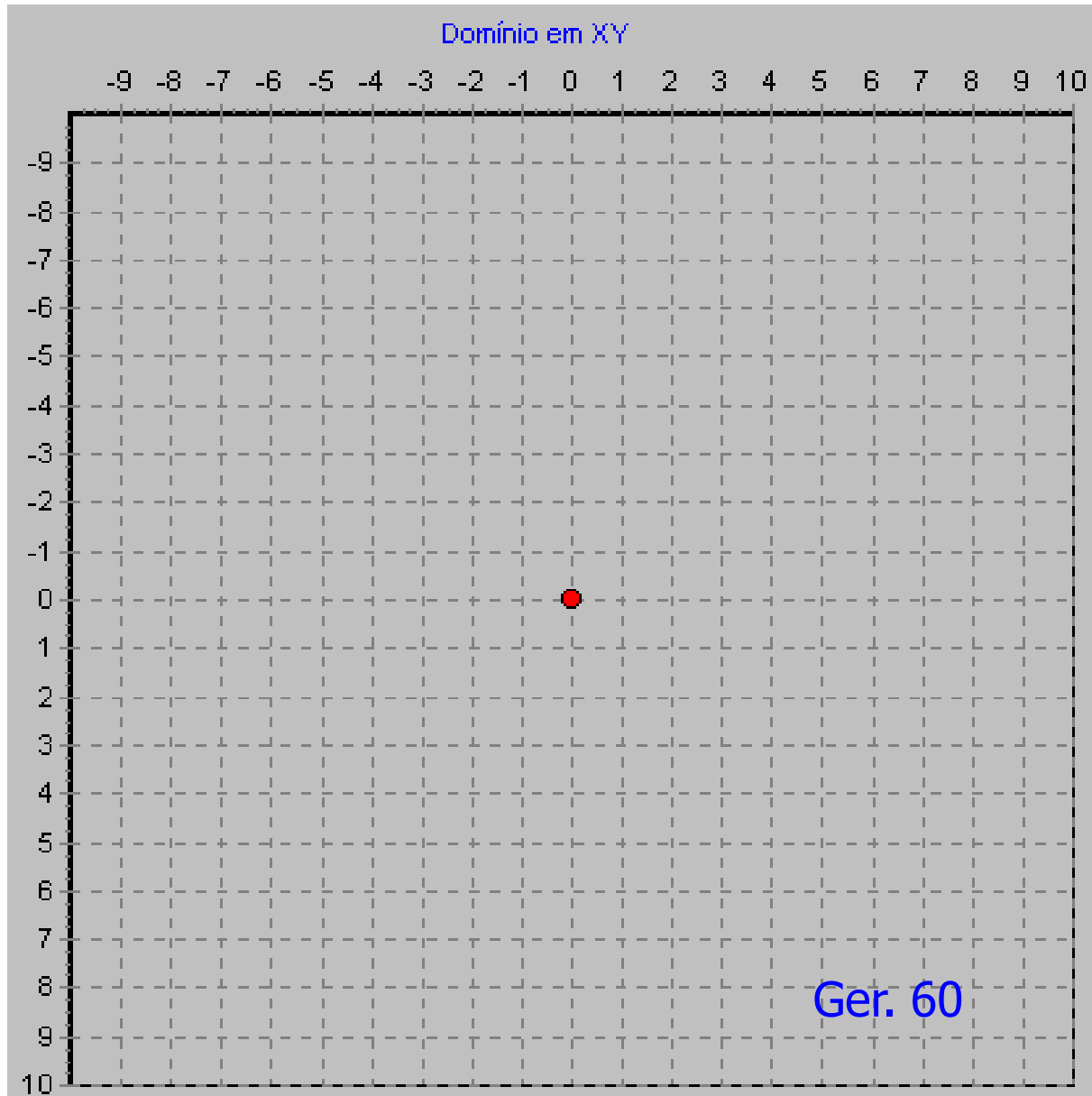
# Exemplo de AE



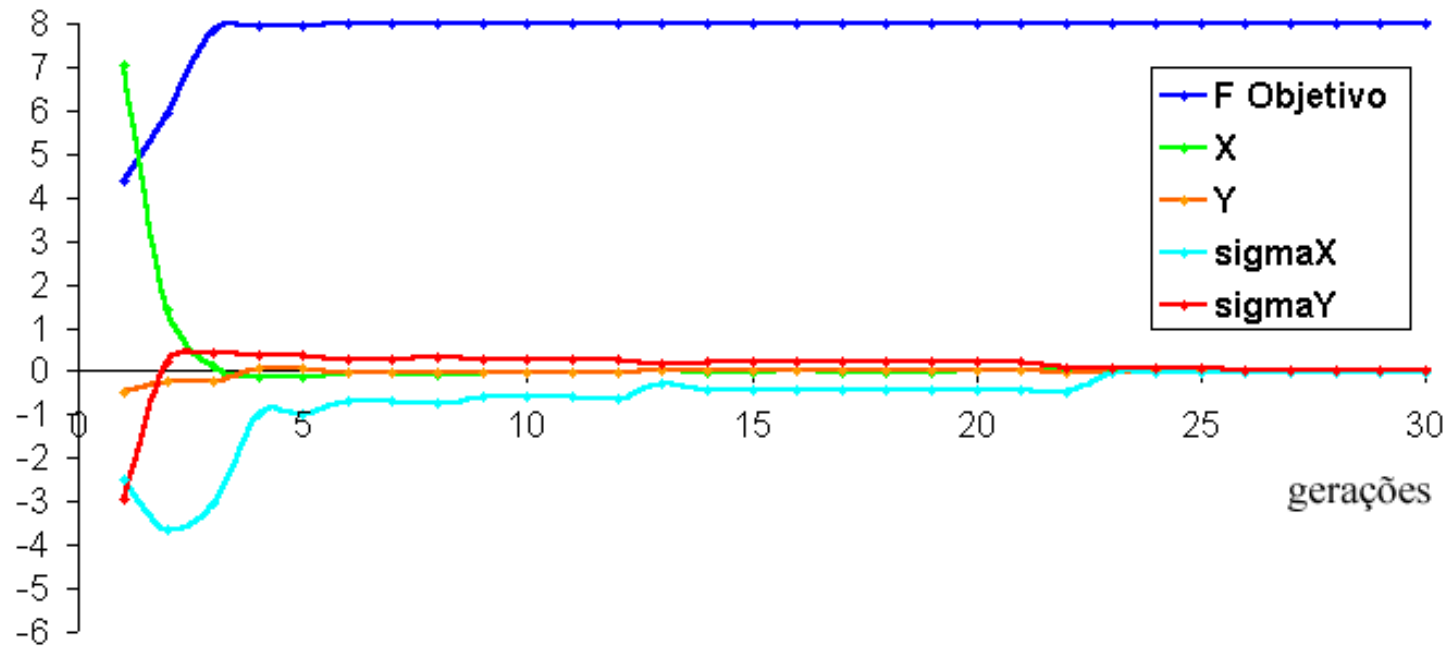
- Maximizar a função:

$$f(x, y) = 5 \cdot e^{(-y^2/2)} + 3 \cdot e^{(-x^2/2)}$$

# Evolução - gerações



# Evolução - gerações



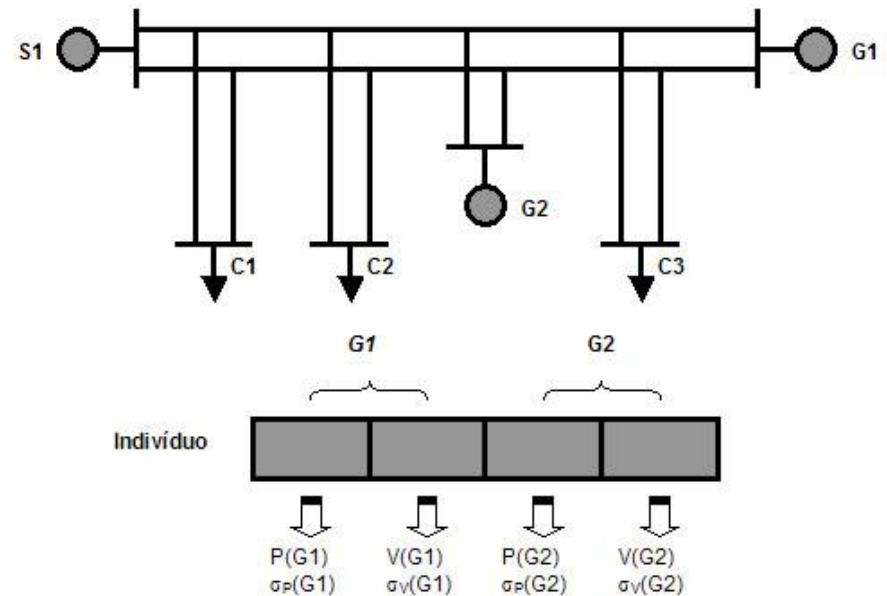
# Algumas aplicações de AEs

- Otimização do despacho de unidades de geração distribuída (GD) e regulação da tensão
- Fluxo de potência convencional



# Otimização do Despacho e Regulação de Tensão de GD

- Operação do sistema com mínimos custos operacionais
- Atendimento a critérios técnicos de carregamento e tensão na rede
- Ajuste nas unidades de geração distribuída:
  - Potência ativa
  - Nível de tensão



# Modelo Matemático

## PNL

$$\min f(\tilde{x}, \tilde{u})$$

s.a.

$$\tilde{g}(\tilde{x}, \tilde{u}) = 0$$

$$\tilde{x}_{\min} \leq \tilde{x} \leq \tilde{x}_{\max}$$

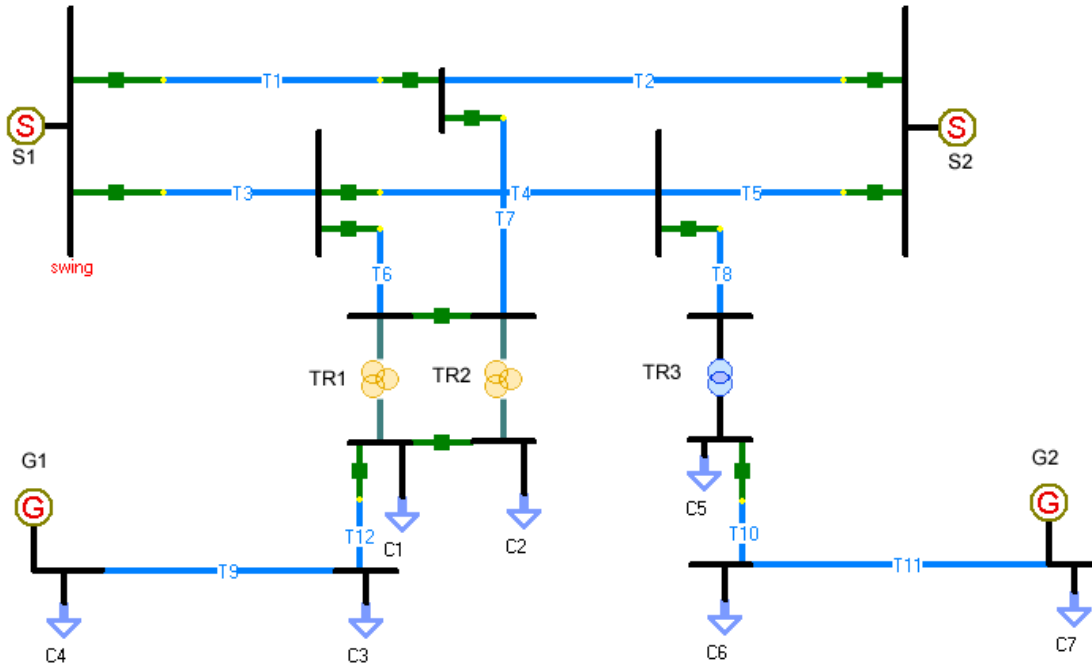
$$\tilde{u}_{\min} \leq \tilde{u} \leq \tilde{u}_{\max}$$

## AE

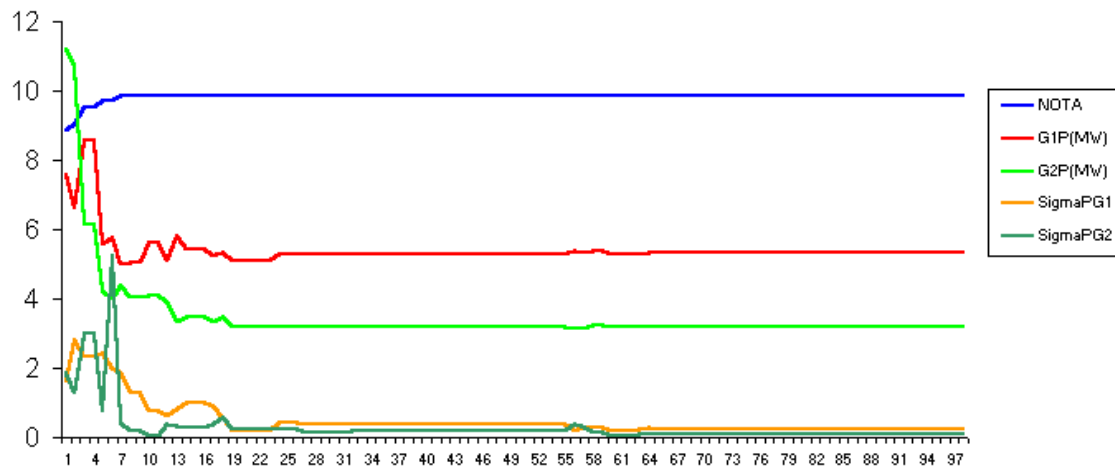
$$f(Indiv) = \frac{\alpha_C \cdot f_C(Indiv) + \alpha_T \cdot f_T(Indiv) + \alpha_P \cdot f_P(Indiv)}{\alpha_C + \alpha_T + \alpha_P}$$

- $f_C$  – função de avaliação – transgressão carregamento
- $f_T$  – função de avaliação – transgressão tensão
- $f_P$  – função de avaliação – custo operacional (perdas)

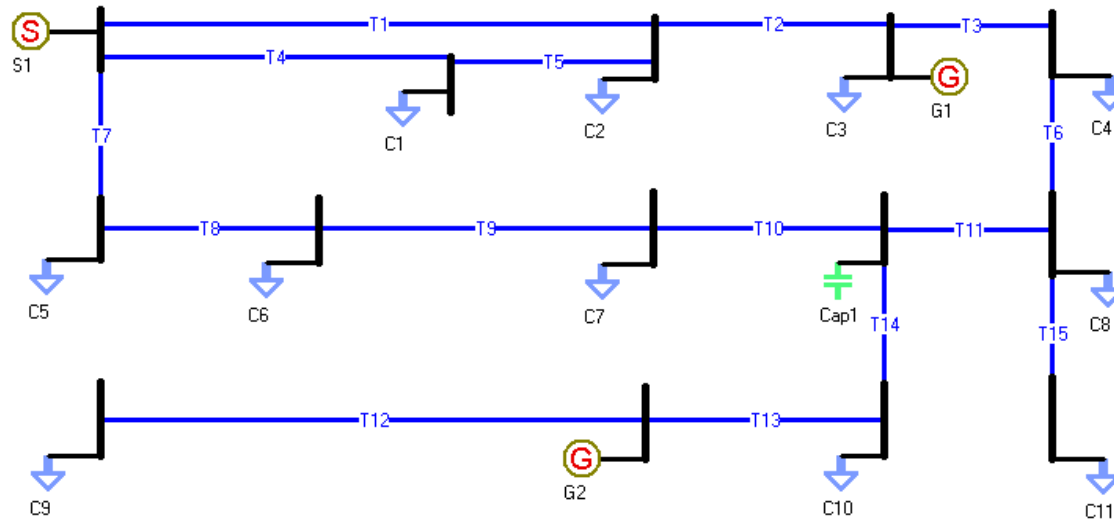
# Resultados – Despacho GD - AE



Parâmetro	Valor
Gerações	200
Indivíduos/Geração	5
Lócus/Indivíduo	4
Prob. de Cruzamento	50%
Mutações/Indivíduo	10
Idade Máxima/Indivíduo	5 gerações
Tipo de seleção	$(\mu, \kappa, \lambda)$
$\alpha_C$	1
$\alpha_T$	1
$\alpha_P$	3

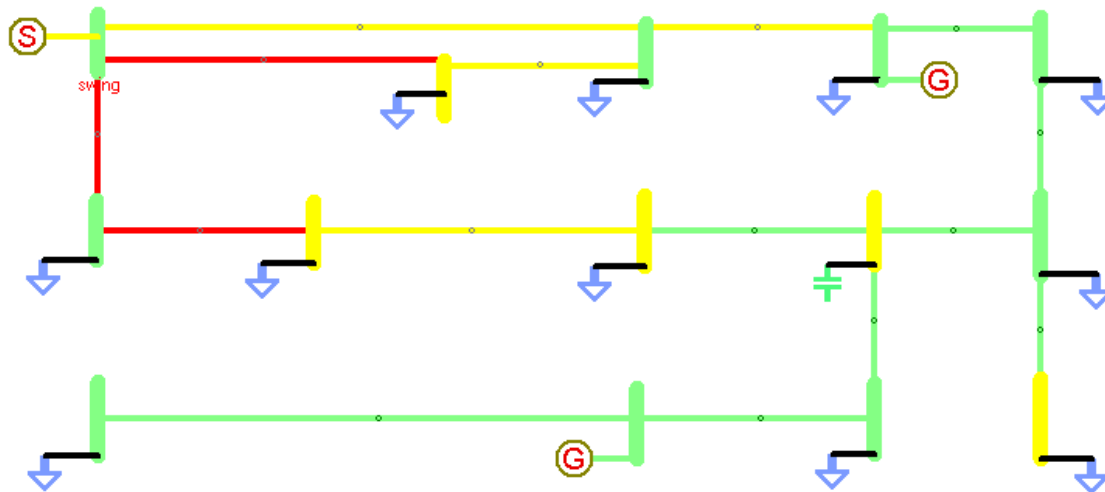


# Caso 2



Suprimento/ Gerador	Tipo de barra	Capacidade (MVA)	Tensão Nominal (kV)
S1	V0	400	88
G1	PV	200	88
G2	PV	150	88

# Diagnóstico

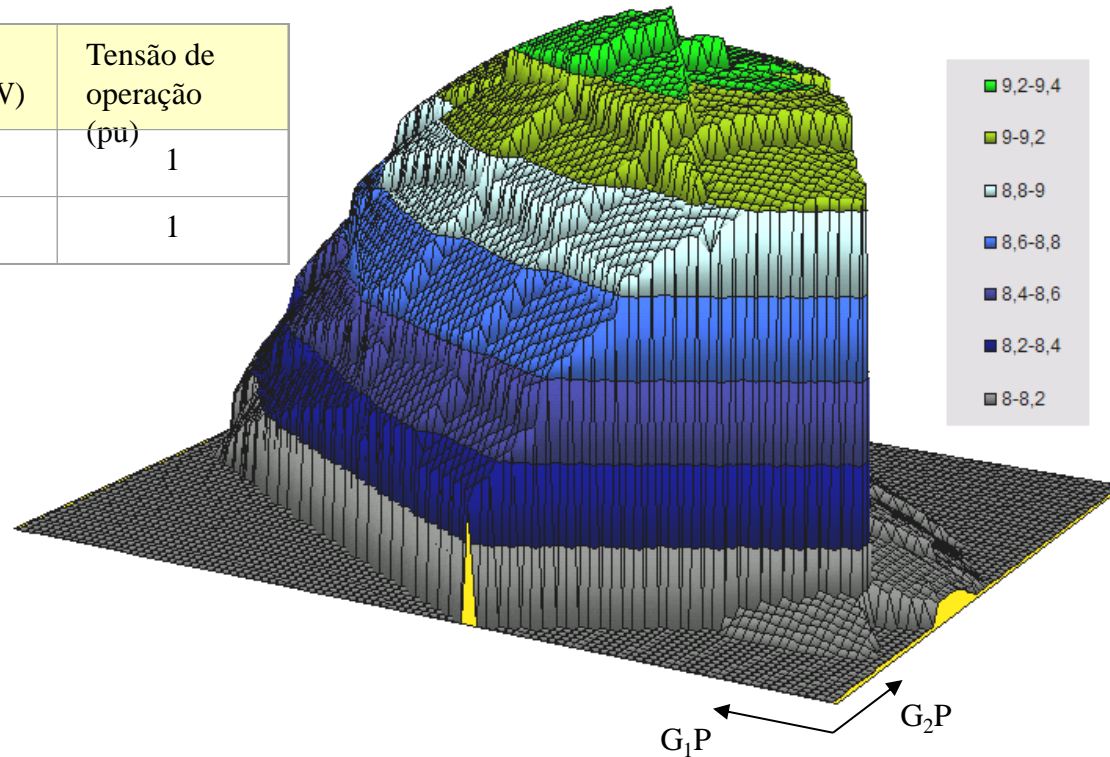


Gerador	Tipo de barra	Potência injetada (MW)	Tensão de operação (pu)
G1	PV	5	1
G2	PV	2	1

# Busca exaustiva

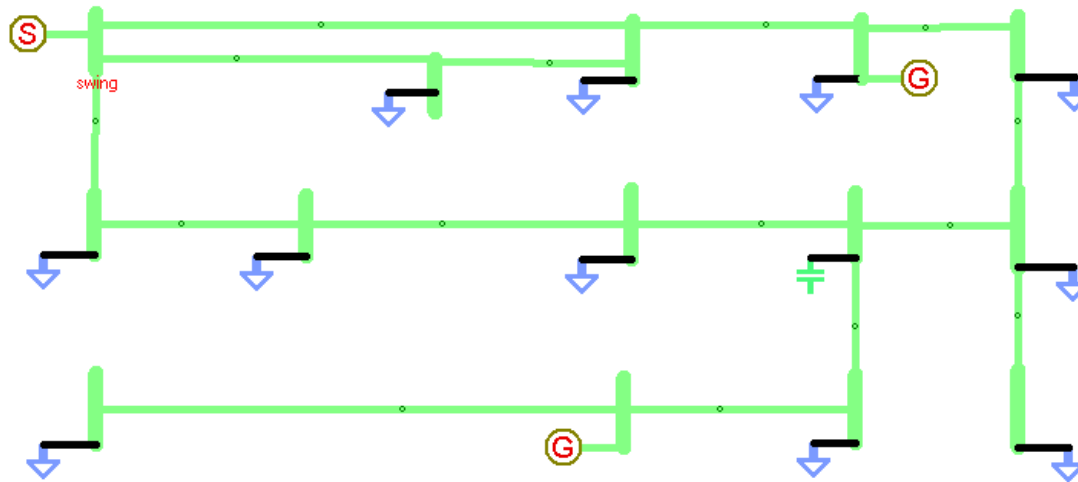
máximo

Gerador	Potência injetada (MW)	Tensão de operação (pu)
G1	128	1
G2	68	1



Representação gráfica da função  $g$ . Os valores de  $G_1P$  variam entre 0 e 200 MW, enquanto os de  $G_2P$  variam entre 0 e 150 MW.

# Solução por AE

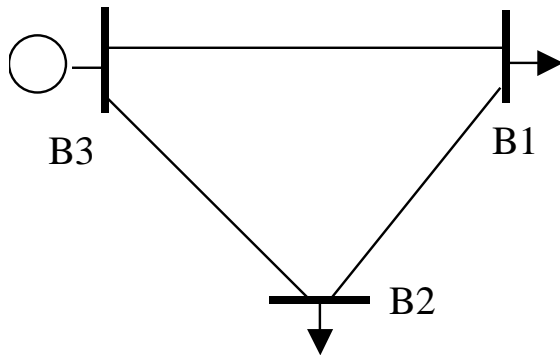


Gerador	Potência injetada (MW)	Passo de mutação (MW)	Tensão de operação (pu)	Passos de mutação (pu)
G1	125,34	0,31	1,02	0,00
G2	66,98	0,26	1,03	0,00

# Fluxo de potência



$$f(\text{Indiv}) = -[ \sum_{i=1,nc+nG} |\Delta P_i| + \sum_{i=1,nc} |\Delta Q_i| ]$$

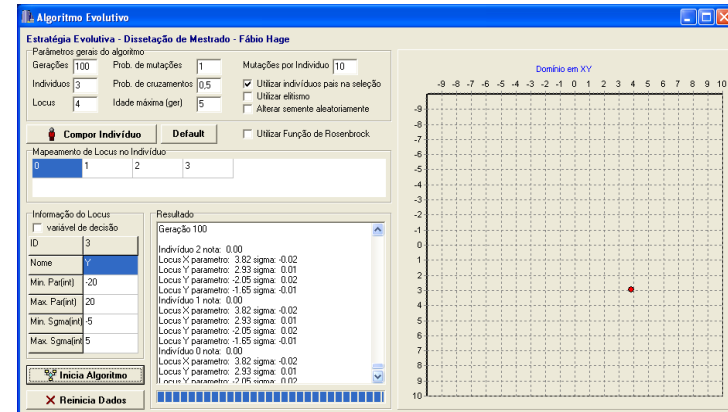
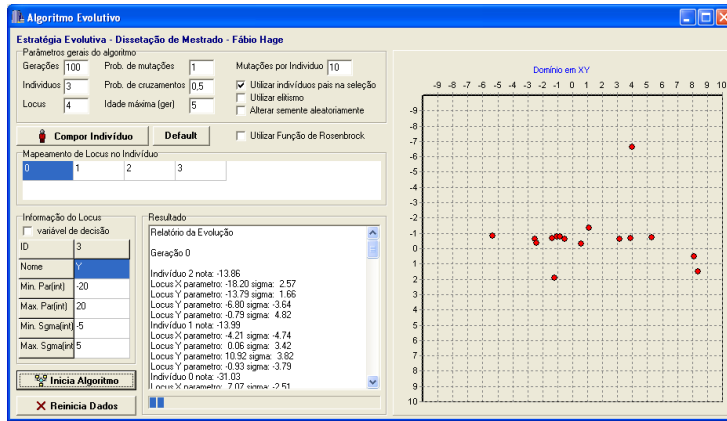


$$P_i(V, \theta) = \sum_{j=1}^n V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ji} - B_{ij} \sin \theta_{ji}), \quad i = 1, \dots, n_c + n_G$$

$$Q_i(V, \theta) = -\sum_{j=1}^n V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ji} + B_{ij} \cos \theta_{ji}), \quad i = 1, \dots, n_c$$



# Exemplo – fluxo de potência



Os valores das quedas de tensão nas barras 1 e 2 são de 3,82% e 2,93%, respectivamente, correspondendo às tensões de 0,9618pu e 0,9707pu. Os ângulos são de  $-2,05^\circ$  e  $-1,65^\circ$ .

