

---

# Evolução Diferencial

---

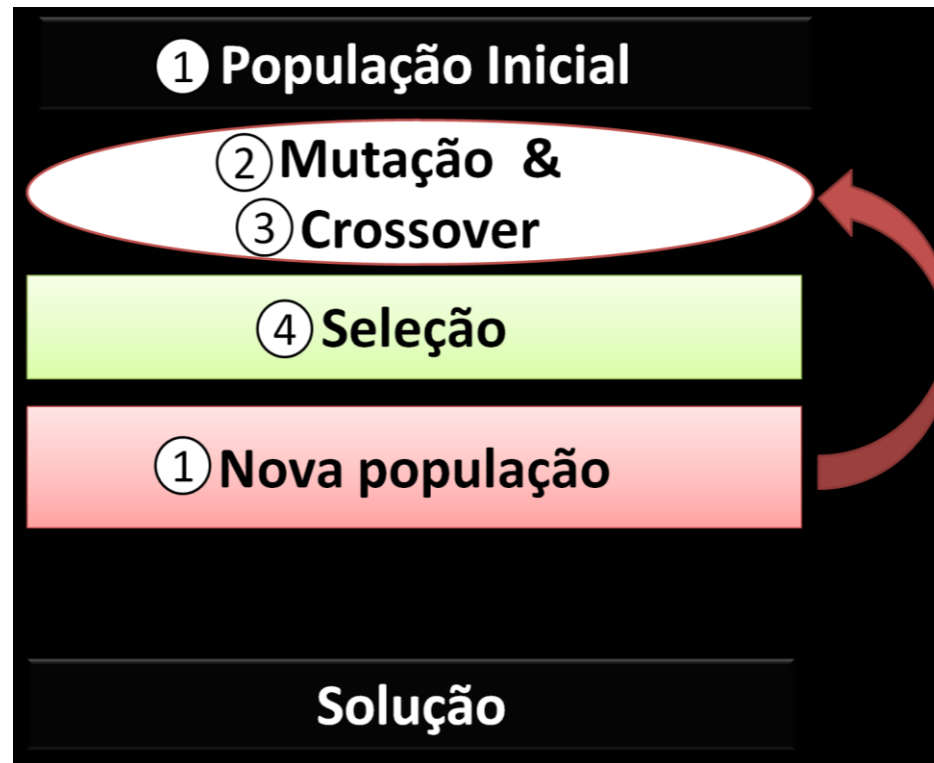
---

# Primeira Proposta

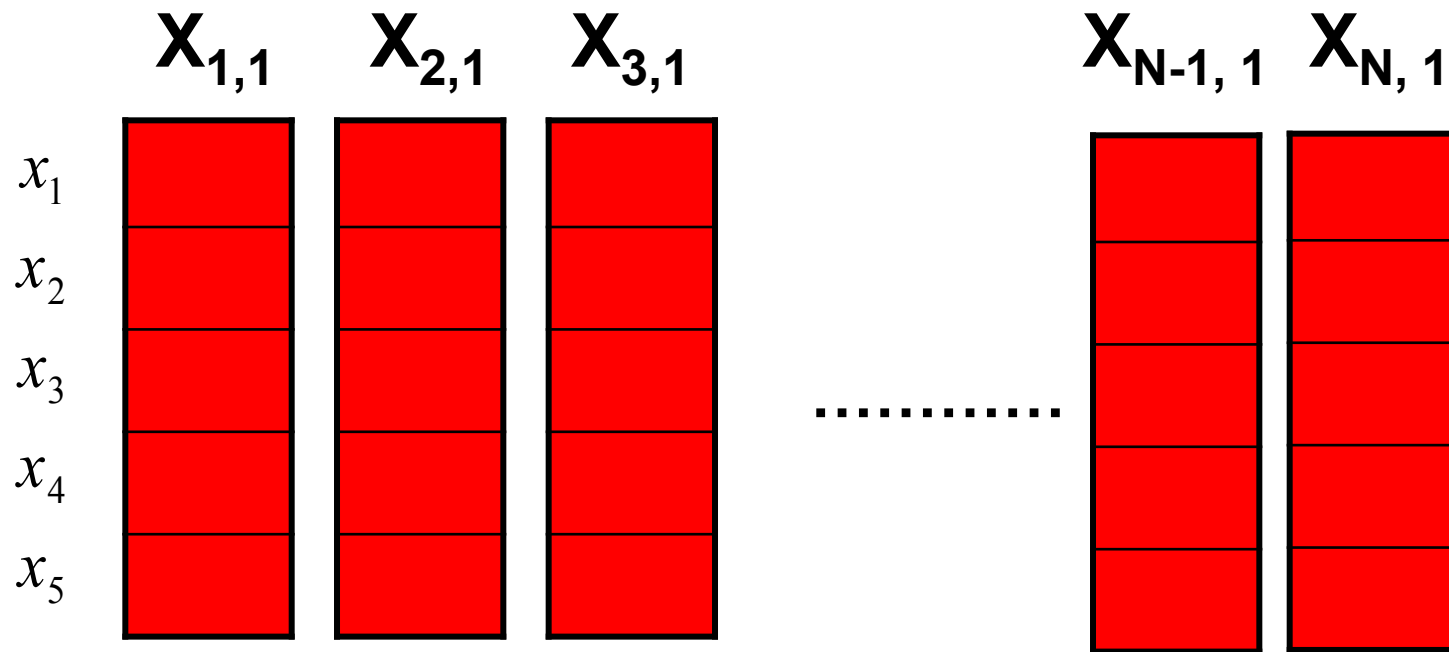
1997 - Storn, R. e Price, K., "Differential Evolution - a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces", *Journal of Global Optimization*.

---

# Fluxograma Básico

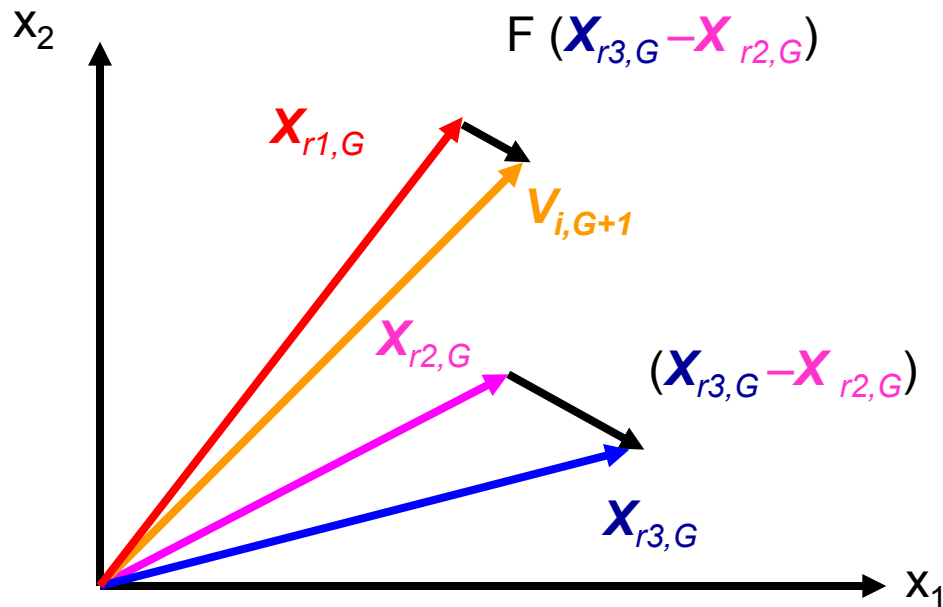


# População Inicial (gerada aleatoriamente)

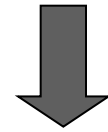


***N Vetores*** cada um, por exemplo, com **5 variáveis de otimização**

# Mutação Típica



Sorteio aleatório de três  
Elementos da população

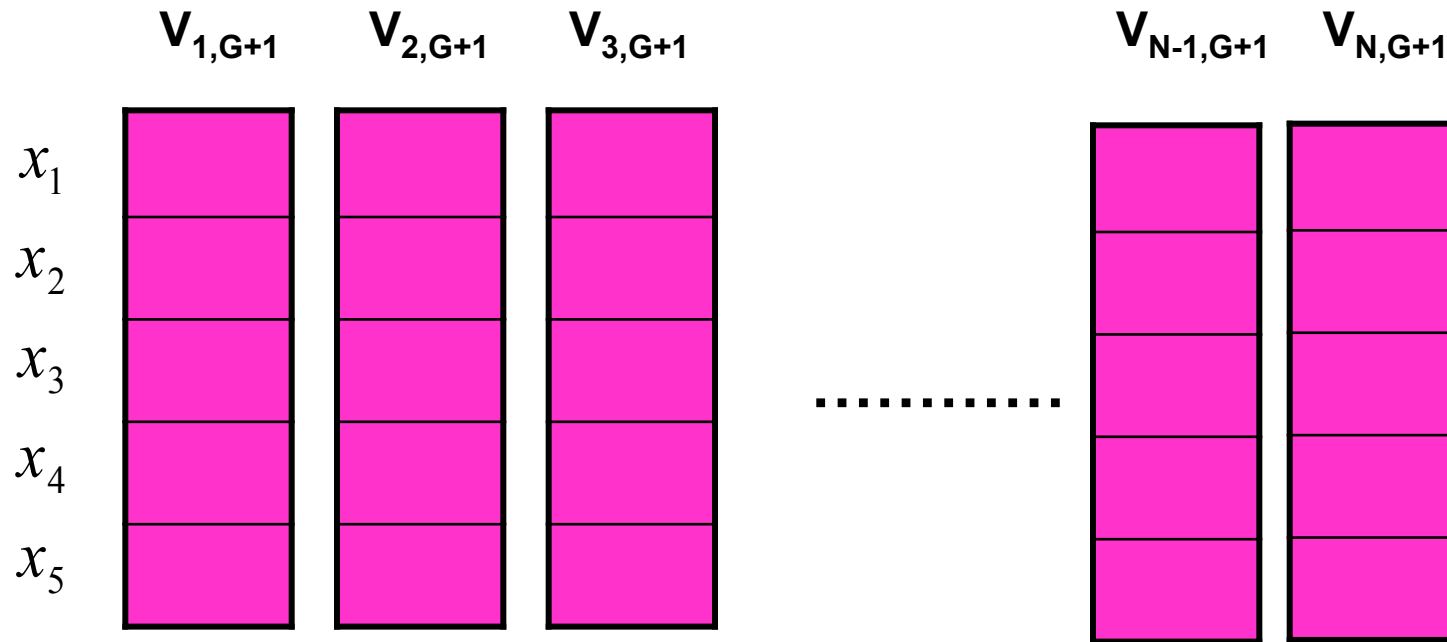


Mutante  $V_{i,G+1}$

$$V_{i,G+1} = x_{r1,G} + F \cdot (x_{r3,G} - x_{r2,G})$$

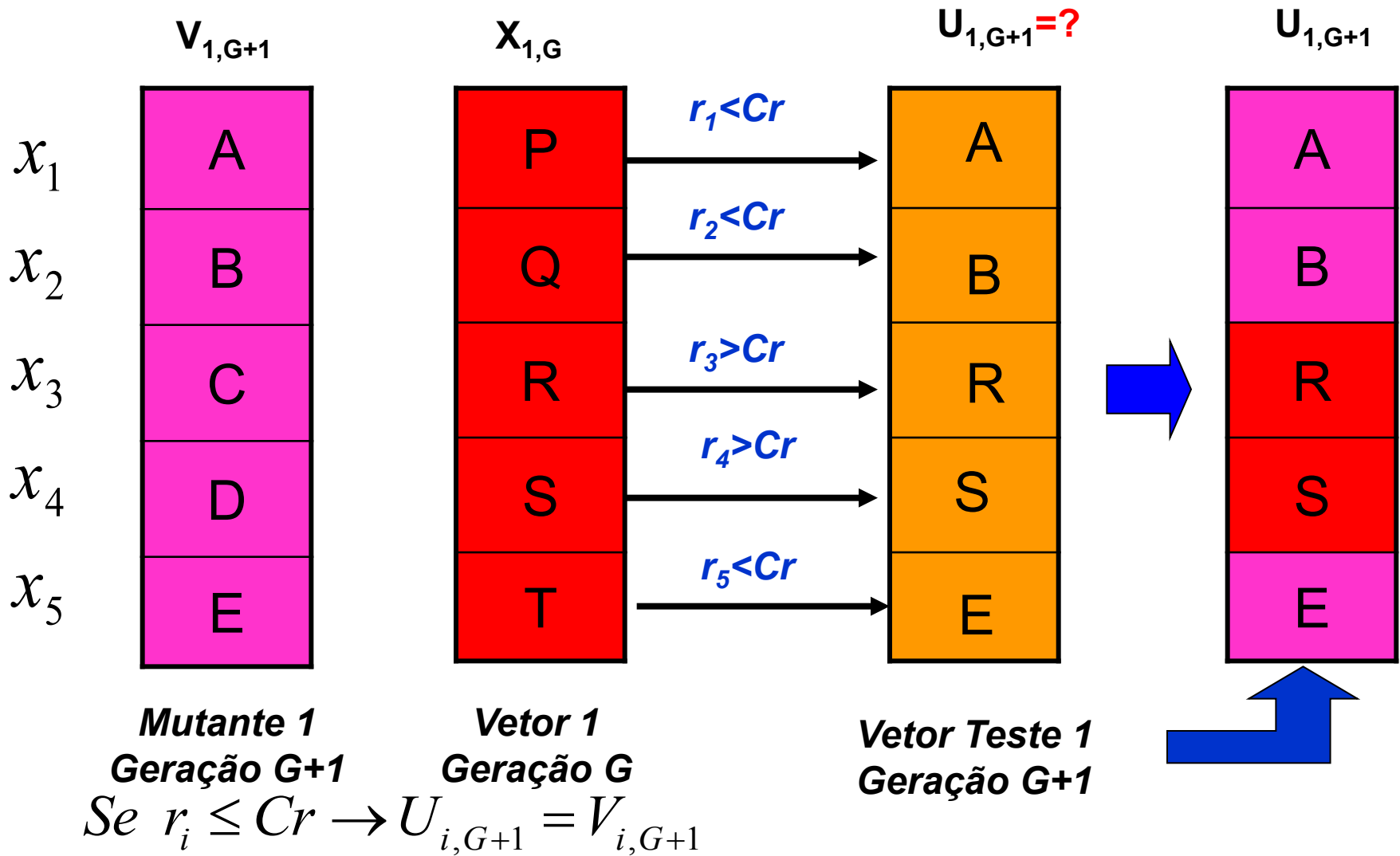
- $F$  é uma constante real  $\in [0, 2]$
- os índices  $r_1$ ,  $r_2$  e  $r_3$  são diferentes de  $i$

# Ao final do Processo de Mutação para a geração $G+1$



***N* mutant**

# Crossover



*Se  $r_i > Cr \rightarrow U_{i,G+1} = X_{i,G}$*

*$r_i$  número aleatório*

# Seleção

- Comparação entre Vetor da Geração G ( $X_{j,G}$ ) e o seu respectivo Vetor Teste ( $U_{j,G+1}$ ):

$$Se \begin{cases} f(X_{j,G}) \leq f(U_{j,G+1}) \Rightarrow X_{j,G+1} = X_{j,G} \\ f(X_{j,G}) > f(U_{j,G+1}) \Rightarrow X_{j,G+1} = U_{j,G+1} \end{cases}$$

- Realizada para todos os N vetores da população



# Fluxograma da Evolução Diferencial

- Cria-se aleatoriamente uma população com N vetores com dimensão D.
- $\text{fit}_x \leftarrow f(\mathbf{x})$
- **While** critério(s) de parada não for(em) satisfeito(s) faça:
  - $\mathbf{V}_{i,G+1} = \text{Mutação (população)}$  %% *Criam-se Mutantes*
  - $\mathbf{u}_{i,G+1} = \text{Crossover (população, mutantes, Cr)}$  %% *Criam-se Testes*
  - $\text{fit}_u \leftarrow f(\mathbf{u})$  %% *Avaliam-se os Vetores Testes*
  - **for** i=1: N faça %% *População Atual ou Teste?*
    - If  $\text{fit}_u(i) > \text{fit}_x(i)$  então
      - $\mathbf{x}_{i,G+1} \leftarrow \mathbf{u}_{i,G+1}$
    - **else**
      - $\mathbf{x}_{i,G+1} \leftarrow \mathbf{x}_{i,G+1}$
    - **endif**
  - **endfor**
- **endwhile**

---

# Variações na Evolução Diferencial

- A Evolução Diferencial apresenta uma codificação com respeito a sua estrutura. Ela usualmente é especificada na forma  $DE/x/y/z$ , em que:
    - $x$  especifica o vetor a ser mutado;
    - $y$  aponta para o número de diferenças a serem utilizadas durante a mutação;
    - $z$  define o tipo de crossover que é utilizado.
-

---

# DE/rand/1/bin

- A estrutura DE/rand/1/bin corresponde à:
    - rand especifica o vetor a ser mutado;
    - 1 é o número de diferenças que é utilizada durante a mutação;
    - bin define o tipo de crossover que é utilizado.
  - Trata-se exatamente da forma pela qual a Evolução Diferencial foi apresentada. Escolheu-se:
    - **aleatoriamente** (rand) o vetor a ser mutado ( $\mathbf{x}_{r1,G}$ );
    - fez-se **uma** única diferença na mutação;
    - o crossover realizado foi binário (troca de informações entre mutante e membro da população para gerar o vetor teste)
-

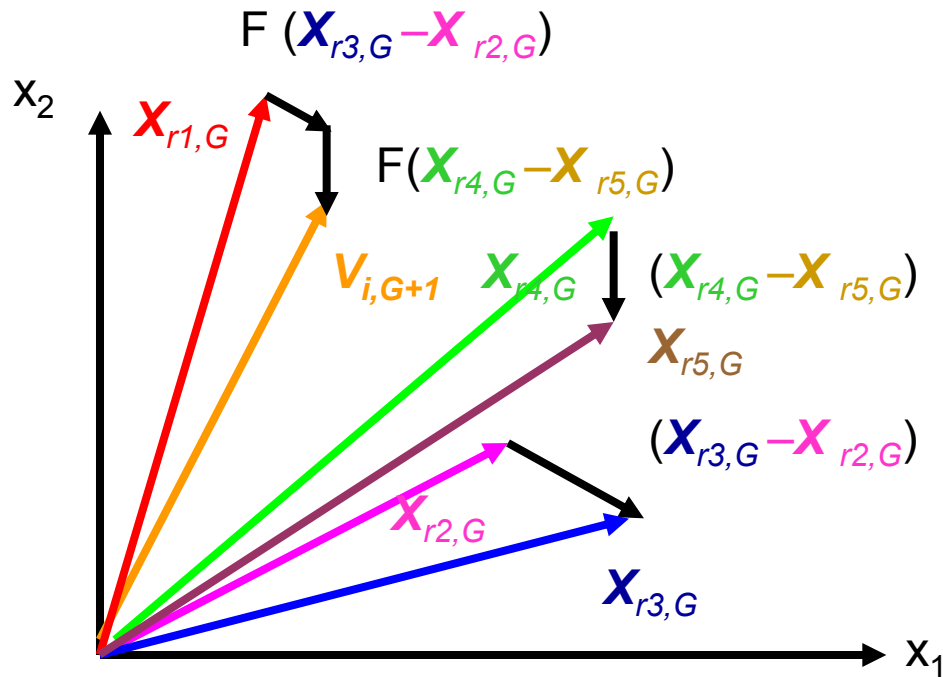
# DE/rand/2

- A estrutura DE/rand/2 corresponde à:
  - rand especifica (aleatoriamente) o vetor a ser mutado;
  - Dois é o número de diferenças que serão utilizadas durante a mutação, conforme aponta a expressão abaixo.
  - Não há especificação sobre o tipo de crossover.

$$v_{i,G+1} = x_{r_1,G} + F(x_{r_3,G} - x_{r_2,G}) + F(x_{r_5,G} - x_{r_4,G})$$

- Trata-se da Evolução Diferencial com a mutação realizada a partir de 5 membros da população.
  - Escolhe-se **aleatoriamente** o vetor ( $x_{r_1,G}$ ); a ser mutado;
  - Fez-se **duas** diferenças na mutação;
  - Para fins de crossover os *índices*  $r_1 \rightarrow r_5$  são diferentes de  $i$

# DE/rand/2



$$v_{i,G+1} = x_{r1,G} + F(x_{r3,G} - x_{r2,G}) + F(x_{r5,G} - x_{r4,G})$$

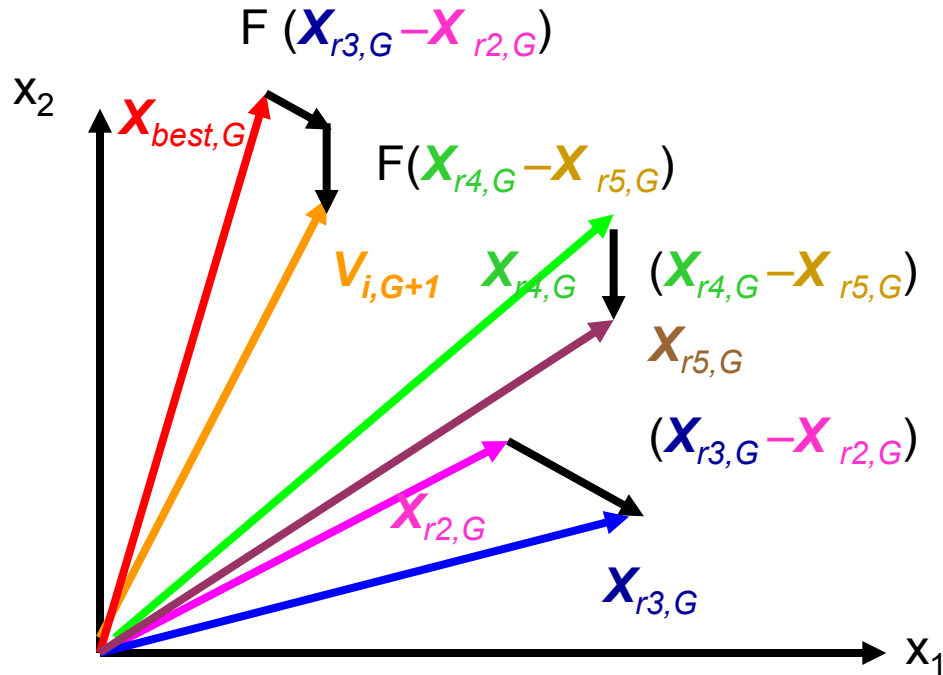
# DE/best/2

- A estrutura DE/best/2 corresponde à:
  - Best especifica que mutante sempre será construído a partir daquele de melhor desempenho na geração
  - Dois é o número de diferenças que serão utilizadas durante a mutação, conforme aponta a expressão abaixo.
  - Não há especificação sobre o tipo de crossover.

$$v_{i,G+1} = x_{best,G} + F(x_{r_2,G} - x_{r_1,G}) + F(x_{r_4,G} - x_{r_3,G})$$

- Trata-se da Evolução Diferencial com a **Mutação** realizada a partir de 5 membros da população.
  - Mas o vetor de melhor desempenho na **Geração** ( $x_{best}$ ) sempre fará parte do processo de **Mutação**.
  - Sorteia-se quatro vetores da população e faz-se **duas** diferenças na mutação.
  - *Para fins de crossover os índices  $r_1 \rightarrow r_4$  devem ser diferentes de  $i$*

# DE/best/2



$$v_{i,G+1} = x_{best,G} + F(x_{r3,G} - x_{r2,G}) + F(x_{r5,G} - x_{r4,G})$$

# DE/target-to-best/1

- A estrutura DE/ target-to-best /1 corresponde à:
  - Best especifica que mutante sempre será construído a partir daquele de melhor desempenho na geração
  - Target aponta que para a construção do **mutante associado ao vetor i** sempre será usada a posição de  $x_{i,G}$ .
  - **Um** é o número de diferença **sorteadas** durante o processo de mutação, conforme aponta a expressão abaixo.
  - Não há especificação sobre o tipo de crossover.
  - O Mutante é construído na forma:

$$v_{i,G+1} = x_{i,G} + F(x_{r_2,G} - x_{r_1,G}) + F(x_{best,G} - x_{i,G})$$

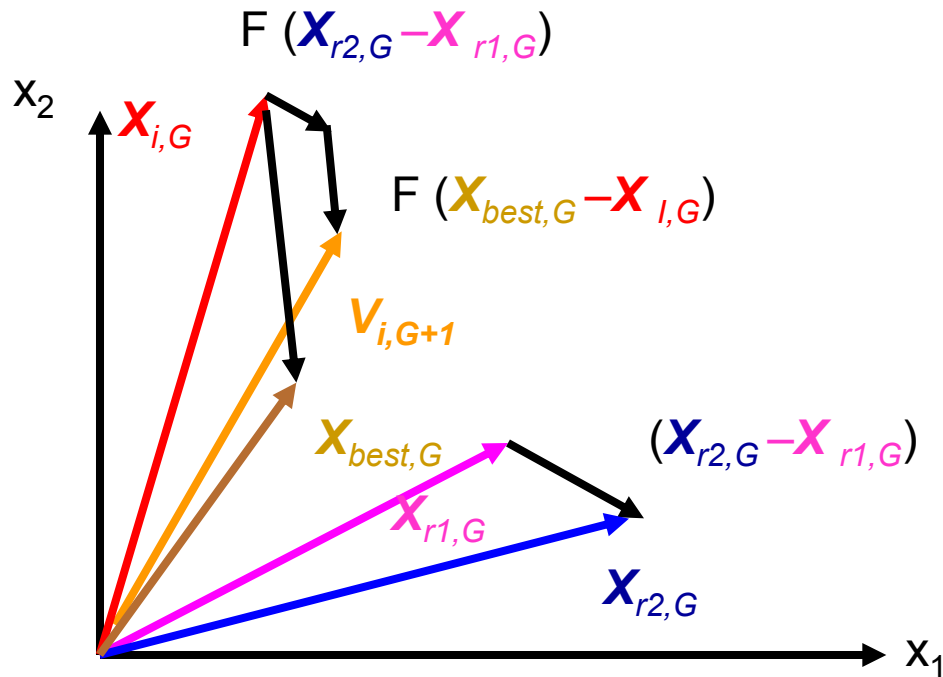


# DE/target-to-best/1

$$v_{i,G+1} = x_{i,G} + F(x_{r_2,G} - x_{r_1,G}) + F(x_{best,G} - x_{i,G})$$

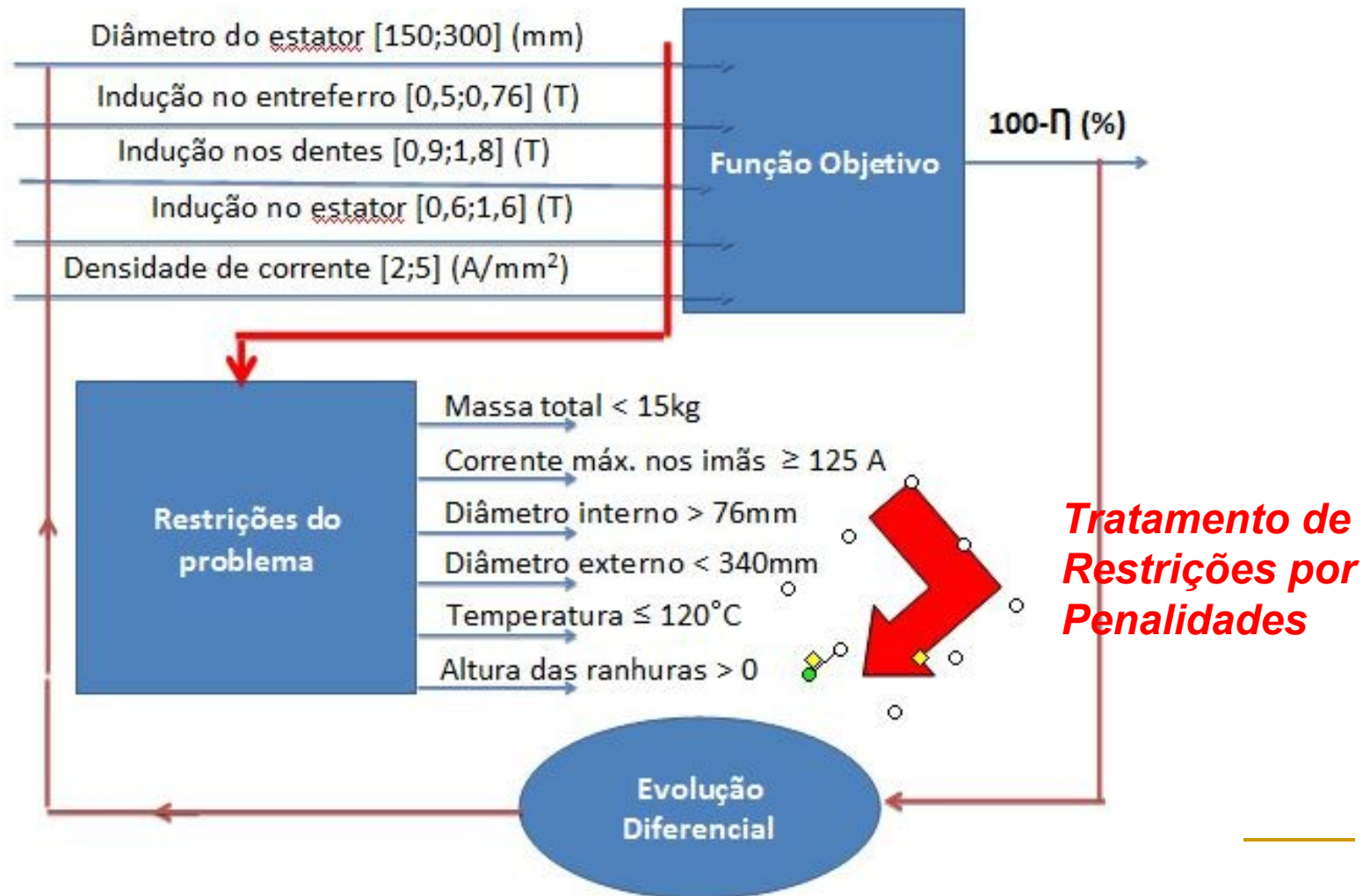
- Trata-se da Evolução Diferencial com a mutação realizada a partir de 4 membros da população.
  - O vetor de melhor desempenho ( $x_{best}$ ) e o vetor  $x_{i,G}$  sempre participam do processo de mutação do vetor  $i$ ;
  - fez-se **duas** diferenças na mutação.
  - *Em toda geração  $G$ , há*
    - *uma diferença realizada por sorteio e*
    - *uma entre ( $x_{best}$ ) e o vetor  $x_{i,G}$*
  - Para fins de crossover os índices  $r_1$  e  $r_2$  são diferentes de  $i$ .

# DE/best/2



$$v_{i,G+1} = x_{i,G} + F(x_{r2,G} - x_{r1,G}) + F(x_{best,G} - x_{i,G})$$

# Projeto de um Motor de Corrente Contínua sem Escovas (DE/rand/1/bin)



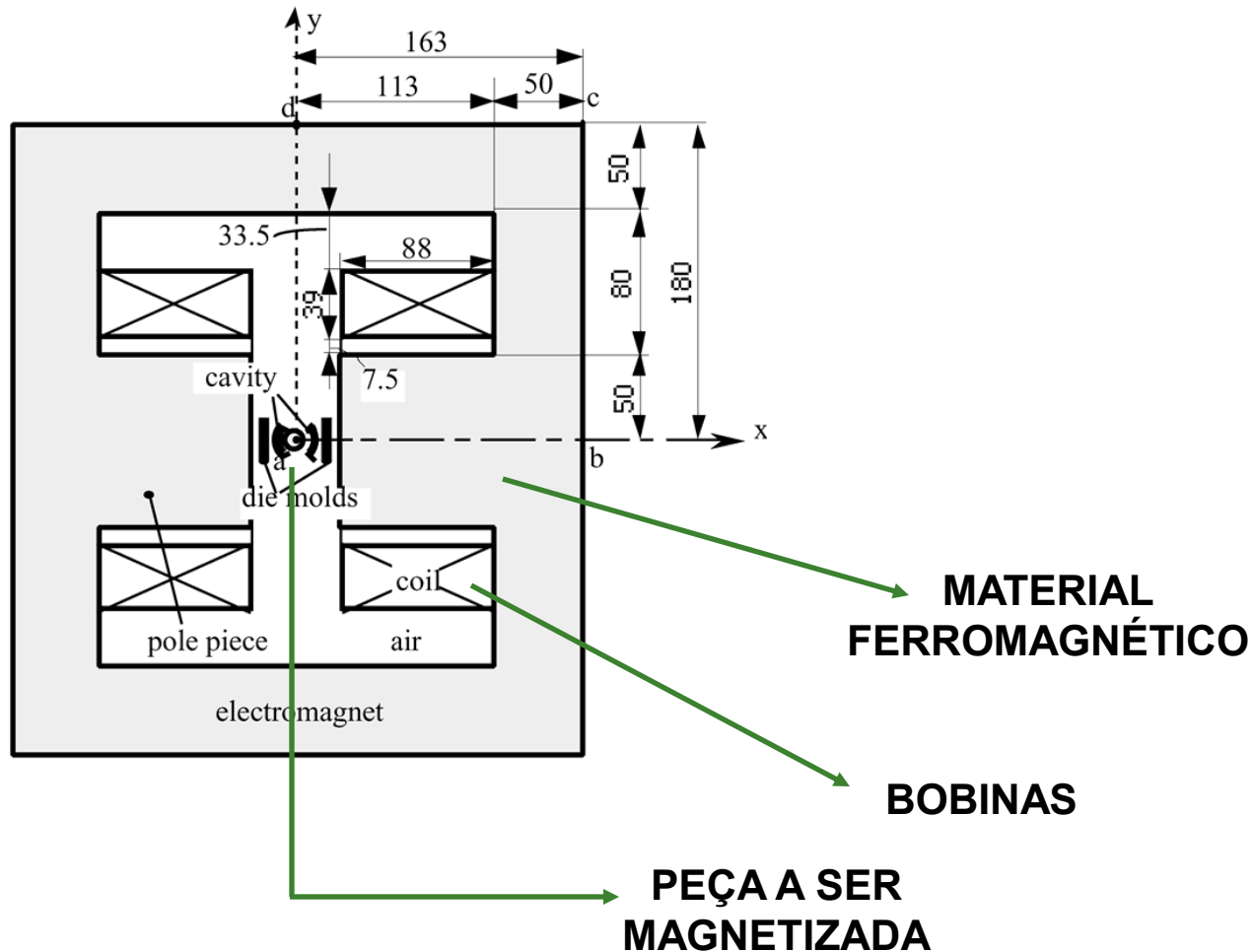
# Resultados

(DE/rand/1/bin)

	Resultado da literatura	Evolução Diferencial	Algoritmos Genéticos
Rendimento	95,32%	95,317%	95,23%

		Resultado da literatura	Evolução Diferencial	Algoritmos Genéticos
Restrições (solução ótima)	Mtot	15 kg	14,998 kg	14,972 kg
	Imax	125 A	125,093 A	141,098 A
	Dint	76 mm	76,3 mm	83,1 mm
	Dext	238,9 mm	239,0 mm	240,9 mm
	Ta	95,35 °C	95,37 °C	95,05 °C

# Dimensionamento de um Magnetizador (elementos finitos + DE/rand/1/bin)





# A funcao objetivo

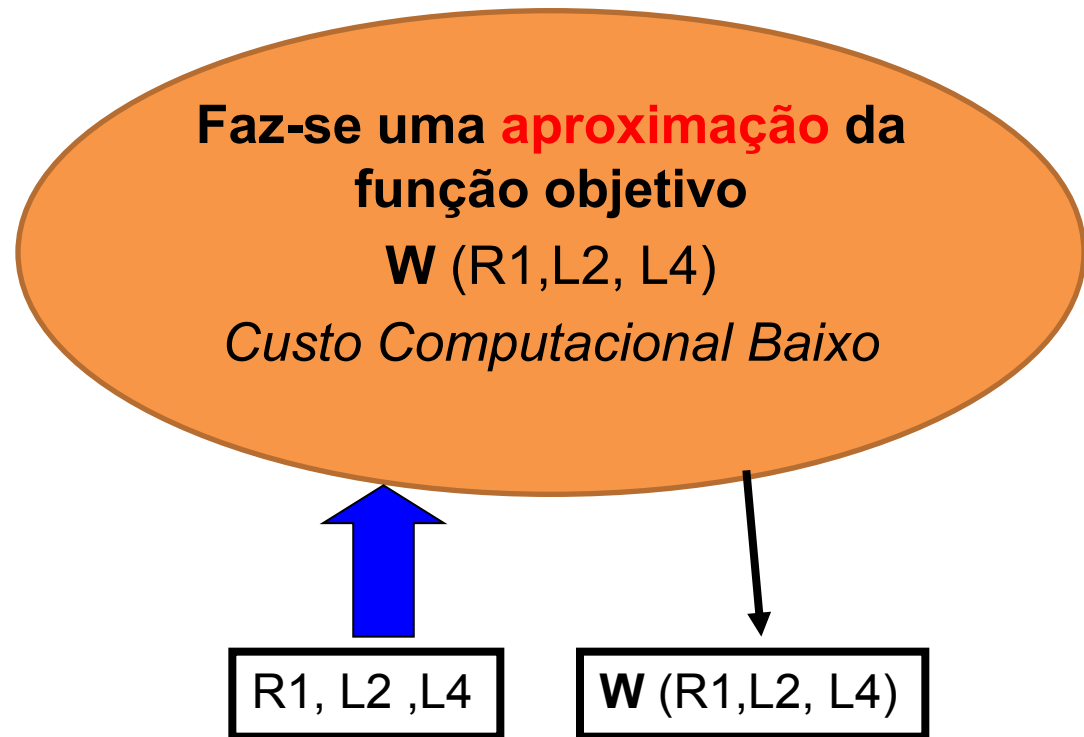
$$W = \sum_{i=1}^n \left\{ \left( B_{xip} - B_{xi0} \right)^2 + \left( B_{yip} - B_{yio} \right)^2 \right\}$$

VALOR  
CALCULADO

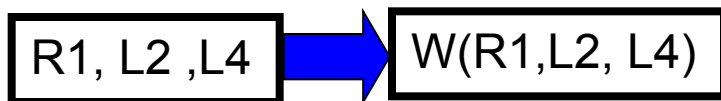
VALOR  
ESPECIFICADO

Os valores **calculados** vão depender de  
R1, L2 e L4 → variáveis de otimização

# A Estratégia Utilizada para a Solução

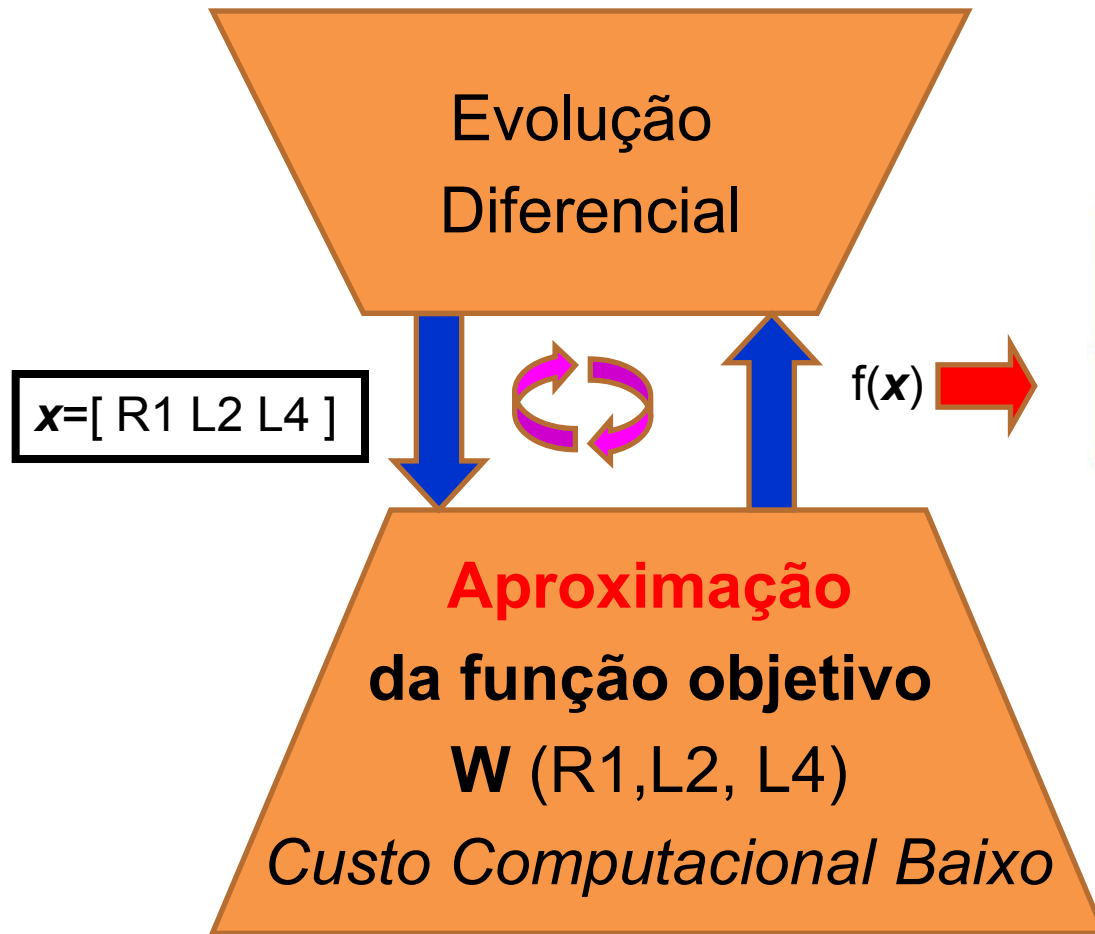


Cria-se uma base de dados





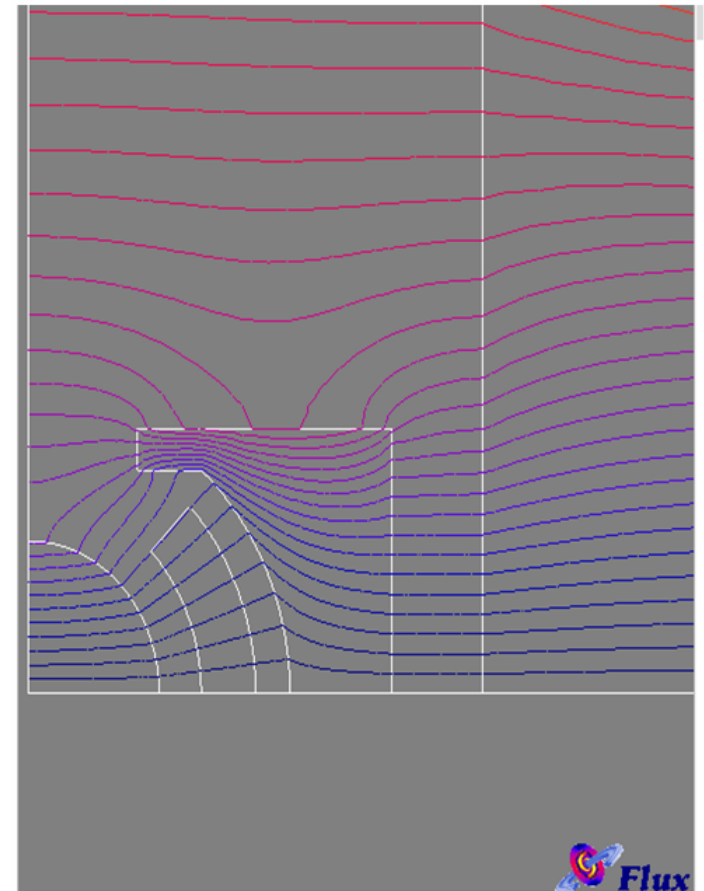
# Evolução Diferencial e a Função de Aproximação



	L4 (mm)	L2 (mm)	R1 (mm)
Evolução Diferencial	14,00	14,39	7,19
Algoritmo Genético	14,00	14,40	7,20

# Resultado da Otimização por Evolução Diferencial – Linhas de Campo

	L4 (mm)	L2 (mm)	R1 (mm)
Evolução Diferencial	14,00	14,39	7,19
Algoritmo Genético	14,00	14,40	7,20



***B radial !***