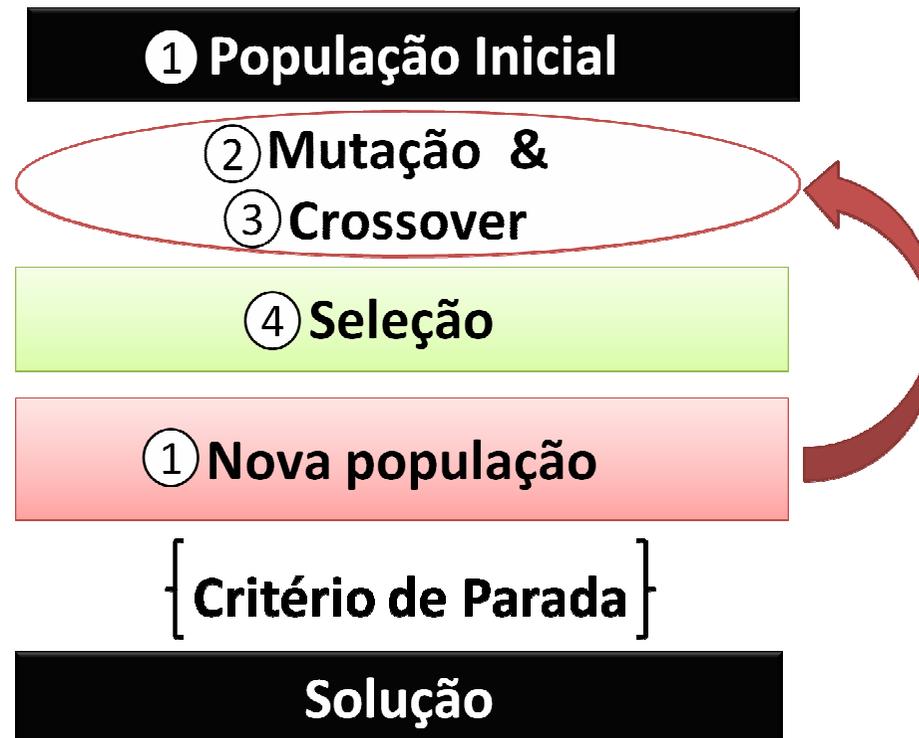

Evolução Diferencial

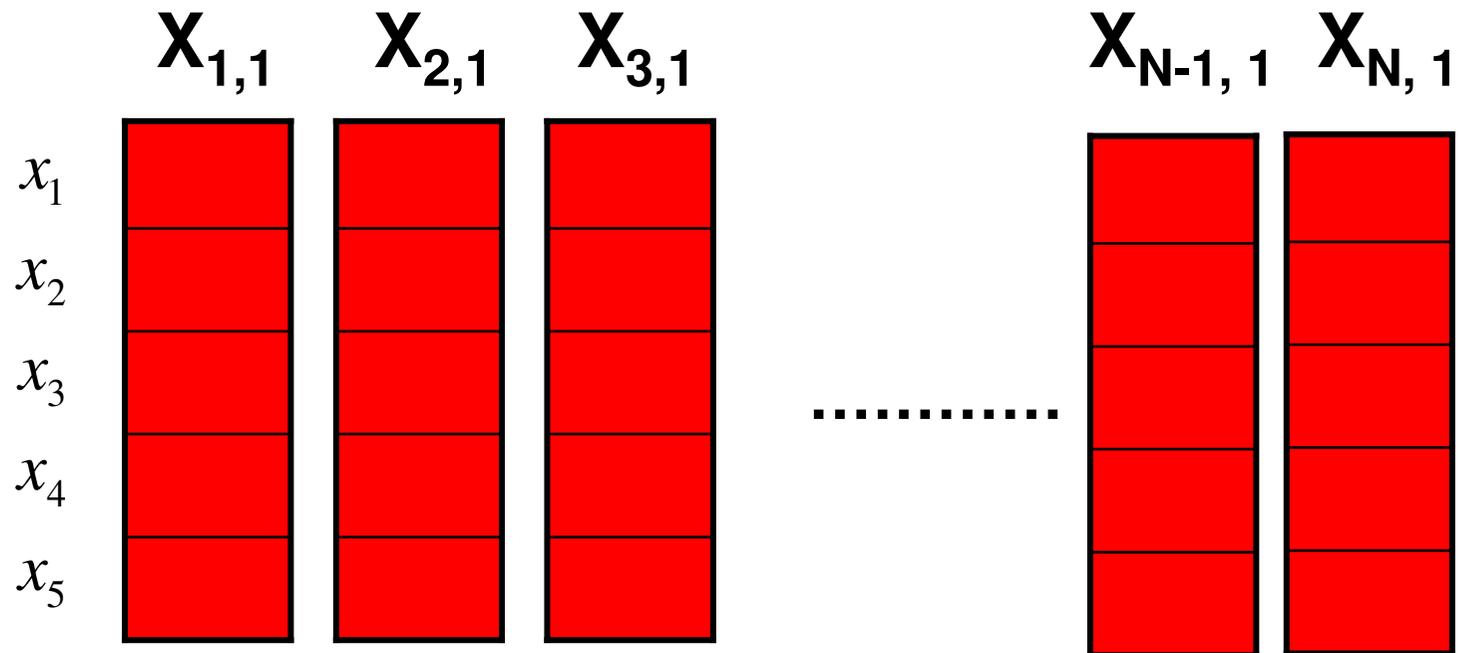
Primeira Proposta

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

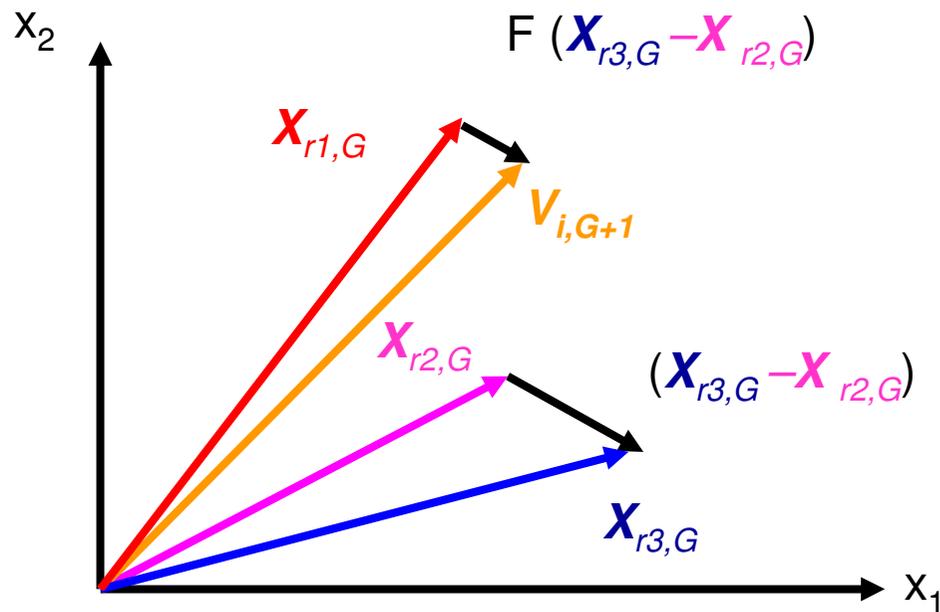


População Inicial (gerada aleatoriamente)

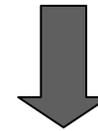


N Vetores cada um, por exemplo, com ***5 variáveis de otimização***

Mutação Típica



Sorteio aleatório de três
Elementos da população

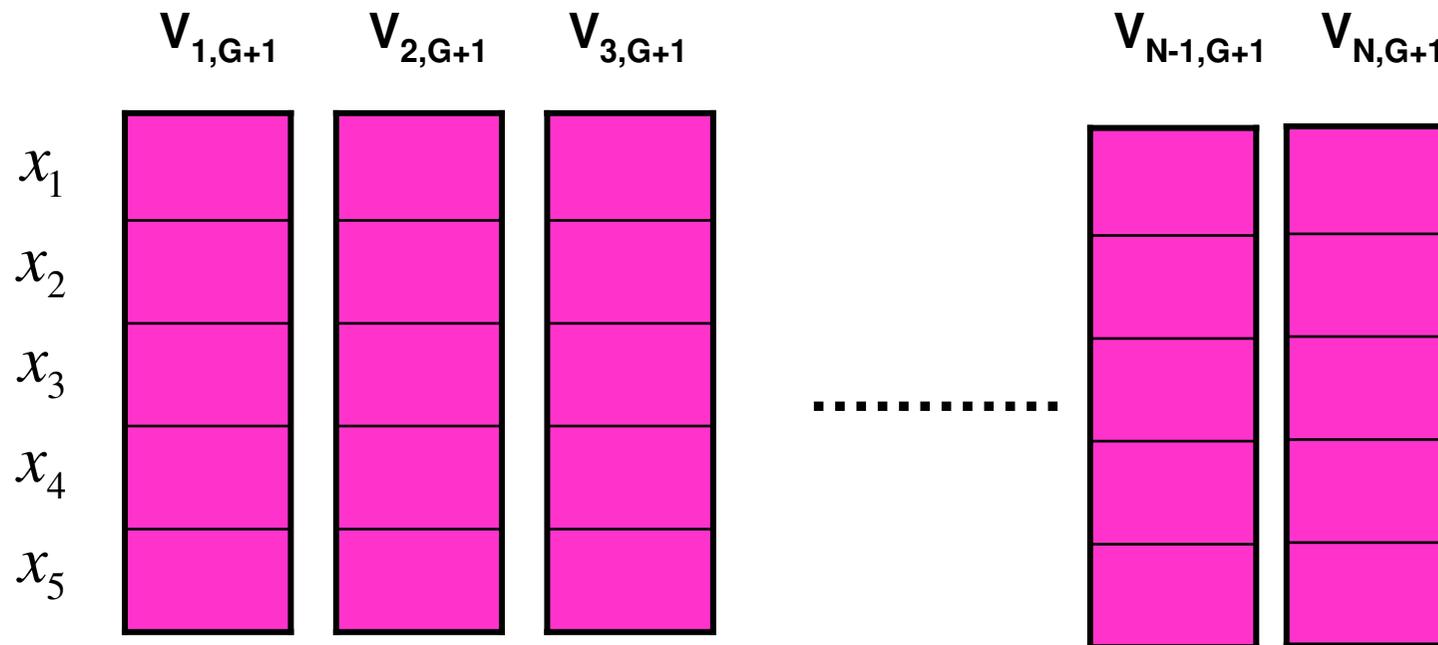


Mutante $v_{i,G+1}$

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

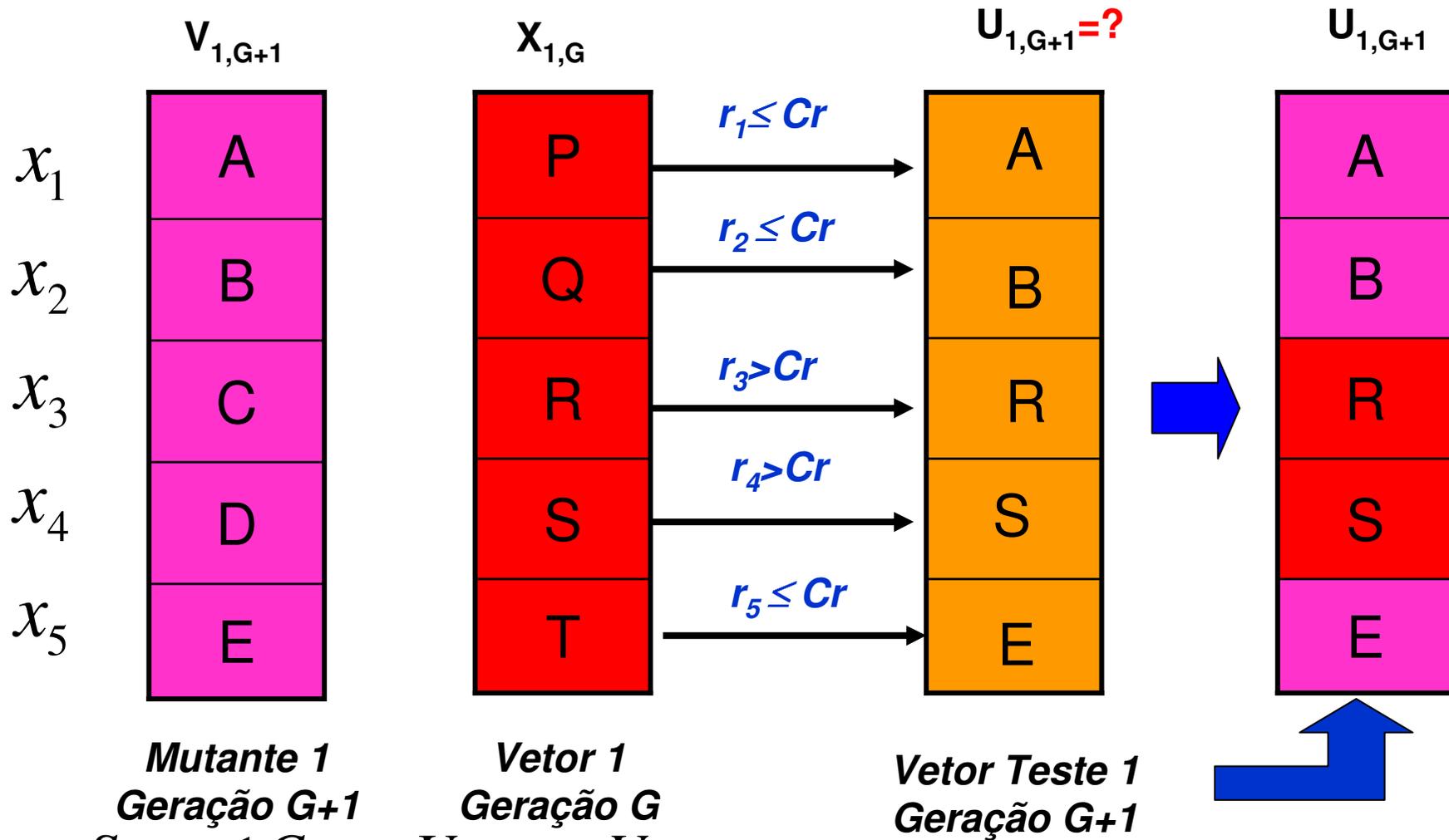
- F é uma constante real $\in [0, 2]$
- os índices r_1 , r_2 e r_3 são diferentes de i

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



***N* mutant**

Crossover



$Se\ r_i \leq Cr \rightarrow U_{i,G+1} = V_{i,G+1}$

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

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:
 - $\mathbf{V}_{i,G+1} = \text{Muta\c{c}o\~{e}}(\text{popula\c{c}\~{a}\~{o}})$ %% *Criam-se Mutantes*
 - $\mathbf{u}_{i,G+1} = \text{Crossover}(\text{popula\c{c}\~{a}\~{o}}, \text{mutantes}, \text{Cr})$ %% *Criam-se Testes*
 - $\text{fit}_u \leftarrow f(\mathbf{u})$ %% *Avaliam-se os Vetores Testes*
 - **for** $i=1: N$ faça %% *Popula\c{c}\~{a}\~{o} Atual ou Teste?*
 - **If** $\text{fit}_u(i) > \text{fit}_x(i)$ ent\~{a}\~{o}
 - $\mathbf{x}_{i,G+1} \leftarrow \mathbf{u}_{i,G+1}$
 - **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)
-

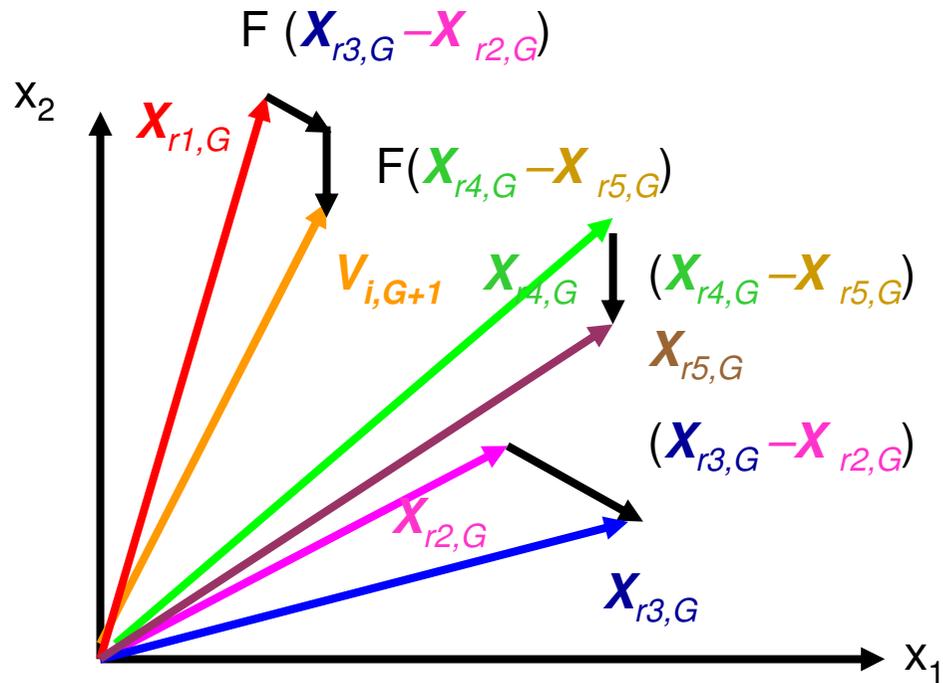
DE/rand/2

- 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.
 - Ou seja:

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

- 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



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

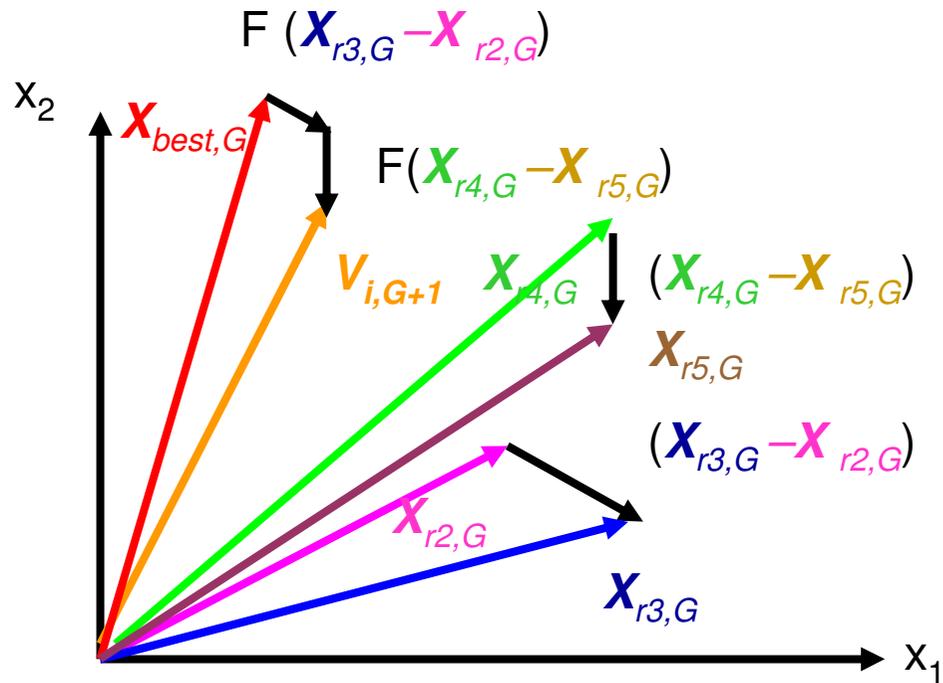
DE/best/2

- 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



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

DE/target-to-best/1

- A estrutura DE/ target-to-best /1 corresponde à:
 - Best especifica que o 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:

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

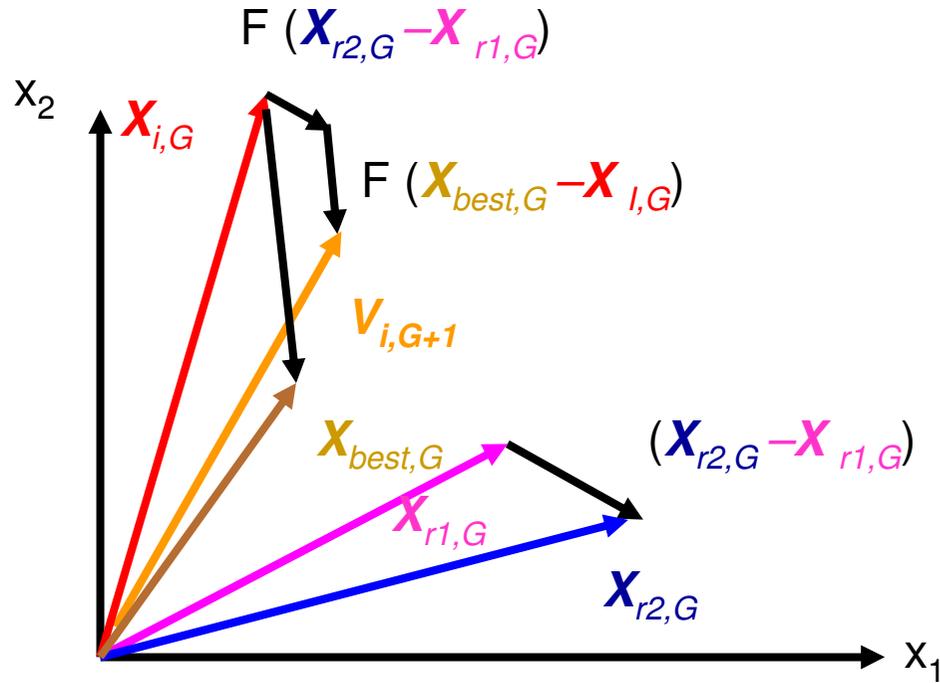


DE/target-to-best/1

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

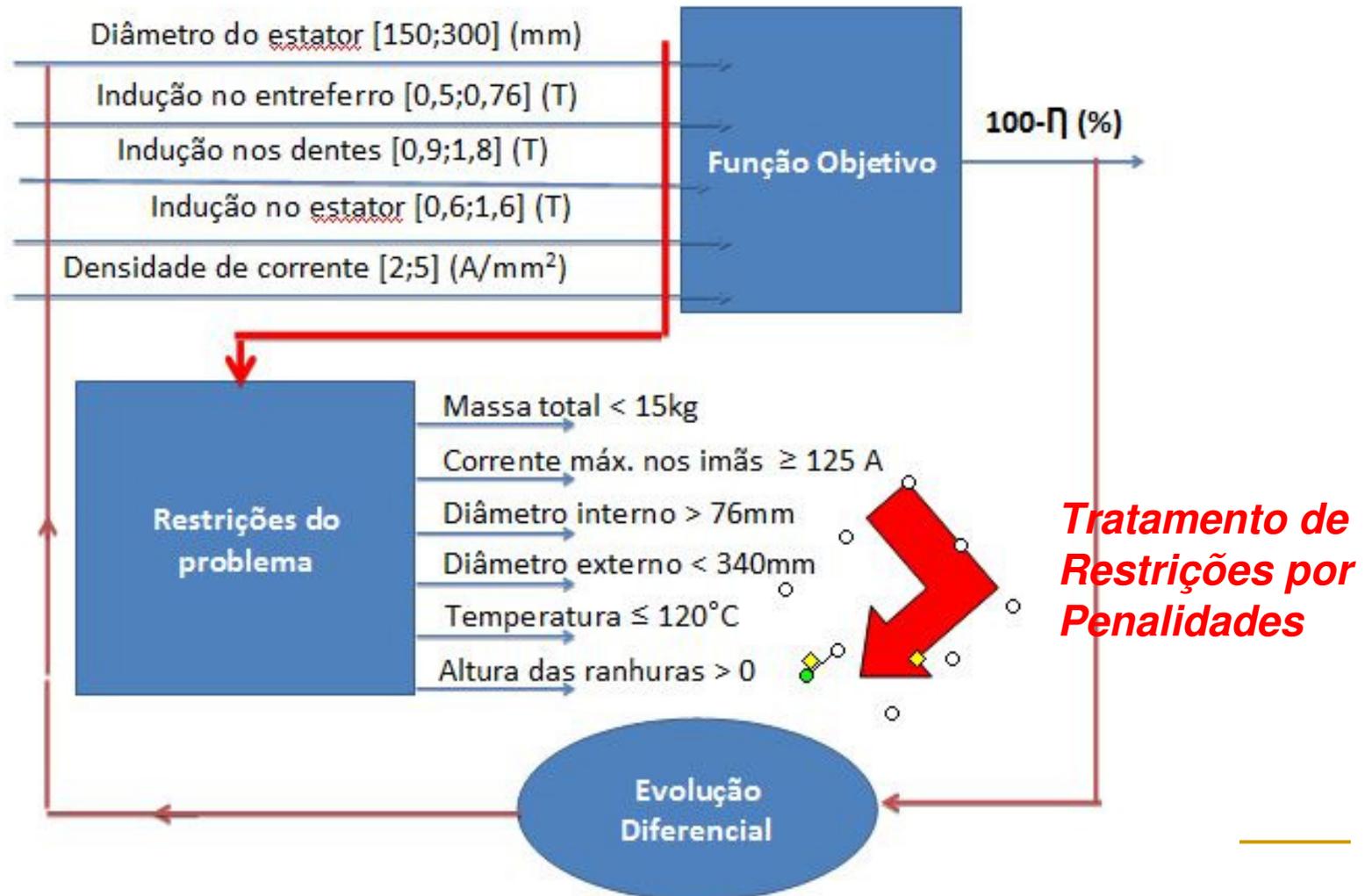
- Trata-se da Evolução Diferencial com a mutação realizada a partir de 4 membros da população.
 - O vetor de melhor desempenho (x_{best}) e o vetor $x_{i,G}$ sempre participam do processo de mutação do vetor i ;
 - fez-se **duas** diferenças na mutação.
 - *Em toda geração G , há*
 - *uma diferença realizada 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 .
 - *Bastante similar ao Particle Swarm Optimization*
-

DE/best/2



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

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



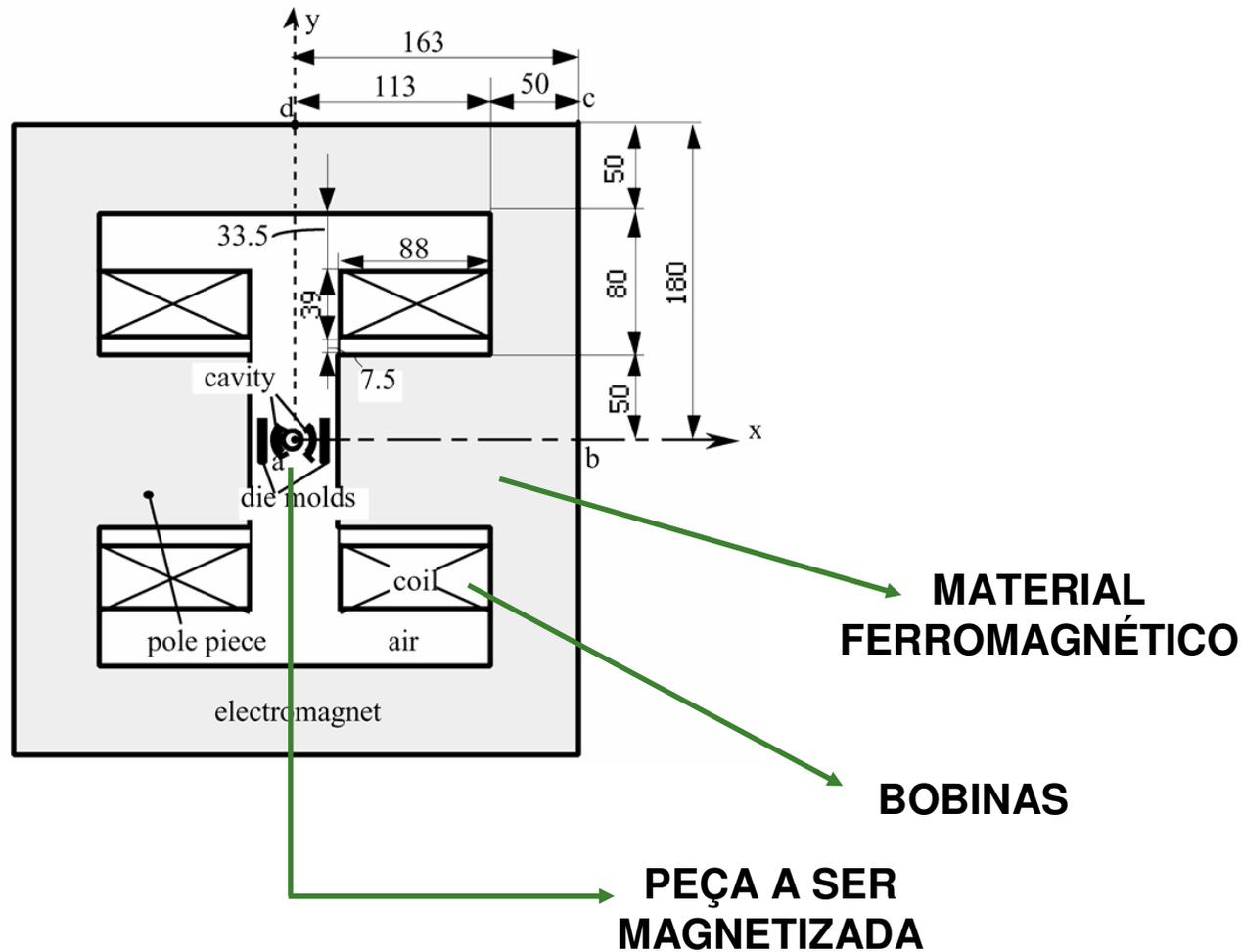
Resultados

(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
	I _{max}	125 A	125,093 A	141,098 A
	D _{int}	76 mm	76,3 mm	83,1 mm
	D _{ext}	238,9 mm	239,0 mm	240,9 mm
	T _a	95,35 °C	95,37 °C	95,05 °C

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



A funcao objetivo

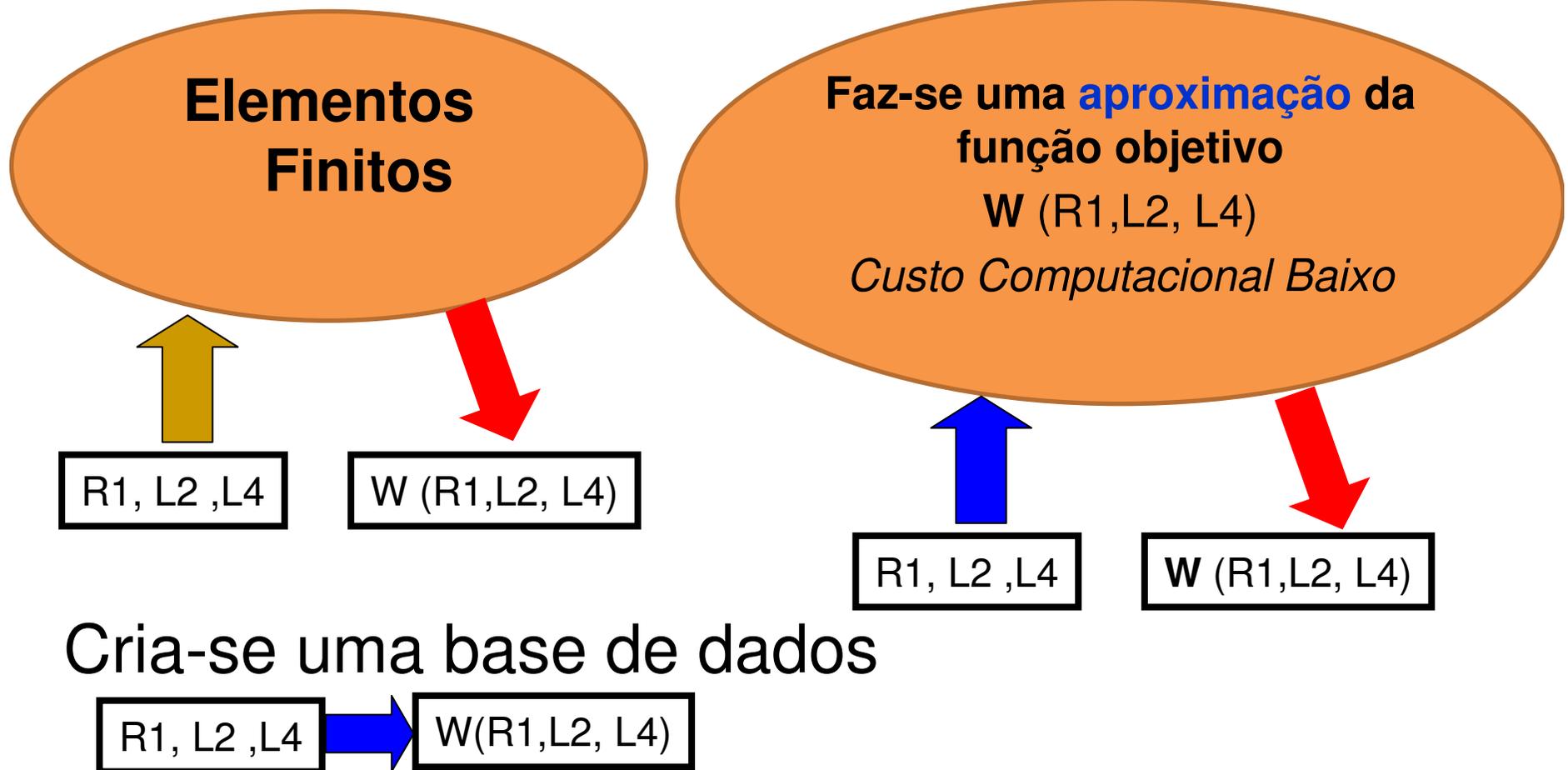
$$W = \sum_{i=1}^n \left\{ \left(B_{xip} - B_{xi0} \right)^2 + \left(B_{yip} - B_{yio} \right)^2 \right\}$$

VALOR
CALCULADO

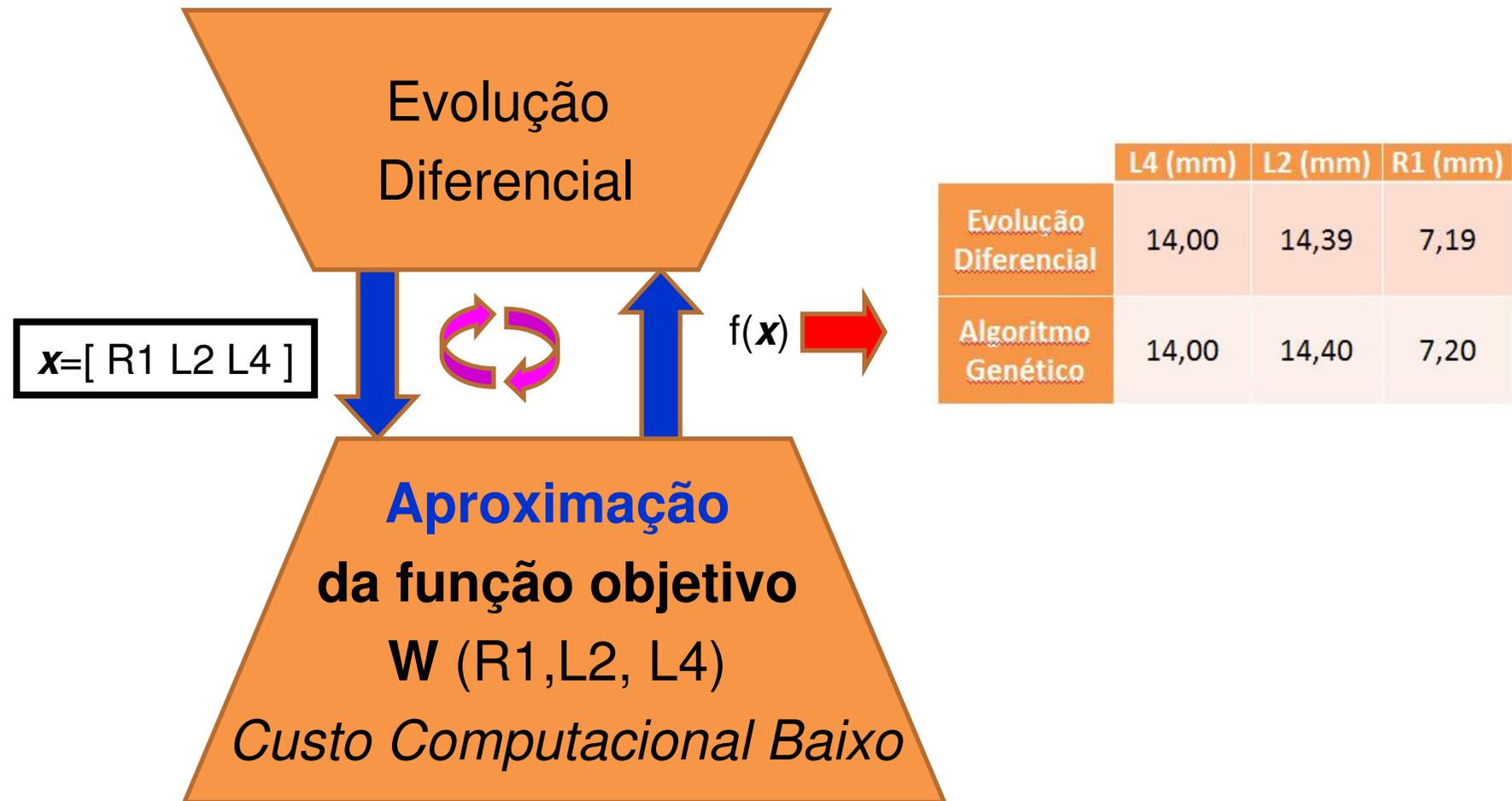
VALOR
ESPECIFICADO

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

A Estratégia Utilizada para a Solução

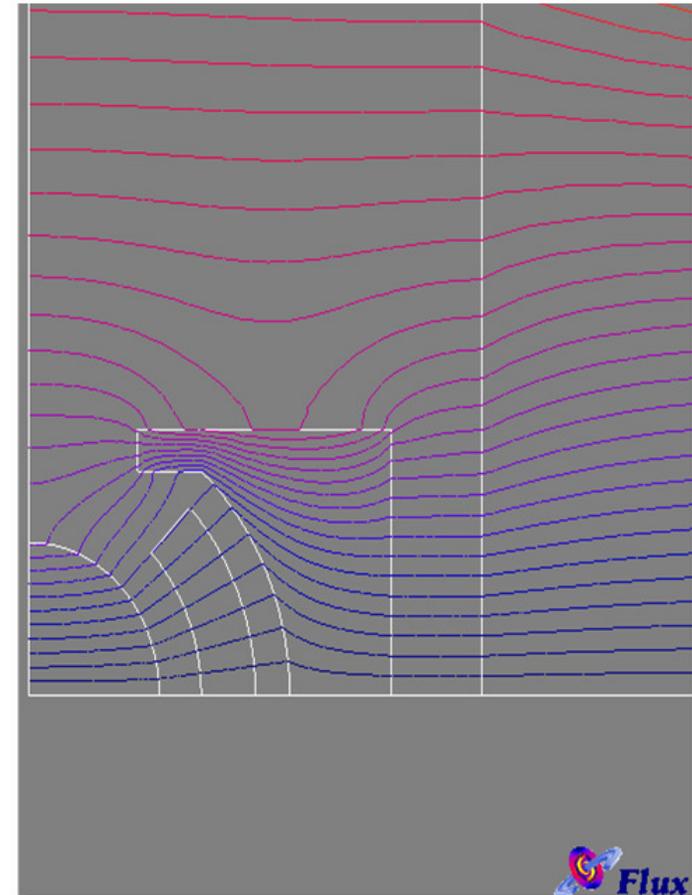


Evolução Diferencial e a Função de Aproximação



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 !

Um tópico **avanzado**: Evolução Diferencial com Mutaçãõ Afetada por Caos (I)

- A Evoluçãõ Diferencial baseia-se principalmente no operador de mutaçãõ.
- O mutante $u(t+1)$ pode ser escrito:

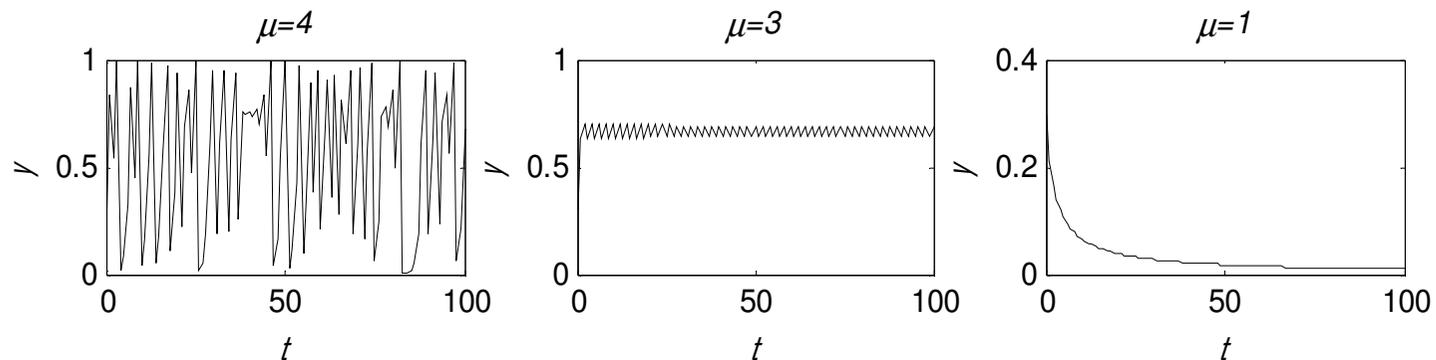
$$v_{i,G+1} = x_{r_1,G} + F \cdot (x_{r_3,G} - x_{r_2,G})$$

- E normalmente F vale é constante
-

Evolução Diferencial com Mutação Afetada por Caos (II)

- A proposta: ao invés de ter-se MF constante, ele passa a ser variável, baseado em um Mapa Logístico:

$$y(t) = \mu \cdot y(t-1) \cdot [1 - y(t-1)]$$



Adota-se $\mu=4$ $F= y(t)$ tem comportamento caótico

