

# *Iterated Local Search* (ILS)

Marcone Jamilson Freitas Souza<sup>1,2,3</sup>

Puca Huachi Vaz Penna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Computação

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

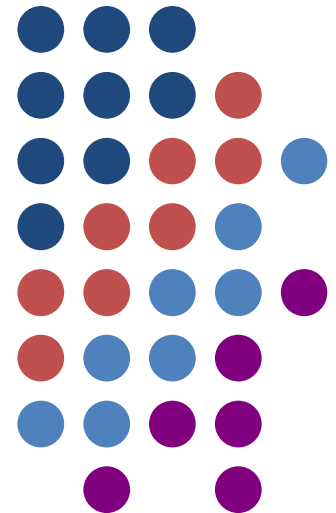
Universidade Federal de Ouro Preto

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Modelagem Matemática e Computacional /  
CEFET-MG

<sup>3</sup> Programa de Pós-graduação em Instrumentação, Controle e Automação de  
Processos de Mineração / ITV/UFOP

[www.decom.ufop.br/prof/marcone](http://www.decom.ufop.br/prof/marcone), [www.decom.ufop.br/puca](http://www.decom.ufop.br/puca)

E-mail: {marcone,puca}@ufop.edu.br





# Histórico do ILS

- Algoritmos precursores:

- Baxter, J. (1981). Local optima avoidance in depot location. Journal of the Operational Research Society, 32(9):815–819.
- E.B. Baum, Iterated descent: A better algorithm for local search in combinatorial optimization problems, Technical report, Caltech, Pasadena, CA, 1986.
- D. S. Johnson. Local optimization and the travelling salesman problem. In Proceedings of the 17th Colloquium on Automata, Languages, and Programming, volume 443 of LNCS, pages 446–461. Springer Verlag, Berlin, 1990.
- O. Martin, S.W. Otto, E.W. Felten. Large-step Markov chains for the traveling salesman problem, Complex Systems, 5:299–326, 1991.
- H. R. Lourenço. Job-shop scheduling: Computational study of local search and large-step optimization methods. European Journal of Operational Research, 83:347–364, 1995.
- O. Martin, S.W. Otto. Combining simulated annealing with local search heuristics, Annals of Operations Research, 63:57-75, 1996.
- N. Mladenovic and P. Hansen. Variable Neighborhood Search. Computers & Operations Research, 24:1097–1100, 1997.



# Histórico do ILS

- “Redescoberto” e nomeado *Iterated Local Search* em:
  - Thomas Stützle. Local Search Algorithms for Combinatorial Problems Analysis, Improvements, and New Applications. PhD thesis, Darmstadt University of Technology, Department of Computer Science, Darmstadt, Germany, 1998.
- Artigos de referência:
  - H.R. Lourenço, O. Martin, T. Stützle. A Beginner’s Introduction to Iterated Local Search. Proceedings of the 4th Metaheuristic International Conference, Porto, Portugal, 2001.
  - H.R. Lourenço, O. Martin, T. Stützle. Iterated Local Search: Framework and Applications. In: Gendreau, M., Potvin, J.-Y. (eds.) Handbook of Metaheuristics. International Series in Operations Research & Management Science, Springer, v. 272, p. 129-168, 2019.
  - H. Ramalhinho, T. Stützle. Iterated local search, iterated greedy and applications. TOP 33:229-261, 2025.



# Fundamentação do ILS

- Método que consiste em explorar o espaço de soluções por meio de perturbações em ótimos locais
- Pressuposto:
  - Os ótimos locais de um problema de otimização podem ser gerados a partir de perturbações em uma solução ótima local corrente
- A perturbação precisa ser suficientemente forte para permitir que a busca local explore diferentes soluções e fraca o suficiente para evitar um reinício aleatório



# Componentes do ILS

- GeraSolucaoInicial:
  - Produz uma solução inicial
- BuscaLocal:
  - Retorna uma solução melhorada
- Perturbacao:
  - Modifica a solução corrente guiando a uma solução intermediária
- CriterioAceitacao:
  - Decide de qual solução a próxima perturbação será aplicada



# Algoritmo

## Algoritmo ILS

$s_0 \leftarrow \text{SolucaoInicial}$

$s \leftarrow \text{BuscaLocal}(s_0)$

$\text{iter} \leftarrow 0;$  {Contador do número de iterações}

$\text{MelhorIter} \leftarrow \text{Iter};$  {Iteração em que ocorreu melhora}

**enquanto** ( $\text{iter} - \text{MelhorIter} < \text{ILS}_{\max}$ )

$\text{iter} \leftarrow \text{iter} + 1$

$s' \leftarrow \text{perturbação}(s, \text{histórico})$

$s'' \leftarrow \text{BuscaLocal}(s')$

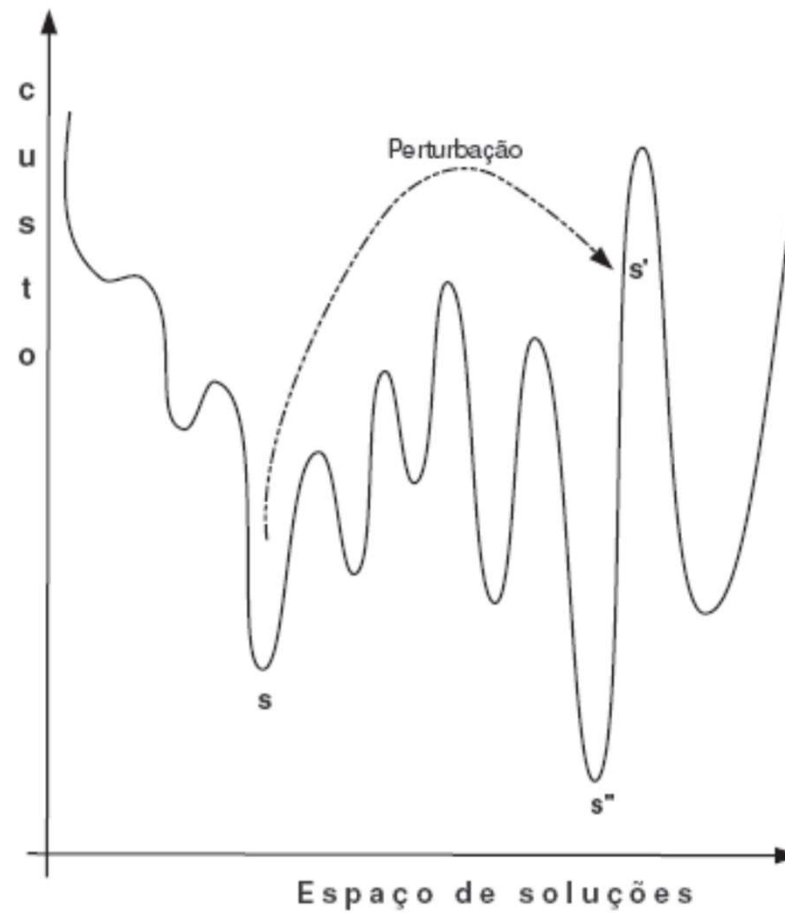
$s \leftarrow \text{CritérioAceitacao}(s, s'')$

**fim-enquanto**

**retorne**  $s$

**se** (  $f(s'') < f(s)$  ) **faça**  
 $s \leftarrow s''$   
**fim-se**

# Ilustração do funcionamento do ILS





# Intensificação x Diversificação

- Combina intensificação com diversificação
- Intensificação:
  - Consiste em explorar a região atual de busca
  - Feita pelo procedimento de busca local
- Diversificação:
  - Consiste em mudar a região de busca
  - É obtida aumentando-se gradativamente a quantidade de perturbações (ou tamanho/intensidade/nível da perturbação) na solução ótima local corrente.



# Descrição do método para um problema de minimização



```
s0 ← SolucaoInicial();  
s ← BuscaLocal(s0);  
iter ← 0; MelhorIter ← Iter; nivel ← 1;  
enquanto ( iter - melhorIter < ILSmax ) faça  
    iter ← iter + 1;  
    s' ← perturbacao(s, nivel);  
    s'' ← BuscaLocal(s');  
    se ( f(s'') < f(s) ) então  
        s ← s'';  
        melhorIter ← iter;  
        nivel ← 1;  
    senão  
        nivel ← nivel + 1;  
    fim-se  
fim-enquanto
```

# Descrição do método de perturbação



```
procedimento perturbação(s, nível)
  s' ← s;
  nmodificacoes ← nível + 1;
  cont ← 1;
  enquanto ( cont ≤ nmodificacoes ) faça
    Aplique movimento aleatório em s';
    cont ← cont + 1;
  fim-enquanto
retorne s'
```

# Smart ILS



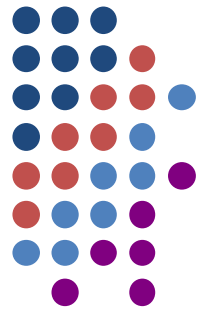
- Ideia básica:
  - Aumentar o nível de perturbação somente após algumas tentativas sem sucesso em um mesmo nível de perturbação
  - Justificativa: a região de busca pode não ter sido explorada adequadamente
- Usado em diversos trabalhos, entre eles:
  - Coelho, V.N.; Grasas, A.; Ramalhinho, H.; Coelho, I.M.; Souza, M.J.F.; Cruz, R.C. An ILS-based algorithm to solve a large-scale real heterogeneous fleet VRP with multi-trips and docking constraints. *European Journal of Operational Research* 250: 367-376, 2016.
- Nomeado *Smart ILS* em:
  - Reinsma, J. A.; Penna, P. H. V.; Souza, M. J. F. Um algoritmo simples e eficiente para resolução do problema do caixeiro viajante generalizado. *Anais do 50º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro: SOBRAPO, 2018.

# Smart ILS



- Renomeado *Enhanced ILS* (E-ILS) em:
  - Oliveira, F. A.; de Sá, E. M.; de Souza, S. R.; Souza, M. J. F. ILS-based algorithms for the profit maximizing uncapacitated hub network design problem with multiple allocation. *Computers & Operations Research* 157:e106252, 2023.

# Smart ILS / E-ILS



```
s0 ← SolucaoInicial();  
s ← BuscaLocal(s0);  
iter ← 0; MelhorIter ← Iter; nivel ← 1; nvezes ← 1;  
enquanto ( iter - melhorIter < ILSmax ) faça  
    iter ← iter + 1;  
    s' ← perturbacao(s, nivel);  
    s'' ← BuscaLocal(s');  
    se ( f(s'') < f(s) ) então  
        s ← s''; melhorIter ← iter; nivel ← 1; nvezes ← 1;  
    senão  
        se ( nvezes ≥ vezesMax ) então  
            nivel ← nivel + 1; nvezes ← 1;  
        senão  
            nvezes ← nvezes + 1;  
        fim-se  
    fim-se  
fim-enquanto
```