

## Algoritmo Genético para o Problema de Instalação de Fibras em Redes Óticas

Natã Goulart, Sérgio R. de Souza  
Departamento de Computação  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
Av. Amazonas 7675, Belo Horizonte, 30260-250  
{natan,sergio}@dppg.cefetmg.br

Luiz G. S. Dias, Thiago F. Noronha  
Departamento de Ciência Computação  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, 31270-901  
{lgsd,tfn}@dcc.ufmg.br

### Resumo

A tecnologia utilizada em redes óticas, chamada *Wavelength Division Multiplexing* - WDM, permite um melhor aproveitamento das fibras óticas através da utilização de dezenas de canais de comunicação em uma única fibra. Este trabalho estuda o Problema de Instalação de Fibras em Redes Óticas WDM - PIFRO. Este problema consiste em rotear um conjunto de conexões previamente conhecidas através de uma rede ótica. O objetivo é minimizar o custo total dos dispositivos necessários para a operação da rede. Uma heurística baseada em algoritmos genéticos é proposta para resolver o problema. Experimentos computacionais mostraram que a nova heurística encontrou soluções melhores do que as heurísticas disponíveis na literatura de PIFRO.

**Palavras-Chave:** Instalação de Fibras, Redes Óticas, Algoritmos Genéticos, RWA, WDM, heurísticas.

**Área Principal:** MH - Metaheurísticas, TEL, SI - PO em Telecomunicações e Sistemas de Informações

### Abstract

The technology used in optical networks called *Wavelength Division Multiplexing* - WDM allows a better use of fiber optics through the use of dozens of channels communication in a single fiber. This paper studies the problem Fiber Installation in Optical Network WDM. This problem is defined as route a set of connections previously known through an optical network. The goal is to minimize the total cost of the devices needed for network operation. A heuristic based on genetic algorithms is proposed to solve problem. Computational experiments showed that the new heuristic found better solutions than heuristics available in the literature of PIFRO.

**KEYWORDS:** Fiber Installation, Optical Networks, Genetic Algorithms, RWA, WDM, heuristics.

**Main Area:** MH - metaheuristics, TEL, SI - PO Telecommunications and Systems Information

## 1 Introdução

Em redes óticas as informações são transmitidas através de fibras óticas. Cada enlace de fibra ótica opera a taxas de terabits por segundo, o que é muito mais rápido do que os dispositivos eletrônicos utilizados para transmissão e recepção de dados. A tecnologia de divisão e multiplexação de comprimentos de onda (do inglês *Wavelength Division Multiplexing* - WDM) permite a utilização de toda a capacidade de uma fibra ótica com a transmissão de dados através de vários canais simultaneamente. Esta tecnologia permite que o sinal ótico seja dividido em dezenas de canais óticos, tendo cada sinal um comprimento de onda diferente. Desta forma, um sinal não interfere na transmissão dos outros comprimentos de onda. Caminhos Óticos (do inglês *lightpaths*) são conexões entre origens e destinos onde não há conversão do sinal ótico para o domínio eletrônico nos nós intermediários do caminho. Desta forma não ocorrem os atrasos causados por estas transformações. Dois caminhos óticos podem utilizar o mesmo comprimento de onda desde que não compartilhem nenhum enlace.

Dado uma rede ótica com um conjunto de caminhos óticos que devem ser estabelecidos, o problema de roteamento e atribuição de comprimentos de onda em redes WDM (*Routing and Wavelength Assignment* - RWA, em inglês) consiste em rotear um conjunto de caminhos óticos e atribuir um comprimento de onda para cada caminho de modo que os caminhos óticos que compartilhem algum enlace tenham comprimentos de onda diferentes. Versões diferentes de RWA são caracterizadas por diferentes critérios de otimização e padrões de tráfego, o que pode ser verificado em Choi et al. (2000) e Zang et al. (2000).

Neste trabalho é abordado uma variante na qual os caminhos óticos são conhecidos previamente. Neste problema, dado um grafo direcionado  $N = (X, A)$  representando a topologia da rede, onde  $X$  é o conjunto de nós (roteadores centrais) e  $A$  o conjunto de fibras que conectam estes nós. Seja  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_\ell\}$  o conjunto de demandas de caminhos óticos, cada um definido por um par de nós em  $X$ . Podem existir mais de um caminho ótico ligando dois nós caso a demanda seja maior do que a largura de banda suportada por um caminho ótico que é de cerca de 10 Gbps. O Problema de Instalação de Fibras em Redes Óticas - PIFRO consiste em rotear todas as demandas  $T$ , minimizando o custo dos equipamentos necessários para a operação da rede. Os equipamentos óticos utilizados nestas redes tem o custo de milhões de dólares e por isso, qualquer percentual do custo da rede não pode ser desprezado. Este problema foi proposto em Antonakopoulos e Zhang (2007) como parte de um esforço do *Bell Labs* em desenvolver métodos de otimização para redes óticas.

Neste artigo, foi considerado apenas o equipamento com o maior custo para a operação da rede. O ROADM (do inglês *Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer*) permite que sinais óticos sejam transportados através dos nós, de uma porta de entrada para qualquer porta de saída sem a necessidade de conversão do sinal ótico para o domínio eletrônico. Como não há transformações dos sinais entre os domínios óticos e eletrônicos, não há perda de velocidade na transmissão dos dados. Um ROADM pode ter muitas portas cada uma conectada a uma fibra ótica WDM. Para conectar dois nós, são utilizadas duas portas ROADM. O custo do equipamento é linearmente proporcional ao número de portas instaladas.

Seja uma rota  $P_i$  para cada caminho ótico  $t_i \in T$ , o custo de transportar  $\omega$  caminhos óticos através de um enlace  $a \in A$  pode ser calculado como:

$$F_{WDM}(\omega) = 2 * c_{ROADM} \cdot \left\lceil \frac{\omega}{\mu} \right\rceil \quad (1)$$

onde,  $c_{ROADM}$  é o custo de uma porta ROADM e  $\mu$  é o número de comprimentos de

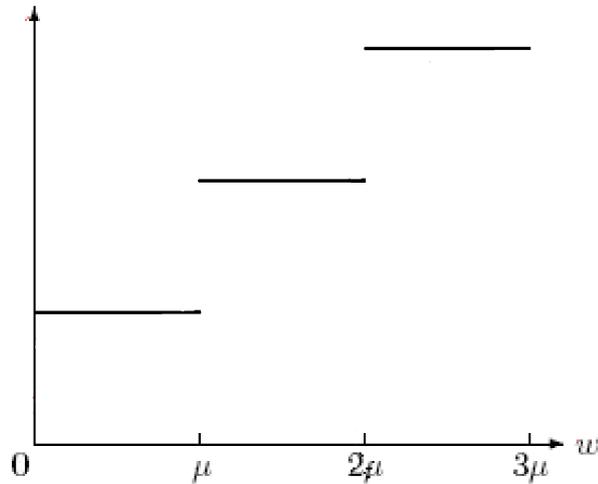


Figure 1: Representação Gráfica de  $F_{WDM}(\omega)$  (Equação 1).

onda suportados por uma fibra WDM, atualmente  $\mu = 100$ . Pode-se verificar que  $\lceil \frac{\omega}{\mu} \rceil$  é o número de fibras necessárias para transportar  $\omega$  comprimentos de onda. Na Figura 1 está representada a função  $F_{WDM}$ . O custo total da rede pode ser obtido através da soma de  $F_{WDM}$  para todos os enlaces. Este problema pode ser relacionado com o problema Buy-at-Bulk descrito em Andrews (2004); Awerbuch e Azar (1997); Chekuri et al. (2006).

As melhores heurísticas encontradas na literatura de PIFRO são apresentadas na Seção 2. Na Seção 3 é proposta uma nova heurística para PIFRO baseada em algoritmos genéticos com chaves aleatórias (Bean (1994); Gonçalves e Resende (2009)). Resultados computacionais para instâncias de pequeno e médio porte são apresentadas na Seção 4. Considerações finais são descritas na Seção 5.

## 2 Trabalhos Relacionados

Em Antonakopoulos e Zhang (2007), os autores sugerem que os subproblemas roteamento e atribuição de comprimentos de onda devem ser tratados separadamente. Eles sugerem que as heurísticas para PIFRO devem focar no problema de roteamento pois o problema de atribuição de comprimentos de onda pode ser resolvido como um problema de coloração Grafos em um grafo de conflitos  $G = (V, E)$  onde os vértices em  $V$  correspondem aos caminhos óticos em  $T$  e existe uma aresta  $e \in E$  entre cada par de vértices cujas rotas associadas compartilham alguma fibra (Hyytiä e Virtamo (1998); Noronha e Ribeiro (2006); Galinier e Hertz (2006); Hertz e de Werra (1987)). São atribuídos os mesmos comprimentos de onda para os caminhos óticos cujos nós correspondentes tem a mesma cor.

Duas heurísticas para PIFRO foram propostas em Antonakopoulos e Zhang (2007). A heurística **Greedy** é uma heurística gulosa seguida por um processo iterativo de refinamento similar a uma busca local. A heurística **PSC** é semelhante a **Greedy** mas usa uma função de custo gulosa diferente. As duas heurísticas inicialmente constroem uma permutação aleatória dos caminhos óticos em  $T$ . A cada iteração é calculada para cada demanda a rota que resulta no menor aumento de custo segundo a função de custo gulosa utilizada pela heurística. Após todas as demandas estarem roteadas, podem existir novas rotas com menores custos para os caminhos óticos devido a inserção dos dispositivos instalados na

rede para atender todas as demandas. Por isto, as heurísticas executam novas avaliações sobre todo o conjunto de caminhos óticos a fim de encontrar rotas que resultem em soluções com custo inferior aquelas que utilizavam a rota selecionadas anteriormente. Caso exista, é realizada a troca das rotas. Este processo é executado até que não seja mais possível reduzir o custo da solução roteando apenas um caminho ótico.

Enquanto a heurística Greedy utiliza  $F_{WDM}$  (Equação 1) como função de custo gulosa, a heurística PSC utiliza uma função mais sofisticada. Seja  $\mu$  o número de comprimentos de onda suportados por uma fibra ótica,  $p$  o passo corrente do algoritmo sobre o conjunto de demandas,  $P$  um parâmetro com valor inteiro e  $f(x) = \lfloor x \rfloor + \sqrt{x - \lfloor x \rfloor}$ . A função custo gulosa utilizada pela heurística PSC é dada pela Equação (2).

$$F'_{WDM}(\omega, p) = 2 * c_{ROADM} \cdot \left[ \frac{p}{P} \cdot \left\lceil \frac{\omega}{\mu} \right\rceil + \frac{P-p}{P} \cdot f\left(\frac{\omega}{\mu}\right) \right] \quad (2)$$

No primeiro passo do algoritmo iterativo de refinamento da heurística PSC,  $p$  é igual a zero. Neste momento a função de custo é equivalente a  $f(\frac{\omega}{\mu})$ . A cada avaliação da heurística sobre o conjunto de demandas, o valor  $p$  é incrementado. Desta forma,  $F'_{WDM}$  converge gradualmente para  $F_{WDM}$ . A velocidade da convergência é definida pelo parâmetro  $P$  que através dos experimentos em Antonakopoulos e Zhang (2007) foi definido como 5.

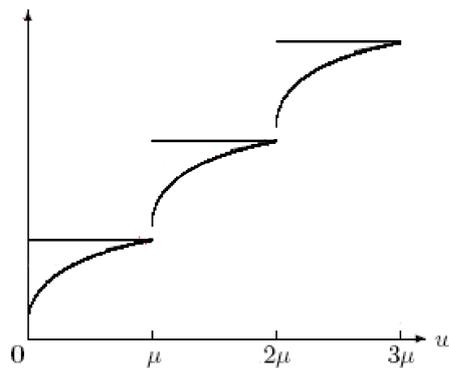


Figure 2: Representação gráfica de  $F'_{WDM}(\omega)$  (Equação 2) para  $p = 1$  e  $P = 5$ .

### 3 Algoritmo Genético Baseados em Chaves Aleatórias

Nesta seção é proposto um algoritmo genético baseado em chaves aleatórias que utiliza as melhores heurísticas da literatura para PIFRO através de um *framework* de um algoritmo evolucionário. A motivação para se aplicar esta metaheurística para PIFRO é sua aplicação bem sucedida para vários outros problemas de otimização em redes de computadores Gonçalves e Resende (2009); Buriol et al. (2005, 2007); Gonçalves e Resende (2004); Reis et al. (2011); Noronha et al. (2010a); Buriol et al. (2010), assim como em outros problemas de otimização combinatória Gonçalves et al. (2005); Lei (2010); Gonçalves e de Almeida (2002); Wang e Uzsoy (2002); Samanlioglu et al. (2008); Arulselvan et al. (2007); Malve e Uzsoy (2007); Snyder e Daskin (2006).

O Algoritmo Genético para o Problema de Instalação de Fibras em Redes Óticas - GA-PIFRO utiliza uma população de cromossomos que consistem de vetores de números reais. Podemos representar uma solução da seguinte maneira: Existe um número real no

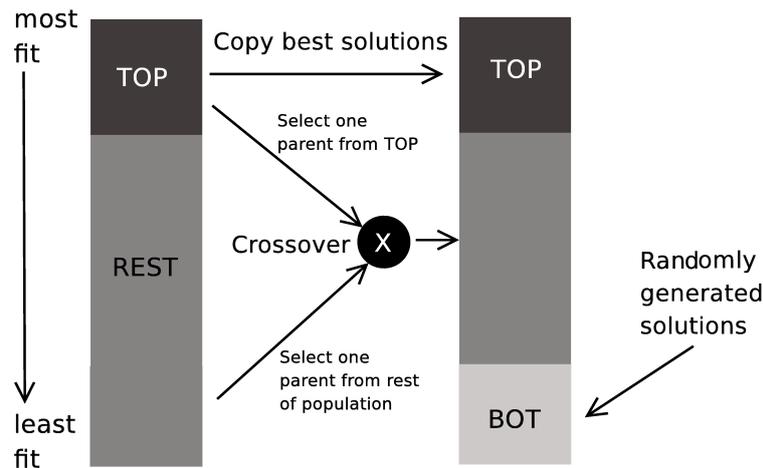


Figure 3: Transição entre gerações no Algoritmo Genético com Chaves Aleatórias.

intervalo  $[0,1]$  para cada caminho ótico do conjunto de demandas de caminhos óticos em  $T$  e a solução representada por um cromossomo é decodificada em dois passos. Primeiro as demandas dos caminhos óticos são ordenadas em uma ordem não crescente de acordo com o valor das suas chaves. A ordem resultante é usada como entrada para a heurística *PSC*. A solução retornada pela heurística é a solução representada pelo cromossomo e o custo correspondente é usado com valor de adaptabilidade do cromossomo.

O operador de crossover utilizado foi proposto em Spears e deJong (1991). No *parameterized uniform crossover*, a população é dividida em dois conjuntos de acordo com os valores de adaptabilidade dos cromossomos. Cada filho recebe suas chaves da porção da população mais apta, ou *TOP* com uma probabilidade 0.7 e a chave é herdada do cromossomo pertencente a população menos apta com probabilidade 0.30.

GA-PIFRO não faz uso dos operadores tradicionais de mutação onde partes dos cromossomos são alteradas com pequenas probabilidades. Ao invés disso, em cada geração um número fixo de soluções mutantes são inseridas na população. Uma parte dos cromossomos menos aptos são substituídos por outros cromossomos gerados aleatoriamente de forma semelhante a geração inicial da população. Através desta operação de mutação pretende-se escapar de mínimos locais.

As chaves associadas a cada caminho ótico são geradas aleatoriamente na população inicial. A cada geração a população é dividida em dois conjuntos: *TOP* e *REST*. Conseqüentemente o tamanho da população é igual a  $TOP + REST$ . As melhores soluções são mantidas na porção *TOP* da população. Como ilustrado na Figura 3, os cromossomos da porção *TOP* da população são copiados sem nenhuma alteração para a próxima geração. Os novos cromossomos mutantes são colocados na porção *BOT* da população. Os elementos restantes da nova população são obtidos através do cruzamento sendo um pai escolhido aleatoriamente de *TOP* e o outro pai escolhido aleatoriamente de *REST*. Os cromossomos da porção *TOP* da população tem uma chance maior de gerar filhos porque uma pai pode ser escolhido mais de uma vez ao longo das operações de cruzamento. Sendo assim,  $|REST| - |BOT|$  cromossomo filhos são gerados a cada geração. O tamanho dos conjuntos *TOP*, *REST* e *BOT* são parâmetros do algoritmo. GA-PIFRO termina quando um tempo máximo de execução é alcançado.

Table 1: Resultados para as heurísticas PSC e GA-PIFRO.

Name	$ X $	$ A $	$ T $	PSC	GA-PIFRO	$\frac{PSC-GA}{PSC}$
abilene	12	15	132	17333.33	15000.00	13.46
atlanta	15	12	210	26333.33	23666.67	10.13
dfn-bwin	10	45	90	41333.33	39000.00	5.65
dfn-gwin	11	47	110	46666.67	44333.33	5.00
nobel-us	14	21	91	24666.67	21000.00	14.86
pdh	11	34	24	30333.33	28666.67	5.49
polska	12	18	66	20333.33	17000.00	16.39
di-yuan	11	42	22	39666.67	38000.00	4.20
geant	22	36	462	53333.33	51000.00	4.37
newyork	16	49	240	62000.00	59333.33	4.30
Average:						8.39

## 4 Experimentos Computacionais

Devido a restrições de confidencialidade sobre redes proprietárias, os autores em Antonakopoulos e Zhang (2007) não apresentaram informações detalhadas sobre as instâncias utilizadas em seus experimentos e nem valores reais de custos para as heurísticas propostas. Neste trabalho foi avalado o desempenho dos algoritmos *PSC* e *GA-PIFRO* utilizando um conjunto de instâncias para PIFRO obtidas de instâncias clássicas da biblioteca Survivable Network Design Library - SNDlib, disponível em Zuse-Institute (2009). SNDlib é uma biblioteca de instâncias de testes para problemas de otimização em redes.

Do conjunto de instâncias da SNDlib utilizado neste trabalho, algumas foram obtidas através de parcerias entre instituições de ensino, fabricantes de equipamentos e operadoras de rede: DFN-BWIN, DFN-GWIN, PDH e POLSKA. As instâncias citadas a seguir são referências em grandes projetos pesquisas na Europa tendo como participantes grandes operadoras de telecomunicação e fabricantes de equipamentos Orłowski et al. (2007): ABILENE, GEANT e NOBEL-US. O grupo final de instâncias foi utilizado por outros autores em problemas de otimização e disponibilizado para a biblioteca SNDlib. Algumas destas instâncias foram alteradas através de, por exemplo, aumento do número de links, para torná-las mais desafiadoras: ATLANTA, DI-YUAN e NEWYORK.

A matriz de tráfego de cada instância é assimétrica, isto é, pode existir uma demanda de um nó  $i$  para um nó  $j$  e não existir uma demanda no caminho contrário. O valor definido para um braço ROADM foi  $C_{ROADM} = 1000$ .

As heurísticas PSC e a GA-PIFRO foram codificadas utilizando a linguagem de programação C++ e compiladas com o compilador *GNU GCC* versão 4.4.3. Os experimentos foram executados em um computador com processador Intel Dual Core 1.8 GHz com 1 GB de memória RAM. Como sugerido em Noronha et al. (2010b), o tamanho dos conjuntos *TOP*, *REST* e *BOT* no GA-PIFRO foi configurado  $0.25 \cdot |X|$ ,  $0.75 \cdot |X|$  e  $0.05 \cdot |X|$ , respectivamente, onde  $|X|$  representa o tamanho da população que é igual ao número de vértices da instância. O tempo limite de execução dos algoritmos GA-PIFRO foi configurado para 20 minutos.

Os resultados numéricos dos experimentos estão listados na Tabela 1. As três primeiras colunas da tabela informam o nome, o número de nós e o número de enlaces para cada

instância. A quarta coluna apresenta o número de demandas. As próximas três colunas apresentam o custo médio da rede obtida em  $t$  execuções dos algoritmos PSC e GA-PIFRO, respectivamente. Para facilitar a visualização dos dados, os números apresentados nas colunas 5 e 6 estão divididos por 1000. A sétima coluna mostra a melhora média relativa de GA-PIFRO sobre PSC ( $\frac{PSC-GA}{PSC}$ ).

Os custos das redes obtidas por GA-PIFRO foram até 14.86% inferiores aos obtidos por PSC na instância *nobel-us* e 8.39% em média.

## 5 Considerações Finais

Este trabalho abordou o problema de instalação de fibras em redes de fibra ótica. Uma heurística baseada em algoritmos genéticos com chaves aleatórias foi proposta para resolver este problema. Experimentos computacionais mostraram que a nova heurística reduziu em até 14.86% o custo das redes quando comparadas com as heurísticas existentes na literatura.

## References

- Andrews, M. (2004). Hardness of buy-at-bulk network design. *Proceedings of the 45th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science*, p. 115–124, Washington.
- Antonakopoulos, S. e Zhang, L. (2007). Heuristics for fiber installation in optical network optimization. *Proceedings of 2007 IEEE Global Telecommunications Conference*, Washington DC, USA.
- Arulselvan, A.; Commander, C. e Pardalos, P. (2007). A random keys based genetic algorithm for the target visitation problem. Pardalos, Panos; Murphey, Robert; Grundel, Don e Hirsch, Michael, editors, *Advances in Cooperative Control and Optimization*, volume 369 of *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, p. 389–397. Springer Berlin Heidelberg.
- Awerbuch, B. e Azar, Y. (1997). Buy-at-bulk network design. *Proceedings of the 38th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, p. 542–547, Washington.
- Bean, J. C. (1994). Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization. *ORSA Journal on Computing*, v. 2, p. 154–160.
- Buriol, L. S.; Hirsch, M.; Pardalos, P.; Querido, T.; Resende, M. G. C. e Ritt, M. (2010). A biased random-key genetic algorithm for road congestion minimization. *Optimization Letters*, v. 4, p. 619–633.
- Buriol, L. S.; Resende, M. G. C.; Ribeiro, C. C. e Thorup, M. (2005). A hybrid genetic algorithm for the weight setting problem in OSPF/IS-IS routing. *Networks*, v. 46, p. 36–56.
- Buriol, L. S.; Resende, M. G. C. e Thorup, M. (2007). Survivable IP network design with OSPF routing. *Networks*, v. 49, p. 51–64.
- Chekuri, C.; Hajiaghayi, M. T.; Kortsarz, G. e Salavatipour, M. R. (2006). Approximation algorithms for non-uniform buy-at-bulk network design. *Proceedings of the 47th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science*, p. 677–686, Washington, DC, USA. ISBN 0-7695-2720-5.

- Choi, J. S.; Golmie, N.; Lapeyrere, F.; Mouveaux, F. e Su, D. (2000). A functional classification of routing and wavelength assignment schemes in DWDM networks: Static case. *Proceedings of the 7th International Conference on Optical Communication and Networks*, p. 1109–1115, Paris.
- Galinier, P. e Hertz, A. (2006). A survey of local search methods for graph coloring. *Computers and Operations Research*, v. 33, p. 2547–2562.
- Gonçalves, J. F.; Mendes, J. J. M. e Resende, M. G. C. (2005). A hybrid genetic algorithm for the job shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, v. 167, p. 77–95.
- Gonçalves, J. F. e Resende, M. G. C. (2004). An evolutionary algorithm for manufacturing cell formation. *Computers and Industrial Engineering*, v. 47, p. 247–273.
- Gonçalves, J. F. e Resende, M. G. C. (2009). Biased random-key genetic algorithms for combinatorial optimization. *To appear in J. of Heuristics*, v. .
- Gonçalves, José Fernando e deAlmeida, Jorge Raimundo. (2002). A hybrid genetic algorithm for assembly line balancing. *Journal of Heuristics*, v. 8, p. 629–642.
- Hertz, A. e deWerra, D. (1987). Using tabu search techniques for graph coloring. *Computing*, v. 39, p. 345–351.
- Hyytiä, E. e Virtamo, J. (1998). Wavelength assignment and routing in WDM networks. *Fourteenth Nordic Teletraffic Seminar*, p. 31–40, Copenhagen.
- Lei, Deming. (2010). Fuzzy job shop scheduling problem with availability constraints. *Comput. Ind. Eng.*, v. 58, p. 610–617.
- Malve, S. e Uzsoy, R. (2007). A genetic algorithm for minimizing maximum lateness on parallel identical batch processing machines with dynamic job arrivals and incompatible job families. *Comput. Oper. Res.*, v. 34, p. 3016–3028.
- Noronha, T. F.; Resende, M. G. C. e Ribeiro, C. C. (2010)a. A biased random-key genetic algorithm for routing and wavelength assignment. *To appear in Journal of Global Optimization*, v. .
- Noronha, T. F.; Resende, M. G. C. e Ribeiro, C. C. (2010)b. A biased random-key genetic algorithm for routing and wavelength assignment. *Aceito para publicação em Journal of Global Optimization*, v. .
- Noronha, T. F. e Ribeiro, C. C. (2006). Routing and wavelength assignment by partition coloring. *European Journal of Operational Research*, v. 171, p. 797–810.
- Orlowski, S.; Pióro, M.; Tomaszewski, A. e Wessäly, R. (2007). SNDlib 1.0–Survivable Network Design Library. ZIB Report ZR-07-15, Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin. URL <http://www.zib.de/Publications/abstracts/ZR-07-15>. <http://sndlib.zib.de>, submitted to Networks.
- Reis, R.; Ritt, M.; Buriol, L. S. e Resende, M. G. C. (2011). A biased random-key genetic algorithm for ospf and deft routing to minimize network congestion. *International Transactions in Operational Research*, v. 18, p. 401–423.

- Samanlioglu, F.; Ferrell, W. G.Jr. e Kurz, M. E. (2008). A memetic random-key genetic algorithm for a symmetric multi-objective traveling salesman problem. *Comput. Ind. Eng.*, v. 55, p. 439–449.
- Snydera, Lawrence V. e Daskin, Mark S. (2006). A random-key genetic algorithm for the generalized traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, v. 174, p. 38–53.
- Spears, W. e deJong, K. (1991). On the virtues of parameterized uniform crossover. Belew, R. e Booker, L., editors, *Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms*, p. 230–236, San Mateo.
- Wang, Cheng-Shuo e Uzsoy, Reha. (2002). A genetic algorithm to minimize maximum lateness on a batch processing machine. *Comput. Oper. Res.*, v. 29, p. 1621–1640.
- Zang, H.; Jue, J. P. e Mukherjee, B. (2000). A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM networks. *Optical Networks Magazine*, v. 1, p. 47–60.
- Zuse-Institute,. Survivable fixed telecommunication network design, (2009). Online publication in <http://sndlib.zib.de/home.action>, last visited on April 1st, 2011.