

Meta-Heurística Tabu Search para o Planejamento de Redes Ópticas WDM

A. F. Santos, W. F. Giozza e K.D.R Assis*

UNIFACS- Universidade Salvador - Rua Ponciano de Oliveira, 126, Rio Vermelho,
CEP: 41950-275 Salvador-BA, Brasil.

*UFABC - Universidade Federal do ABC, CEP. 6101, Santo André-SP, Brasil.

`alex.ferreira@cc.unifacs.br, giozza@unifacs.br, karcus@ufabc.edu.br`

Resumo. Neste trabalho é apresentada uma estratégia para configurar caminhos ópticos em redes ópticas WDM estáticas. O objetivo é encontrar uma boa topologia virtual para rotear e alocar os comprimentos de onda na camada WDM. Para isto, aplicou-se a meta-heurística Tabu Search para resolver o problema de topologia virtual, no intuito de minimizar o número de comprimentos de ondas necessários na rede óptica.

Palavras-Chave: Redes Ópticas, Tabu Search, Topologia Virtual.

1. Introdução

Nas últimas décadas têm-se observado um enorme crescimento na capacidade de transporte de dados nas fibras ópticas, podendo-se atingir atualmente a marca do Terabit por segundo. No entanto, a velocidade na qual é possível modular sinais eletronicamente, em equipamentos comerciais, não ultrapassa 20Gb/s (com futura expansão para 40Gb/s). Essa grande diferença entre as velocidades de transmissão óptica e processamento eletrônico é o que comumente se denomina gargalo eletrônico (*eletronic bottleneck*) [C.S.R Murtthy and M. Gurusamy, 2002].

A tecnologia ATM (Modo de Transmissão Assíncrono) com o padrão de transmissão SDH (Hierarquia Digital Síncrona) constitui um alargamento desse gargalo, mantendo-se, porém, ainda dentro dos limites de desempenho permitidos pelo processamento eletrônico, sem necessariamente explorar a grande capacidade de transmissão da fibra óptica. A tecnologia mais viável, até o momento, para superar esse descompasso, é a multiplexagem por divisão de comprimento de onda (WDM - *Wavelength Division Multiplexing*), que consiste em modular eletronicamente vários comprimentos de onda por sinais distintos e propagá-los todos ao mesmo tempo na fibra óptica [C.S.R Murtthy and M. Gurusamy, 2002], [H. Zang, J.P. Jue and B. Mukherjee, 2000].

Para o estabelecimento de uma conexão entre dois nós de uma rede óptica WDM, é necessário definirmos os caminhos ópticos por onde o tráfego será encaminhado, formando, desta forma, uma topologia virtual, e posteriormente alocar um conjunto de fibras ópticas e comutadores para atender os caminhos ópticos estabelecidos no passo anterior, isso é definido utilizando a topologia física da rede.

Ao se projetar uma rede WDM, deve-se pensar em soluções (caminhos ópticos) que atendam a toda a demanda de tráfego da rede minimizando a utilização de seus recursos (número de comprimentos de onda, portas etc). Para isto, utilizamos diversos métodos computacionais cujo objetivo é encontrar a melhor solução para o problema de roteamento e alocação de comprimentos de onda (RWA – *Routing and Wavelength Assignment*) [Ramaswami and Sivarajan, 1996].

O problema RWA pode ser classificado em estático e dinâmico. O problema RWA estático pode ter como objetivo minimizar o número de comprimentos de onda necessário para estabelecer uma conexão (*lightpath*), previamente conhecida. Já no problema RWA dinâmico, as conexões não são previamente conhecidas e o objetivo é minimizar a probabilidade de bloqueio das futuras requisições de caminhos ópticos. Neste artigo trabalharemos com o problema de RWA estático.

O objetivo deste trabalho é aplicar a meta-heurística *Tabu Search* [F. Glover and M. Laguna, 1997] ao problema de topologia virtual em redes ópticas. O intuito é encontrar um conjunto de caminhos virtuais que atenda a demanda de tráfego, interligando todos os nós da rede e minimizando o número de comprimentos de onda utilizados.

As próximas seções estão organizadas da seguinte maneira: na seção 2 são abordados os problemas apresentados no estabelecimento de uma conexão entre dois nós de uma rede óptica WDM. A seção 3 apresenta os passos para o funcionamento da meta-heurística *Tabu Search* e a forma que implementamos para resolver o problema de topologia virtual de redes ópticas. A seção 4 apresenta os resultados dos experimentos obtidos. Por fim, na seção 5, estão as considerações finais.

2. Descrição do Problema

Existem dois problemas principais no projeto em uma rede óptica WDM. O primeiro é a criação dos caminhos virtuais, por onde os dados serão encaminhados, obedecendo às restrições impostas pelos equipamentos da rede (transmissor/receptor, conversores de comprimento de onda, capacidade de transmissão do enlace, etc.). O segundo é o estabelecimento das conexões juntamente com o roteamento e alocação dos comprimentos de onda, definidas no problema anterior, sobre a topologia física da rede. Ambos os problemas podem ser resolvidos através de métodos matemáticos, como a Programação Linear (PL), desde que as variáveis tenham valores fracionários (contínuas), ou Programação Linear Inteira Mista (MILP), caso as variáveis sejam inteiras.

No entanto, os problemas citados acima pertencem a classe dos problemas NP (*Non-deterministic Polynomial time*), ou seja, à medida que o número de nós da rede cresce, o processamento computacional aumenta exponencialmente e, devido a isto, estes problemas tornam-se intratáveis computacionalmente. Desta forma, tem-se a necessidade de utilizar métodos ou estratégias que busque bons resultados, eventualmente o melhor, em tempo computacional acessível. Para isto utilizam-se métodos meta-heurísticos [Glover, Fred; Kochenberger, Gary A, 2003].

Neste trabalho utiliza-se a meta-heurística *Tabu Search* para resolver o problema de topologia virtual de redes ópticas. Posteriormente, serão roteados e alocados os comprimentos de onda que serão utilizados para estabelecer a conexão entre os nós da

rede, definidos na topologia virtual, e para isto, serão utilizados os algoritmos de Dijkstra [Cormen, Charles, Leiserson, Ronald, Clifford, 2001] que fornece o caminho de menor distância entre um par fonte-destino qualquer da rede, e um algoritmo “guloso”, semelhante ao *First-Fit* [H. Zang, J.P. Jue and B. Mukherjee, 2000], no qual além de alocar cores (equivalente a comprimentos de onda) minimiza o número das mesmas.

3. Meta-Heurística *Tabu Search*

A meta-heurística *Tabu Search* (busca tabu - BT) foi desenvolvida por [Glover, 1989]. Sua principal característica é a utilização de estratégias que procuram imitar o processo de memória dos seres humanos.

A busca tabu é constituída por métodos que exploram um espaço de soluções, movimentando-se de uma solução vizinha para outra, em busca do melhor resultado. Os caminhos percorridos são gravados em uma estrutura de memória chamada de lista tabu. Esta lista contém as soluções que foram percorridas ao longo da busca e que devem ser evitadas. Isto é feito para impedir a ocorrência de ciclos e retrocessos na busca.

No entanto, podemos voltar a explorar, novamente, algumas soluções que estão contidas na lista tabu, mas para isto, é necessário que algum critério de quebra de restrição seja aceito. Tais critérios são chamados de critérios de aspiração.

Os critérios de aspiração são técnicas que permitem aceitar certos movimentos tabu, julgados muito interessantes para o prosseguimento da pesquisa. O mais simples dos critérios de aspiração consiste em aceitar todo movimento em direção a uma solução que melhore o registro. Este critério é quase unanimemente adotado na maior parte das aplicações [Noronha, Thiago, Aloise, Silva, 2001].

A meta-heurística *Tabu Search* é composta pelos seguintes passos:

Passo 1: Escolha de uma solução inicial (s_0) através de uma heurística que pode ser de caráter aleatório ou determinado. Na implementação deste trabalho, utiliza-se a heurística MLDA [Ramaswami and Sirvajan, 1996] como solução inicial.

Passo 2: A solução inicial é registrada na lista tabu e adotada como solução atual e final (melhor solução obtida até o momento).

Passo 3: A partir da solução atual, escolhe-se uma solução, a melhor, dentre um conjunto de soluções vizinhas. Esta, independente de ser a melhor ou pior do que a atual, será registrada e passará a ser a solução atual.

Passo 4: Analisa-se a solução Atual, caso esta solução seja a melhor encontrada até o momento, ela também passa a ser solução final.

Passo 5: Verifica-se o numero fixo de iterações estabelecidas para o termino da busca, caso tenha iterações a serem feitas voltamos para o passo 3 e continuamos a busca até que um número fixo de iterações seja alcançado.

Ao final da busca tabu, a melhor solução encontrada para o problema proposto esta contida na variável solução final.

4. Resultados

Para a simulação, utiliza-se a meta-heurística *Tabu Search* comparando-a com as heurísticas MLDA (*Minimum-delay Logical Topology Design Algorithm*), RLDA (*Random Logical Topology Design Algorithm*) e HLDA (*Heuristic Logical Topology Design Algorithm*) citadas em [Ramaswami and Sirvajan, 1996]. Os dados de entrada são: 1) a matriz de tráfego, 2) o grau virtual (número de transmissores/ receptores) e 3) a topologia física da rede. A saída do algoritmo gera: 1) os caminhos ópticos (b_{ij} 's), 2) roteamento dos b_{ij} 's na topologia física e 3) o número de comprimentos de ondas necessários para a rede.

Para as simulações, utilizaram-se duas topologias físicas distintas: a rede óptica do projeto kyatera [www.kyatera.fapesp.br; 2007], que contém 10 nós e 9 pares de enlaces físicos interligando cidades do Estado de São Paulo e Santa Rita do Sapucaí-MG (Figura 3); e a rede hipotética brasileira, [Assis et al, 2002] que tem 12 nós e 20 pares de enlaces físicos unidirecionais, interconectando alguns estados do Brasil (Figura 4). As matrizes de tráfego, de ambas as redes, foram geradas aleatoriamente de uma distribuição uniforme entre 0 e 1.

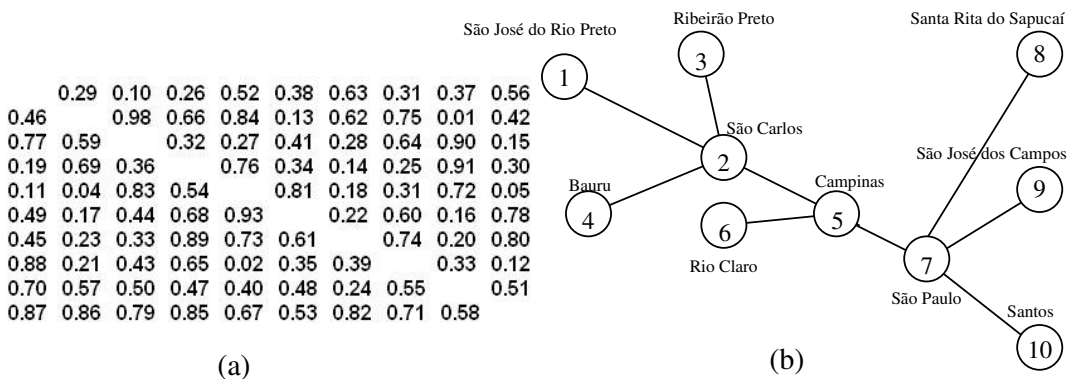


Figura 3. a) Matriz de Tráfego do Projeto Kyatera. b) Rede Óptica do projeto Kyatera

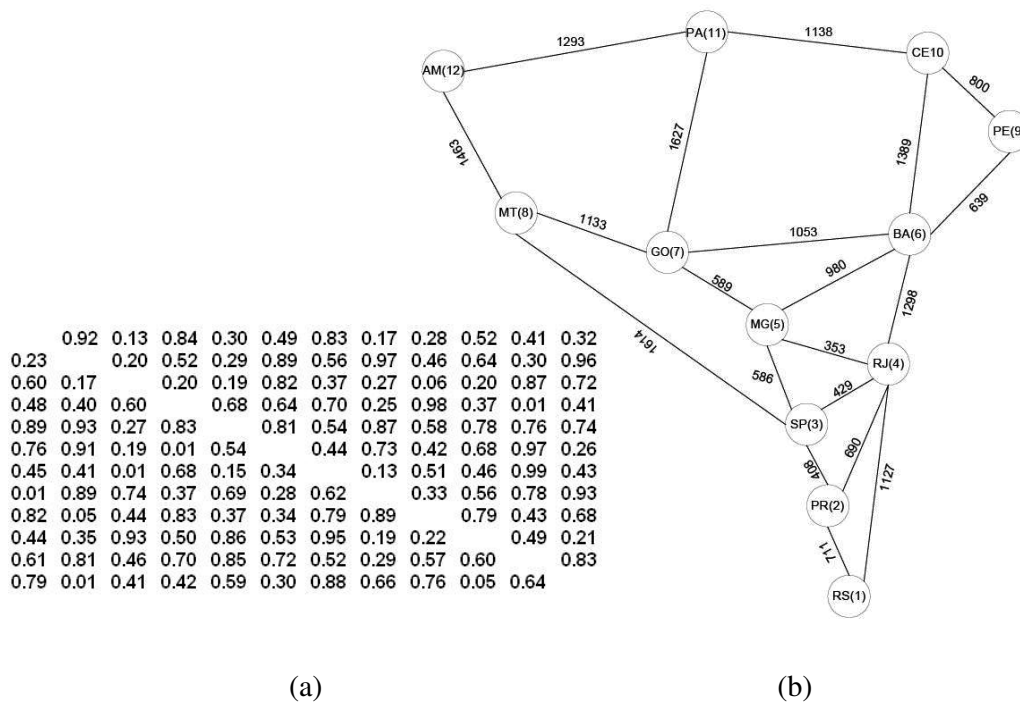


Figura 4. a) Matriz de Tráfego da Rede Brasileira. b) Rede Hipotética Brasileira

As figuras 5 e 6 mostram os resultados das comparações entre as heurísticas, referenciadas anteriormente, com a meta-heurística *Tabu Search*. Nessas figuras, está representado o número de comprimentos de onda em função do grau lógico.

Em ambas as redes, o número de comprimentos de onda utilizado pela meta-heurística *Tabu Search* foi menor que o das três heurísticas. Isso mostra que, nessas topologias, a meta-heurística consegue obter resultados melhores que os tradicionais.

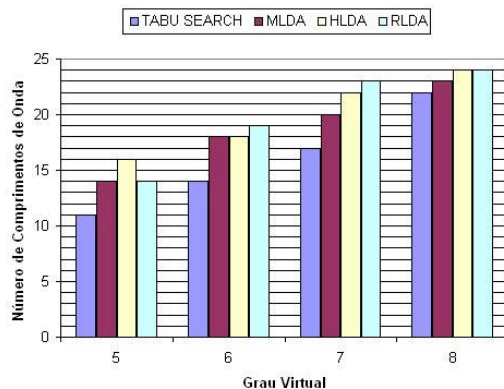


Figura 5. Resultados da simulação da rede do projeto kyatera.

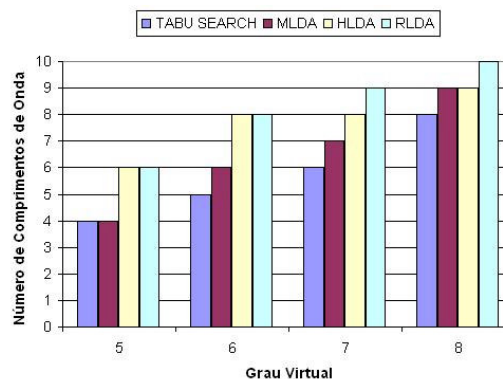


Figura 6. Resultados da simulação da Rede Hipotética Brasileira.

Como podemos observar na Figura 5, o número de comprimentos de onda utilizados na rede do projeto kyatera foi maior do que na rede hipotética brasileira, Figura 6, este resultado se deu pelo fato da rede hipotética brasileira ter uma maior

conectividade entre os nós da rede (rede *mesh*), enquanto a rede Kyatera é um barramento. Logo, sem muitas opções de roteamento para uma demanda de uma fonte para o destino.

5. Conclusões

Diante do exposto, podemos concluir que a meta habitual de projeto de redes ópticas é melhorar o desempenho da rede, de forma a otimizar algumas funções objetivo ou o uso de recursos. Uma formulação exata do problema de projeto é extremamente difícil de se resolver. Logo, soluções heurísticas são desejáveis.

A proposta de uma heurística tradicional, a *Tabu Search*, para resolver o problema de planejamento de redes ópticas, mais especificamente o RWA, foi descrita. Resultados interessantes foram obtidos com a aplicação da *Tabu Search* em comparação com os algoritmos MLDA, HLDA e RLDA, os quais direcionaram para o número de comprimentos de ondas necessários na rede.

Apesar do bom desempenho da *Tabu Search*, ela só serve para obter a melhor solução estática. Para um modelo de atendimento dinâmico, que busque reconfigurar a rede para adaptá-la em tempo real a mudanças imprevisíveis na demanda de tráfego, a solução deve levar em conta preservar a capacidade da rede para atender as demandas futuras, imprevistas, seja em função de falhas em nós ou links, seja em função da natureza intermitente do próprio tráfego auto-similar gerado pela Internet. No momento, estamos desenvolvendo novas heurísticas para atender estas novas características do tráfego.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela FAPESP (Processo N° 2006/04541-2) e pela FAPESB.

Referências

- Cormen, Thomas H.; Charles E.; Leiserson; Ronald L. Rivest; Clifford Stein, (2001). Introduction to Algorithms, Second Edition. 2001.
- C.S.R Murtthy and M. Gurusamy, (2002). “WDM optical networks: concepts, design, and algorithms” Prentice Hall, New Jersey 2002.
- Glover, F. Tabu search, (1989) - part i. ORSA Journal on Computing, v. 1, p. 190 –206.
- Glover, Fred; Kochenberger, Gary A. (2003) Handbook Of Metaheuristics. Kluwer Academic Publishers.
- F. Glover and M. Laguna, (1997). Tabu Search. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997.
- H. Zang, J.P. Jue and B. Mukherjee, (2000). “A Review of Routing and Wavelength-Routed Optical WDM Networks”, Optical Networks, Vol. 1, pp. 47-60, Janeiro 2000.
- [http:// www.kyatera.fapesp.br](http://www.kyatera.fapesp.br) [2007]
- K.D. R Assis, H. Waldman and L. C. Calmon (2002) “Virtual Topology Design for a Hypothetical Network”. Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí-MG, v.05, n 01, pp 29-34, 2002.

Noronha, Thiago Ferreira de ; Aloise, Dario José ; SILVA, M. M. (2001) . Uma Abordagem sobre estratégias metaheurísticas. REIC. Revista eletrônica de iniciação científica, <http://www.sbc.org.br/reic>, v. 1.

Ramaswami R. and Sivarajan, K. N. (1996). Design of logical topologies for wavelength-routed optical networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 14(5), , pp. 840–851.