

# Colorimento Flexível de Caminhos de Proteção em Redes Ópticas WDM Protegidas por Sub-Grafos

Marcio S. Savasini, Darli A. A. Mello, Jefferson U. Pelegrini, Helio Waldman

**Resumo**—A proteção por roteamento em sub-grafos (SGRP) em redes WDM de caminhos ópticos foi recentemente introduzida como uma alternativa eficiente em termos de utilização da rede. Entretanto, uma desvantagem relevante é a chamada *realocação altruísta*, que se caracteriza pela realocação, no momento da falha, do caminho ou comprimento de onda de conexões que não utilizam o enlace que falhou. Este artigo aprimora o conceito de proteção por roteamento em sub-grafos por meio de uma heurística no RWA em sub-grafos que elimina a realocação altruísta. Comparada a outros métodos de supressão da realocação altruísta, a nova heurística exerce impacto reduzido sobre a probabilidade de bloqueio e apresenta baixa complexidade computacional. Essa melhoria é alcançada ao custo da re-otimização do comprimento de onda dos caminhos de proteção no momento da aceitação de uma nova conexão.

**Palavras-Chave**—Proteção e Restauração, Proteção por Roteamento em Sub-Grafos, Proteção por Caminho, Redes Ópticas, WDM

**Abstract**—Sub-Graph Routing Protection (SGRP) in lightpath switched WDM networks was recently introduced as an efficient alternative in terms of network utilization. However, a major drawback of SGRP is that, upon the occurrence of a link failure, even connections that do not traverse the faulty link may have their path or wavelength reassigned. This paper improves the SGRP concept introducing a heuristic in the RWA in the sub-graphs that suppresses the altruistic reassignment. When compared to other methods for altruistic reassignment suppression, this new heuristic exhibits a reduced impact on the blocking probability with low computation complexity. This improvement is achieved at the cost of re-optimizing the wavelength of backup paths whenever a new connection is accepted.

**Keywords**—Protection and Restoration, Sub-Graph Routing Protection, Path Protection, Optical Networks, WDM

## I. INTRODUÇÃO

Proteção e restauração são atualmente questões cruciais no projeto de redes ópticas comutadas por caminhos ópticos [1]. Com o aumento extraordinário da capacidade de transmissão por fibras ópticas utilizando a tecnologia WDM, cresce também a necessidade de se garantir a integridade do serviço. De fato, falhas no sistema de transmissão, como o rompimento de um cabo por uma escavadeira, podem afetar milhares de usuários. Mecanismos de proteção podem ser classificados de acordo com sua escalabilidade, dinâmica, capacidade de oferecer classes de serviço, velocidade de restauração e eficiência em capacidade [2]. Atualmente, o tráfego é pouco dinâmico e praticamente incremental, mas, com o aumento do volume

de dados gerado por certas aplicações como a Internet e TV de alta definição, prevê-se para um futuro próximo que o tráfego se torne dinâmico, com caminhos ópticos sendo rapidamente ativados e desativados de acordo com a demanda. Apesar de mecanismos de proteção já terem sido amplamente investigados para topologias em anel, a proteção em redes emaranhadas (“mesh networks”) vem lançando novos desafios.

Recentemente, Frederick e Somani [3] propuseram um novo mecanismo de proteção de caminhos contra falhas simples de enlaces da rede, baseado no roteamento em sub-grafos. A proteção por roteamento em sub-grafos (Sub-Graph Routing Protection - SGRP) mostrou-se mais eficiente do que a já consolidada multiplexação de caminhos de proteção (Backup Multiplexing) [4] em termos de utilização da rede e probabilidade de bloqueio.

Entretanto, uma importante desvantagem da SGRP em comparação a outros mecanismos de proteção é que, ocorrendo uma falha em qualquer enlace da rede, mesmo conexões não afetadas diretamente pela falha poderão ter seu caminho ou comprimento de onda realocados para dar lugar a outros caminhos de proteção. Este tipo de realocação é chamado de *realocação altruísta* para distingui-la da realocação obrigatória que uma conexão protegida sofre quando um dos enlaces que utiliza falha.

Inicialmente concebida para oferecer proteção contra falhas simples de enlace, SGRP foi também estendida para oferecer proteção contra falhas múltiplas de enlaces, falhas de nós e falhas de grupos de enlaces com risco compartilhado (Shared Risk Link Group - SRLG) [5]. Nesse mesmo artigo foi apresentada uma abordagem que suprimia a realocação altruísta por meio da imposição de restrições no algoritmo de roteamento e alocação de comprimento de onda (Routing and Wavelength Assignment - RWA) nos sub-grafos. Foi observado que se realocação altruísta de caminho for suprimida, mas realocação altruísta de comprimento de onda for permitida, a probabilidade de bloqueio é levemente reduzida para algumas topologias estudadas, mas a probabilidade de realocação total permanece acima de 90%. Se ambas realocações altruístas forem suprimidas a probabilidade de bloqueio aumenta significativamente.

Outra proposta recente sugere uma estratégia de planejamento entre chegadas associada ao esquema de proteção por sub-grafos [6]. Este planejamento tenta agregar inteligência ao gerenciamento dos caminhos de proteção, visando diminuir a probabilidade de realocação ao mesmo tempo em que a probabilidade de bloqueio mantém-se praticamente igual. Explora-se o fato de ser mais simples recalculando caminhos de proteção que realizar a realocação altruísta, já que aquele

Marcio S. Savasini, Darli A. A. Mello, Jefferson U. Pelegrini, Helio Waldman fazem parte do OptiNet - Optical Networking Laboratory/DECOM/FEEC/UNICAMP. Caixa Postal 6101, 13083-852, Campinas, SP, BRASIL. E-mails: {savasini, darli, jpelegri, waldman}@decom.fee.unicamp.br.

não reconfigura as conexões estabelecidas fisicamente na rede, mas somente conexões lógicas armazenadas no sistema.

Este artigo propõe uma heurística de baixa complexidade computacional capaz de eliminar a realocação altruísta em redes protegidas por sub-grafos. Esta heurística reorganiza alguns caminhos de proteção, amenizando o impacto negativo sobre a probabilidade de bloqueio apresentada no trabalho de Datta, Frederick e Somani [5]. Essa melhoria é alcançada ao custo da re-otimização do comprimento de onda dos caminhos de proteção no momento da aceitação de uma nova conexão.

O restante do artigo é dividido em cinco seções. Seção II explica a proteção por roteamento em sub-grafos e mostra trabalhos relacionados. Na seção III a heurística proposta é detalhada. A seção IV traz os métodos usados para avaliar o desempenho da heurística. Os resultados aparecem na seção V e a seção VI finaliza o artigo com a conclusão.

## II. FUNDAMENTOS E TRABALHOS RELACIONADOS

Proteção por roteamento em sub-grafos [3] é um esquema novo e singular de proteção ao tráfego dinâmico em redes WDM de caminhos ópticos. É um esquema de proteção orientado a caminho onde cada conexão tem um caminho de proteção específico para cada falha. Além disso, esse esquema de proteção não reserva explicitamente recursos para proteção. Essas são as principais diferenças entre SGRP e os esquemas mais comuns de proteção orientada a caminhos, como Proteção Dedicada e Proteção Compartilhada (Backup Multiplexing) e são responsáveis pela seu excelente desempenho. Inicialmente concebida para oferecer proteção contra falhas simples de enlace, SGRP foi também estendida para oferecer proteção contra falhas múltiplas de enlaces, falhas de nós, e falhas de grupos de enlaces com risco compartilhado (Shared Risk Link Group - SRLG) [5]. Neste artigo simulamos somente falhas simples em enlaces, mas extrapolações do conceito para outros cenários podem ser realizadas em trabalhos futuros.

A topologia da rede pode ser representada por um grafo não-orientado  $G(V, E)$  com um conjunto de vértices  $V$  e um conjunto de arestas  $E$ . O conjunto  $V$  representa os nós e o conjunto  $E$  representa enlaces bidirecionais de uma rede óptica.  $G(V, E)$  é também chamado de rede base. Uma falha simples na aresta  $e_i$  pode ser representada por um sub-grafo  $G_i = G - e_i$ : o grafo original sem a aresta  $e_i$ . Portanto, todas as falhas simples em enlaces da rede podem ser representadas por  $L$  sub-grafos, onde  $L$  é a cardinalidade do conjunto de arestas  $E$ , como mostrado na figura 1.

No esquema de proteção por roteamento em sub-grafos uma conexão somente é aceita se ela puder ser roteada em cada um dos  $L$  sub-grafos e na rede base com sucesso. Na ocorrência de uma falha em um enlace, a rede altera seu estado para aquele representado pelo sub-grafo correspondente.

O roteamento e a alocação de comprimento de onda das conexões na rede base e nos sub-grafos podem ser feitos conjuntamente ou independentemente. Se forem independentes, o caminho e o comprimento de onda designados para uma conexão nos sub-grafos não terão qualquer relação com a configuração na rede base. Neste caso, um intenso processo de realocação ocorrerá sempre que uma falha acontecer, já

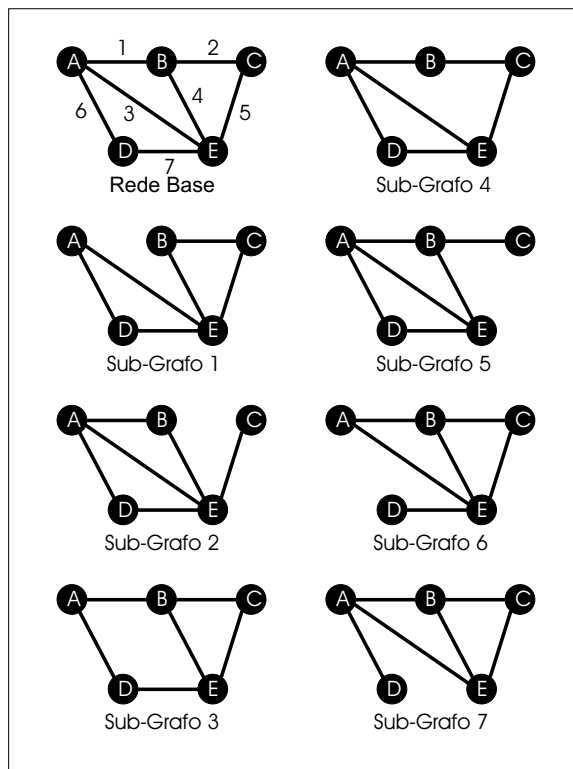


Fig. 1. Proteção por roteamento em sub-grafos

que é muito provável que o caminho ou o comprimento de onda alocado no sub-grafo seja diferente daquele utilizado sem a ocorrência da falha. Em contraste, o RWA da rede base e dos sub-grafos feitos conjuntamente minimiza a realocação de caminho e de comprimento de onda. Três escolhas disponíveis na literatura para o RWA em sub-grafos são ilustradas na figura 2, mostrando como duas conexões sequenciais (A-C e E-A) seriam roteadas no sub-grafo 1 ( $G_1$ ) da figura 1. A rede exemplo opera com dois comprimentos de onda ( $W = 2$ ) e a alocação de comprimento de onda é do tipo prioridade fixa (*first fit*).

### A. RWA sem restrições

Essa estratégia foi proposta no primeiro artigo sobre proteção por roteamento em sub-grafos [3], onde o algoritmo de RWA das conexões nos sub-grafos é independente da configuração da rede base. No exemplo da figura 2, o caminho da conexão na rede base e nos sub-grafos é o menor caminho entre o par de nós fonte-destino. Note que a conexão E-A utiliza o comprimento de onda 1 na rede base e o comprimento de onda 2 no sub-grafo. Se uma falha ocorrer no enlace 1, a conexão E-A sofrerá uma realocação altruísta.

### B. RWA com restrições

Essa estratégia [5] elimina a realocação altruísta. Conexões são restringidas a seguir o mesmo caminho e comprimento de onda como na rede base naqueles sub-grafos que contém todos os enlaces atravessados pela conexão na rede base. Nos sub-grafos restantes, as conexões são roteadas com a

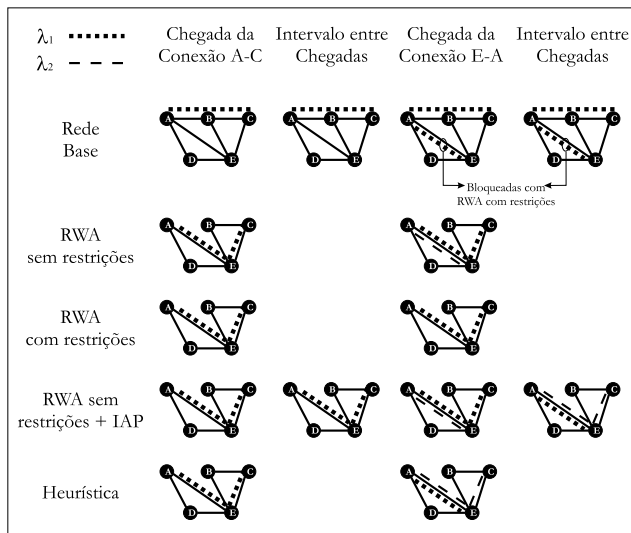


Fig. 2. Variantes de SGRP para o sub-grafo 1

mesma estratégia de RWA usada na rede base. A eliminação da realocação altruísta tem como custo o aumento da probabilidade de bloqueio. Na figura exemplo 2 somente a conexão A-C é aceita. A conexão E-A é bloqueada, já que o mesmo comprimento de onda não pode ser usado na rede base e no sub-grafo.

### C. RWA sem restrições + planejamento entre chegadas

O planejamento entre chegadas (IAP) [6] reduz a realocação altruísta sem interferir na aceitação das requisições, ao custo de processamento computacional entre eventos de rede, isto é, a chegada ou o término de uma conexão. Como o planejamento é processado *offline*, entre eventos de rede, ganhos de desempenho podem ser atingidos aproveitando-se o tempo ocioso de processamento. O planejamento entre chegadas de conexões roteadas em sub-grafos é uma estratégia viável, porque os sub-grafos não são entidades físicas, mas estados a serem incorporados pela rede no caso de falha.

A idéia é priorizar, no sub-grafo  $G_i$ , o roteamento das conexões que não utilizam o enlace  $i$  na rede base, designando-lhes os mesmos caminhos e comprimentos de onda. Conexões que passam pelo enlace  $i$  na rede base, que seriam de qualquer maneira realocadas no sub-grafo  $G_i$ , são então alocadas na capacidade remanescente. Se isto não for possível, o planejamento entre chegadas é cancelado e o estado inicial do sub-grafo é restaurado.

No exemplo da figura 2 o planejamento entre chegadas acontece logo após a aceitação da conexão A-C. Como esta é a única conexão na rede, as configurações permanecem iguais. A conexão E-A é aceita como no caso de RWA sem restrições. Então o planejamento entre chegadas é iniciado, trocando o comprimento de onda das conexões A-C e E-A, eliminando a necessidade de realocação altruísta para a conexão E-A no caso de falha no enlace 1.

## III. HEURÍSTICA

Como visto, o desempenho da proteção por roteamento em sub-grafos depende muito da estratégia de RWA utilizada nos

sub-grafos. Se nos sub-grafos for empregada uma estratégia de RWA independente daquela utilizada na rede base, na ocorrência de uma falha, conexões que não são diretamente afetadas pela falha poderão ter que passar por uma realocação de caminho e/ou de comprimento de onda desnecessária, interrompendo o serviço por alguns instantes. Para eliminar a realocação altruísta foram desenvolvidos métodos que utilizam estratégias de RWA nos sub-grafos conjuntamente com aquela aplicada na rede base. No uso desses métodos pode-se restringir muito a aceitação de requisições, tornando o esquema de proteção ineficiente.

Para tentar suprimir a realocação altruísta, com um impacto reduzido na probabilidade de bloqueio, introduzimos nesta seção um novo método para proteção por roteamento em sub-grafos. Assim como no planejamento entre chegadas, é utilizado o fato de que recalculando caminhos de proteção tem um custo menor que a execução de uma realocação altruísta, já que aquele não lida com reconfigurações de conexões estabelecidas fisicamente no sistema. O algoritmo aplicado, depois de cada requisição de conexão, segue:

### Na rede base:

- 1) A conexão é roteada na rota mais curta e seu comprimento de onda é sorteado aleatoriamente;
- 2) Se não for possível a conexão é bloqueada.

### Em cada sub-grafo $G_i$ :

- 1) Estado inicial de  $G_i$  é salvo;
- 2) Todas as conexões são apagadas de  $G_i$ ;
- 3) Duas listas de conexões são geradas, **incluindo a nova requisição**:  $C_F$  – conexões que passam pelo enlace  $i$  na rede base,  $C_N$  – conexões que não passam pelo enlace  $i$  na rede base;
- 4) Conexões da lista  $C_N$  são roteadas em  $G_i$  como na rede base;
- 5) Conexões da lista  $C_F$  têm seu comprimento de onda em  $G_i$  sorteado dentre os disponíveis, em ordem de chegada. Se a **nova requisição** estiver na lista  $C_F$  ela será roteada pelo seu menor caminho;
- 6) Se não for possível alocar comprimentos de onda para todas as conexões da lista  $C_F$ , a requisição é bloqueada e o estado inicial do sub-grafo é retomado.

Na tentativa anterior de eliminação da realocação altruísta, estratégia “RWA com restrições”, a conexão é roteada da mesma forma que na rede base naqueles sub-grafos que contém todos os enlaces utilizados pela conexão na rede base. Nos sub-grafos restantes a conexão é roteada pelo menor caminho e lhe é alocado um comprimento de onda. Este caminho e este comprimento de onda permanecem fixos até o término da conexão. Essa rigidez nos caminhos de proteção restringe a aceitação de novas conexões.

Para solucionar este problema introduzimos uma heurística, que flexibiliza a escolha do comprimento de onda de conexões que terão que ser realocadas (conexões da lista  $C_F$ ) na ocorrência de uma falha correspondente àquele sub-grafo, aumentando-se assim a possibilidade de conexões encontrarem caminhos de proteção válidos em todos os sub-grafos. O custo computacional da heurística é pequeno, sorteando comprimentos de onda dentre os disponíveis e utilizando sempre a rota

mais curta em número de hops para os caminhos de proteção a serem realocados. Estes caminhos mais curtos são pré-calculados para cada par origem-destino no projeto da rede.

No momento da aceitação da requisição, o sub-grafo  $G_i$  é preenchido com as conexões que não devem ser realocadas no caso de uma falha no enlace  $i$ , conexões da lista  $C_N$  do sub-grafo  $G_i$ . Estas conexões são “copiadas” da rede base, isto é, mesma rota e mesmo comprimento de onda. Posteriormente, as conexões da lista  $C_F$  são acrescentadas em ordem de chegada. Sua rota é a mais curta, já escolhida no momento da aceitação e mantida fixa na duração do caminho, e seu comprimento de onda é selecionado dentre os disponíveis.

O caminho de proteção da nova conexão no sub-grafo  $G_i$  encontrará uma menor ocupação no sub-grafo se fizer parte das conexões não diretamente afetadas pela falha correspondente. Se fizer parte das conexões da lista  $C_F$ , aquelas diretamente afetadas pela falha, terá seu comprimento de onda sorteado entre os disponíveis. Essa flexibilidade de comprimentos de onda para os caminhos de proteção que serão realocados ajuda o sistema a apresentar uma degradação menor na probabilidade de bloqueio.

No exemplo da figura 2, quando a conexão E-A é solicitada, ela é incluída na lista  $C_N$  e a conexão A-C na lista  $C_F$  do sub-grafo 1. A conexão E-A é roteada primeiro, seguida pela conexão A-C, de acordo com os passos 4 e 5 do algoritmo. Note que a configuração final é livre de realocação atômica.

#### IV. ANÁLISE DE DESEMPENHO

A heurística proposta foi analisada em simulações realizadas pelo simulador de redes ópticas desenvolvido no OptiNet, Optical Networking Laboratory, na UNICAMP. O simulador foi escrito na linguagem Java. O tráfego considerado é uniforme. A chegada de requisições segue uma distribuição Poissoniana e o tempo de duração tem uma distribuição exponencial. Três topologias foram simuladas [5] como na figura 3: NSFNet (14 nós e 23 enlaces), NJLATA (11 nós, 22 enlaces) e a 3x3 Mesh-Torus (9 nós e 18 enlaces). Todos os enlaces são bidirecionais com 16 comprimentos de onda. As curvas foram calculadas pela média dos resultados das últimas 10 etapas de uma série de 11, com 1000 requisições de conexões cada, para simular a ocupação da rede em estado estacionário.

As métricas investigadas são probabilidade de bloqueio e probabilidade de realocação. Esta é a probabilidade de uma conexão ter que mudar seu caminho ou comprimento de onda para permanecer ativa após uma falha simples em algum enlace da rede. Embora no trabalho de Datta, Frederick e Somani [5] somente a realocação de caminho é investigada, a análise da realocação de comprimento de onda é importante, já que causa interrupção de serviço.

##### A. RWA na Rede Base

Conexões são roteadas na rede base usando-se o algoritmo de menor caminho de Dijkstra aplicado à topologia de enlaces da rede. É considerado como menor caminho aquele com menor número de hops. Se houver mais de um caminho mais curto, um deles é escolhido aleatoriamente. O comprimento de onda de uma conexão também é escolhido aleatoriamente.

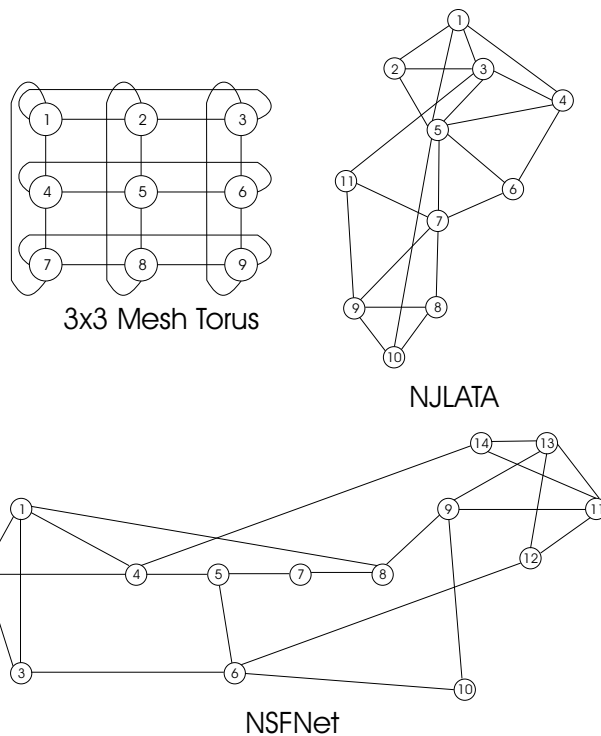


Fig. 3. Topologias Simuladas

##### B. RWA nos Sub-Grafos

1) *RWA sem restrições*: referente ao artigo inicial sobre proteção por roteamento em sub-grafos [3], que usa nos sub-grafos o mesmo RWA que na rede base.

2) *RWA com restrições*: referente a ao trabalho de Datta, Frederick e Somani [5]. Conexões são restringidas a seguir o mesmo caminho e comprimento de onda utilizado na rede base naqueles sub-grafos que contém todos os enlaces utilizados pela conexão na rede base. Nos sub-grafos restantes a mesma estratégia de RWA da rede base é empregada.

3) *Heurística proposta*: Toda vez que uma requisição é solicitada o algoritmo é iniciado como descrito na seção III. Para cada sub-grafo as conexões da lista  $C_N$  são “copiadas” da rede base e as conexões da lista  $C_F$  têm seus comprimentos de onda sorteados dentre os disponíveis para melhor acomodar os caminhos de proteção, sendo suas rotas sempre as mais curtas. As rotas das conexões nos sub-grafos não mudam.

#### V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As três estratégias exibiram o mesmo comportamento para as topologias simuladas: Mesh Torus 3x3 na figura 4, NJLATA na figura 5 e NSFNet na figura 6. Para as topologias NJLATA e NSFNet os gráficos de bloqueio foram limitados a um tráfego de 6 Erlangs por nó por já apresentarem uma probabilidade muito elevada, limitando o próprio uso da rede.

1) *RWA sem restrições*: apresenta uma baixa probabilidade de bloqueio, mas uma exagerada probabilidade de realocação, que é consequência das estratégias de RWA na rede base e nos sub-grafos serem independentes.

2) *RWA com restrições*: não apresenta probabilidade de realocação ao custo de um grande aumento na probabilidade de bloqueio, o que limita o uso desta estratégia.

3) *Heurística proposta*: elimina a realocação altruísta assim como o “RWA com restrições”, com o diferencial de degradar apenas moderadamente a probabilidade de bloqueio. A flexibilidade na alocação de comprimento de onda de conexões que seriam necessariamente re-roteadas em caso de falha torna possível a aceitação de mais requisições, apesar da restrição de não permitir realocação altruísta.

Nota-se em todas as topologias investigadas que utilizando-se a heurística proposta o sistema apresenta o mesmo bloqueio que no caso em que a estratégia “RWA sem restrições” é empregada, até um certo valor de tráfego gerado por nó. Para a topologia 3x3 Mesh Torus a figura 4(a) mostra que, por meio da heurística, o sistema atinge valores de probabilidade de bloqueio muito próximos aos atingidos por meio da estratégia “RWA sem restrições” até 6 Erlangs por nó de tráfego. Para a topologia NJLATA, figura 5(a), a probabilidade de bloqueio do sistema fazendo-se uso da heurística aproxima-se muito aos resultados obtidos com a estratégia “RWA sem restrições” até 3 Erlangs por nó. Na figura 6(a), é possível observar que até o tráfego de 2 Erlangs por nó o desempenho da rede com a utilização heurística é muito satisfatório.

Isto mostra que a um custo de complexidade computacional baixa, pode-se oferecer proteção a conexões com uma mesma probabilidade de bloqueio sem a problemática da realocação altruísta até certos valores de tráfego.

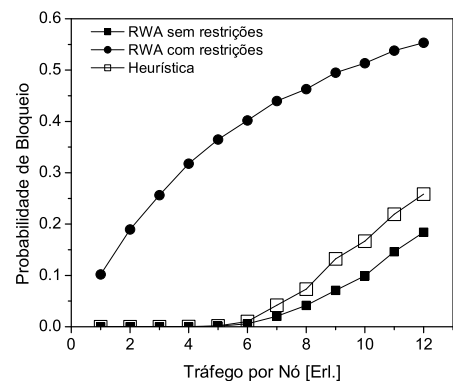
## VI. CONCLUSÃO

Proteção por roteamento em sub-grafos é um esquema inovador e poderoso. Apesar disso ainda existem alguns pontos a serem aprimorados. Um ponto fraco da proposta original é a alta probabilidade de realocação de caminhos e comprimentos de onda no caso de falha em qualquer enlace da rede. Esta desvantagem já havia sido superada em trabalhos anteriores restringindo-se o caminho e o comprimento de onda alocados nos sub-grafos, o que, entretanto, comprometeu a probabilidade de bloqueio. Neste artigo foi proposta uma heurística para diminuir o impacto das restrições na probabilidade de bloqueio, continuando o sistema sem realocação altruísta. Com a possibilidade da troca de comprimentos de onda de conexões que sofrerão realocação no caso da falha, é possível aceitar mais requisições, mesmo restringindo-as a seguirem a configuração da rede base em todos os sub-grafos possíveis.

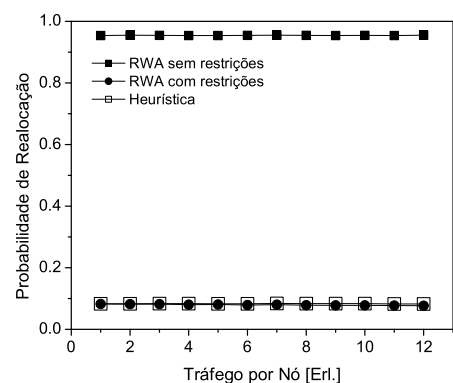
Essa melhoria é feita ao custo de um leve aumento da complexidade computacional, já que ocorre uma re-otimização do comprimento de onda dos caminhos de proteção no momento da requisição de uma conexão. O custo não compromete o uso do algoritmo, sendo eficiente na melhoria do desempenho da proteção por roteamento em sub-grafos livre de realocação altruísta.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e Ericsson Telecomunicações S.A., Brasil.



(a) Probabilidade de Bloqueio

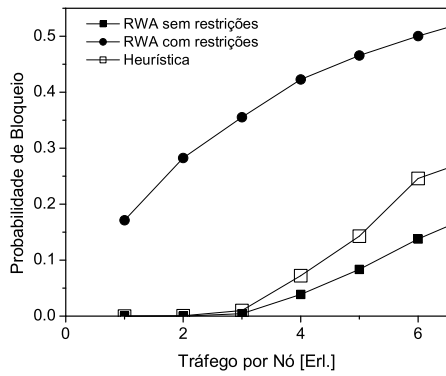


(b) Probabilidade de Realocação

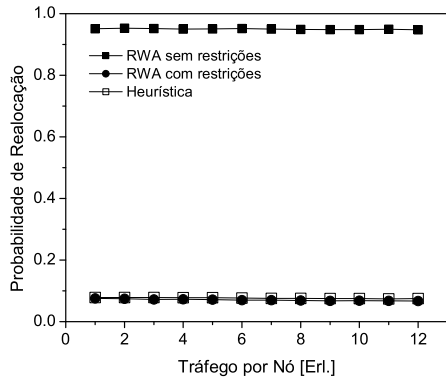
Fig. 4. 3x3 Mesh Torus

## REFERÊNCIAS

- [1] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, *Optical Networks: a Practical Perspective*, Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [2] H. T. Mouftah and P.-H. Ho, *Optical Networks: Architecture and Survivability*, Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [3] M. T. Frederick and A. K. Somani, “A single-fault recovery strategy for optical networks using subgraph routing,” in *Proc. ONDM'03*, pp. 549–568, Feb. 2003.
- [4] G. Mohan, C. S. R. Murthy, and A. K. Somani, “Efficient algorithms for routing dependable connections in WDM optical networks,” *IEEE/ACM Trans. Networking* 9(5), pp. 553–566, 2001.
- [5] P. Datta, M. T. Frederick, and A. K. Somani, “Sub-graph routing: a novel fault-tolerant architecture for shared-risk link group failures in WDM optical networks,” in *Proc. DRCN'03*, Oct. 2003.
- [6] D. A. A. Mello, J. U. Pelegriani, M. S. Savasini, G. S. Pavani, and H. Waldman, “Inter-arrival planning for sub-graph routing protection in WDM networks,” in *Proc. ICT'04*, Aug. 2004.

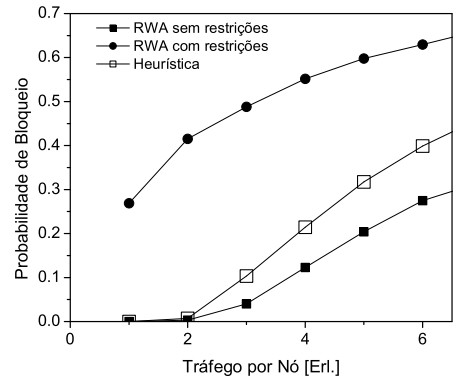


(a) Probabilidade de Bloqueio

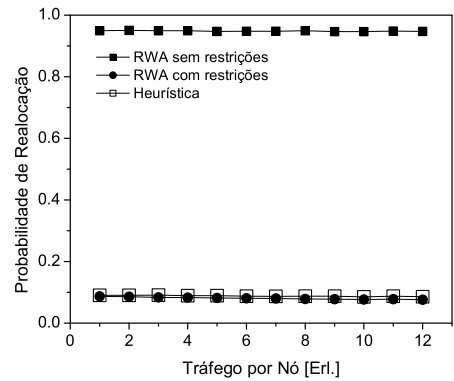


(b) Probabilidade de Realocação

Fig. 5. NJLATA



(a) Probabilidade de Bloqueio



(b) Probabilidade de Realocação

Fig. 6. NSFNet