

Um Algoritmo Eficiente de Roteamento Considerando Risco Compartilhado em Grupos de Enlaces

José Cleyton da Silva*, Carmelo J. A. Bastos-Filho*, Danilo R. B. Araújo†, Joaquim F. Martins-Filho‡

*Universidade de Pernambuco, Recife 50720-001 Pernambuco, Brasil

Tel: +55 81 31847542, e-mail: carmelofilho@ieee.org †Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife 52171-900 Pernambuco, Brasil

Tel: +55 81 21193842, e-mail: danilo.araujo@ufrpe.br ‡Universidade Federal de Pernambuco, Recife 50740-550 Pernambuco, Brasil

Tel: +55 81 21267784, e-mail: jfmf@ufpe.br

Resumo—One of the primary problems related to WDM Optical Networks is to find suitable routes with available wavelengths to attend to the call requests. This task is even more complex when the requests need to be protected to avoid injuries caused by failures. This paper proposes an adaptation of a well-known algorithm for routing with dedicated path protection, called Suurballe, considering SRLG (Shared Risk Link Groups). The main objective is to find pairs of disjoint routes. In this version, we also consider the wavelength availability to compute the routes. We performed simulations in two different topologies using a optical network simulator called SIMTON. Our algorithm outperformed other approaches in both cases.

I. INTRODUÇÃO

No últimos anos, os serviços de telecomunicações que demandam altas taxas de transmissão aumentaram devido ao surgimento de novas aplicações, tais como computação em nuvem, jogos em tempo real e *stream* de vídeo. As redes ópticas tornaram-se a melhor opção para atender as demandas por altas taxas de transmissão impostas às redes de transporte. Por esta razão, as redes multiplexadas por comprimentos de onda (WDM - *Wavelength Division Multiplexing*) tornaram-se alvo de pesquisas na indústria e no meio acadêmico [1].

Um dos principais desafios enfrentados no planejamento e operação de redes ópticas é oferecer uma rede que seja tolerante a falhas nos equipamentos e nos enlaces de fibra óptica. Uma simples falha em qualquer enlace da rede pode comprometer vários serviços. Por esta razão, as soluções que aumentam a resiliência da rede são importantes. As principais estratégias para promover essa resiliência são os mecanismos de restauração e proteção [1]. O mecanismo de restauração em redes ópticas é ativado quando ocorre uma falha na rede. Neste momento, o algoritmo de restauração tenta encontrar um novo caminho óptico para restaurar a conexão relacionada com a falha. Em termos de melhor utilização dos recursos, a restauração é mais eficiente, porém existe a possibilidade de que não seja possível encontrar um caminho óptico para restabelecer uma normal operação da rede e o tempo de restabelecimento da conexão pode não atender os requisitos estabelecidos em contrato. O mecanismo de proteção, que é o foco principal

deste trabalho, é baseado na reserva de recursos redundantes. Neste caso, dois caminhos ópticos disjuntos devem atender à demanda com serviço de proteção. A principal vantagem desta abordagem é a rápida recuperação das conexões que contam com o recurso de proteção [2], [3].

Um dos desafios no tratamento de demandas protegidas é considerar grupos de enlaces com risco compartilhado. Quando dois ou mais enlaces compartilham um mesmo recurso físico, como um duto de cabos de fibra óptica ou algum equipamento, é dito que eles estão no mesmo SRLG (*Shared Risk Link Group*) [4], [5], [6]. A falha de um SRLG é equivalente à falha de todos os enlaces que utilizam o recurso físico compartilhado. Essa restrição durante o processo de proteção é considerado um problema NP-completo [5]. A Figura 1 mostra uma topologia física de uma rede hipotética onde existe uma representação de grupos de risco. Pode-se perceber que o grupo de risco com rótulo 2 é compartilhado pelos enlaces AB e AD. Isto significa que se houver um rompimento próximo ao nó A, a comunicação pelos enlaces AB e AD ficará comprometida.

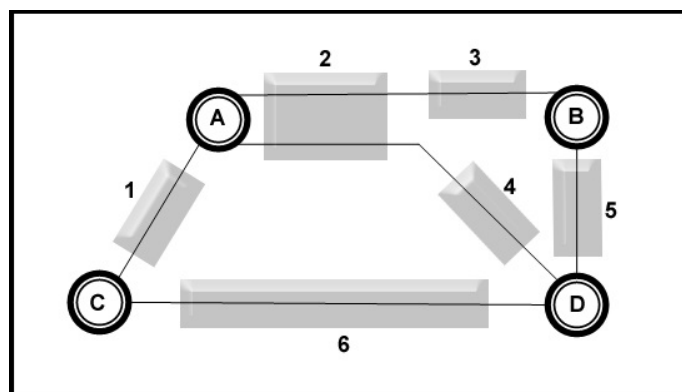


Figura 1: Topologia física com representação de SRLGs.

Neste trabalho é proposto um novo procedimento baseado no algoritmo de Suurballe [7] para o tratamento de SRLGs. A nova proposta tem como objetivo encontrar duas rotas

disjuntas considerando as restrições de SRLG na rede. Além disso, a função de custo utilizada no processo de seleção de rotas considera a distância física e os comprimentos de onda disponíveis na rede. O objetivo do trabalho é demonstrar que a utilização do algoritmo proposto diminui a probabilidade de bloqueio da rede quando comparada com abordagens que não consideram grupos de risco e o estado atual do tráfego da rede. Os autores acreditam que nenhum algoritmo disponível na literatura considera a disponibilidade de comprimentos de onda para cálculo de rotas disjuntas considerando SRLG.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na Seção II são apresentados alguns trabalhos relacionados à nossa proposta; na Seção III é apresentado o algoritmo proposto para o tratamento de SRLG considerando os comprimentos de onda disponíveis; na Seção IV são fornecidas os detalhes sobre os experimentos realizados; na Seção V são mostrados os resultados dos experimentos, fazendo uma comparação entre o desempenho de Suurballe básico, do Suurballe com SRLG simples e da nova proposta; e na Seção VI são apresentadas as conclusões do trabalho.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Apesar dos recentes avanços na área de comunicações ópticas, existe um problema prático que está relacionado com recursos físicos compartilhados para o caso da proteção, como por exemplo dois cabos ópticos que passam pelo mesmo duto físico. Neste caso, define-se que as fibras que passam por estes cabos que compartilham o mesmo duto têm o mesmo SRLG. Isto significa que algum problema no duto pode gerar falhas em ambas as fibras, e como consequência, pode prejudicar a transmissão no caminho principal e no caminho de proteção. Dada esta restrição, é necessário que as rotas principais (de operação) e de proteção (que fica disponível para utilização em caso de falha) sejam disjuntas e não compartilhem o mesmo SRLG em nenhum dos enlaces.

Existe um algoritmo eficiente conhecido na literatura como Algoritmo de Suurballe [7] que tem a capacidade de geração destas rotas disjuntas. O algoritmo de Suurballe é um algoritmo para encontrar dois caminhos disjuntos em um grafo direcionado ponderado com custos não negativos, de modo que ambos os caminhos conectem o mesmo par de nós origem-destino e tenham custo combinado mínimo. A ideia principal do algoritmo de Suurballe é utilizar o algoritmo de Dijkstra para encontrar um caminho para modificar os pesos das bordas do gráfico, e, em seguida, executar algoritmo de Dijkstra uma segunda vez.

Em 2004, Todimala [8] apresentou uma proposta de adaptação do algoritmo de Suurballe para o caso SRLG, o IMSH (*Iterative Modified Suurballe's Heuristic*). Essa abordagem tem como objetivo encontrar pares de rotas com SRLG disjuntos e menor custo. Para isso ele utiliza um algoritmo que verifica todos os pares de rotas possíveis e escolhe o que apresenta menor custo. No artigo, o IMSH foi comparado com um outro algoritmo, o ITSH (*Iterative Two Step Heuristic*) e apresentou melhores resultados.

Em 2005, Luo e Wang [9] conseguiram gerar um algoritmo com complexidade polinomial para calcular as rotas ópticas

principal e de proteção. Ainda em [9], foi feito um estudo sobre processos de sobrevivência em redes ópticas que tinha como objetivo solucionar o problema de roteamento dinâmico considerando grupos de riscos para enlaces (SRLG). Neste trabalho foi proposto um algoritmo de dois passos que utiliza o Dijkstra para encontrar as rotas de trabalho e proteção. Os resultados apresentados indicaram sucesso para o caso SRLG, visto que houve uma diminuição na probabilidade de bloqueio da rede.

Em 2012, uma abordagem mais recente foi proposta por Yang *et al.* [10]. O *Low Cost an S-Disjoint* (LCSD) é um algoritmo que também tenta encontrar rotas com SRLG disjuntos e com menor custo. No trabalho foram feitas comparações com dois algoritmos, o RF, que é basicamente um Dijkstra de dois passos, e o TF, que é um Suurballe modificado que considera SRLG. O LCSD se mostrou superior com base nas comparações realizadas.

Além dessas abordagens citadas existem outras que seguem linhas parecidas. Porém, existe a possibilidade de explorar outras características da rede, como por exemplo, o número de comprimentos de onda utilizados no instante em que uma chamada é solicitada. Adicionar mecanismos dinâmicos que se adaptem ao estado atual da rede pode ser uma alternativa para prover melhores soluções ao problema.

III. PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO DO ALGORITMO DE SUURBALLE PARA CONSIDERAR DISPONIBILIDADE

Nesta seção, é apresentado um algoritmo alternativo baseado no Suurballe para tratar o problema de proteção dedicada por caminho em redes WDM considerando SRLG. Além disso, ele considera o estado atual da rede, tentando equilibrar a utilização de comprimentos de onda a fim de evitar congestionamento em determinado trechos. Neste contexto, considera-se que cada enlace da rede pode ser associado com um ou mais grupos de risco. A ideia principal desta primeira abordagem é adicionar um passo no algoritmo Suurballe no qual os conflitos de SRLG são eliminados. Além disso, a função de custo utilizada no algoritmo de menor caminho foi alterada para levar em conta o número de comprimentos de onda utilizado.

Neste trabalho é considerada como política de caminho mais curto a distância física entre os enlaces e o número de comprimentos de onda disponíveis no enlace, de modo que internamente no algoritmo de Suurballe, o algoritmo de Dijkstra utilize estes critérios para encontrar as rotas. Para este fim, a função de custo do Dijkstra foi modificada de acordo com a Eq. (1). O algoritmo proposto não tem como objetivo achar o par de rotas com menor custo, e sim achar o par de rotas que gera, a longo prazo, o melhor desempenho de rede.

$$Custo = \alpha \cdot \frac{D_{i,j}}{D_{max}} + (1 - \alpha) \cdot \frac{L_{i,j}}{L_{total}}, \quad (1)$$

em que α é uma constante de ponderação, $D_{i,j}$ é a distância física entre os nós i e j , D_{max} é a distância do maior enlace, $L_{i,j}$ é o número de comprimentos de onda usados e L_{total} é o número máximo de comprimentos de onda por enlace.

O pseudocódigo do Suurballe modificado proposto é mostrado no Algoritmo 1.

Algoritmo 1: PSEUDOCÓDIGO DO SUURBALLE SRLG QUE CONSIDERA A DISPONIBILIDADE DE COMPRIMENTOS DE ONDA.

- 1 Execute o Dijkstra Modificado (usando a Eq. (1)) para encontrar a primeira rota (P1);
- 2 Remova todos os enlaces da rede presentes em P1;
- 3 Execute novamente o Dijkstra Modificado para encontrar a segunda rota (P2);
- 4 A rede original é modificada eliminando os enlaces coincidentes entre P1 e P2;
- 5 Na rede modificada, execute o Dijkstra Modificado para encontrar a rota principal (R1);
- 6 Remova todos os enlaces da rede presentes em R1;
- 7 Remova todos os enlaces da rede que possuam os grupos de risco contidos em R1;
- 8 Execute novamente o Dijkstra Modificado para encontrar a rota de proteção (R2);
- 9 **return** R1 e R2

Nos três primeiros passos do algoritmo, o Dijkstra modificado é executado em dois passos, que para algumas topologias resolve o problema de rotas disjuntas [8]. No entanto, há casos em que ele não consegue encontrar um par de rotas mesmo que elas existam [8]. Por esta razão, o passo 4 efetua uma modificação da rede original que elimina os enlaces conflituosos em P1 e P2. Com esta nova representação da rede, o algoritmo de Dijkstra modificado é executado novamente. A rota encontrada é devolvida como a rota principal (R1). Nos passos 6 e 7 são removidos os enlaces da rota R1 e também todos os enlaces que têm algum SRLG que pertence a R1. Eliminando conflitos dos grupos de risco, a próxima rota encontrada (R2) será disjunta e não terá qualquer grupo de risco pertencente à R1. Na etapa 9, as duas rotas encontradas (R1 e R2) são retornadas como a solução do problema.

IV. ARRANJO EXPERIMENTAL

A avaliação da proposta deste artigo foi feita com base em experimentos computacionais que simulam uma rede óptica WDM em operação. Para realizar os experimentos foi utilizado o simulador de redes ópticas SIMTON [11], que é uma ferramenta de simulação para redes ópticas transparentes. Ele foi utilizado para verificar a probabilidade de bloqueio obtida com a utilização das rotas geradas pelos algoritmos. Para cada simulação foram realizadas 10^5 chamadas. Os pares fonte-destino de cada chamada foram gerados aleatoriamente, de acordo com uma função de distribuição uniforme. As requisições de chamadas e o seu tempo de duração são caracterizados como processos de Poisson e exponencial, respectivamente. Foram utilizados 40 comprimentos de onda por enlace e o algoritmo de alocação de comprimento de onda foi o *First Fit*. Para cada cenário foram realizadas 30 execuções independentes para permitir uma avaliação estatística do comportamento dos algoritmos.

Nas simulações foram utilizadas duas topologias: a NsfNet e a AttMpls [12]. Ambas são redes Norte-Americanas, com a primeira possuindo 14 nós e 21 enlaces e a segunda com

Tabela I: Análise da carga da rede sem restrições de SRLG.

Rede	#Nós	#Enlaces	Carga para PB < 1% (erlangs)
NsfNet	14	21	60
AttMpls	25	56	140

25 nós e 56 enlaces. As duas topologias são apresentadas na Fig. 2 e Fig. 3, respectivamente. O mapa geolocalizado das redes foi gerado usando a ferramenta desenvolvida em [13] e os comprimentos dos enlaces foram calculados baseados na posição das cidades. As cargas utilizadas nas simulações para cada topologia foram obtidas a partir de uma análise onde o valor da probabilidade de bloqueio atingisse valores menores que 1% (sem restrições de SRLG). As informações sobre a análise de carga são mostradas na Tabela I. Todos os enlaces das redes são considerados bidirecionais. Embora o simulador SIMTON permita o cálculo de diversas penalidades da camada física, neste estudo foram considerados apenas bloqueio de rede (falta de comprimentos de onda para atendimento de uma demanda). Além disso, em chamadas nas quais as rotas geradas pelo algoritmo não são SRLG-disjuntas também foram consideradas como bloqueadas. A probabilidade de bloqueio foi calculada como a razão entre as chamadas bloqueadas e o número total de chamadas.

Os algoritmos considerados nas simulações são: a versão simples do Suurballe, que fornece apenas as rotas com base na premissa de que são disjuntas; uma versão do Suurballe que já adiciona o tratamento para grupos de risco (similar ao IMSH); e a nova proposta deste artigo, que além do tratamento SRLG, também possui uma função de custo modificada para a geração das rotas.

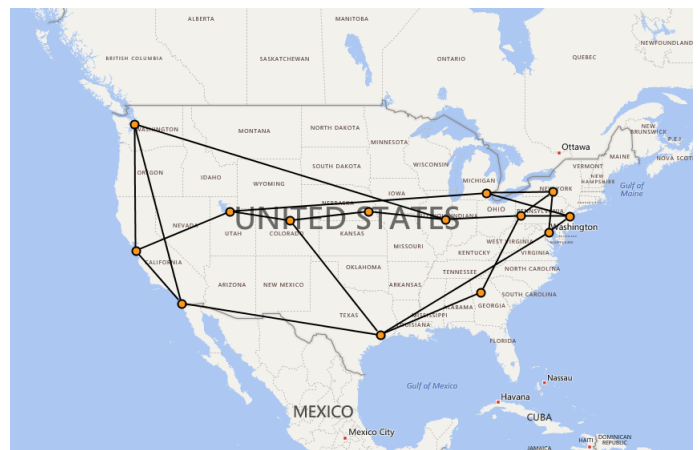


Figura 2: NsfNet - Topologia com 14 nós e 21 enlaces.

Para cada topologia utilizada nos experimentos foram realizados testes com diferentes quantidades de grupos de risco compartilhados, i.e. número de pares de enlaces que compartilham o mesmo SRLG. Para a NSFNet, foram realizados experimentos com 4, 8 e 12 grupos. Já na AttMpls foram realizados testes com 6, 12 e 18 grupos. Os SRLGs foram gerados de forma automática baseando-se na quantidade de nós da rede e na sua conectividade. As simulações foram executadas em um computador com processador Intel i7 com

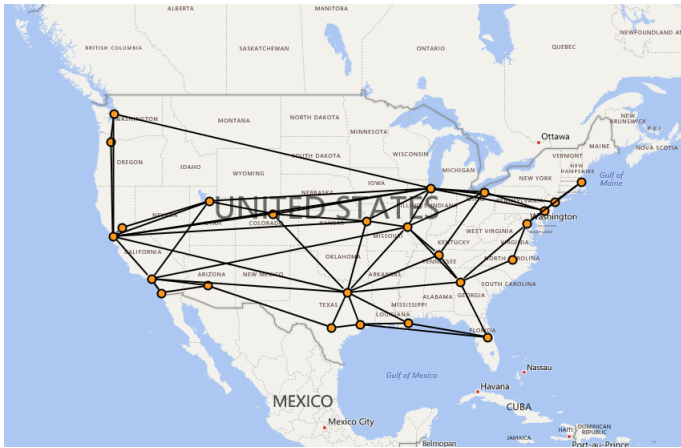


Figura 3: AttMpls - Topologia com 25 nós e 56 enlaces.

2,5Ghz e 6GB de RAM.

V. RESULTADOS

Na primeira etapa de experimentos foi realizada uma análise paramétrica do valor de α . Foi feita uma análise de $\alpha \in \{0; 0,25, 0,5; 0,75; 1\}$. Os resultados das análises para as duas topologias são mostrados nos gráficos da Fig. 4 e Fig. 5.

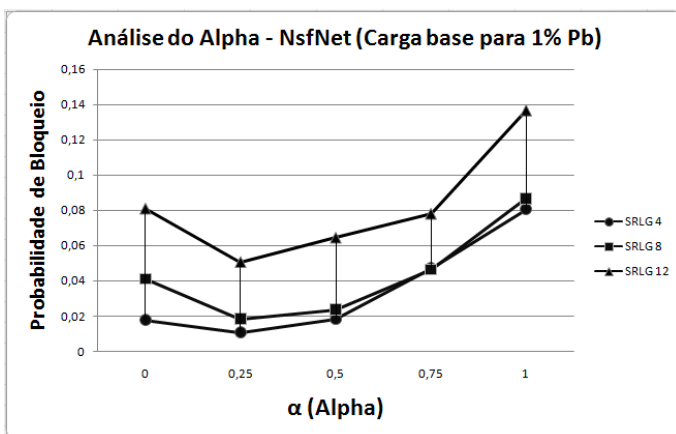


Figura 4: Análise paramétrica de α para a NsfNet.

Com os resultados da análise do α , pode-se perceber que o seu valor varia de acordo com a topologia. Características como a conectividade da rede podem ser determinantes na atribuição do melhor valor (que produz uma menor PB). Na NSFNet, em que foram testados 4, 8 e 12 SRLG's, o melhor valor de α se encontra entre 0,25 e 0,5. Foi inferido que esse resultado se deve ao fato dessa topologia possuir nós com grau médio próximo de 3. Com isso, uma maior influência da componente de disponibilidade ajuda na diminuição da probabilidade de bloqueio para este cenário. Já na AttMpls, em que foram testados 6, 12 e 18 SRLG's, acontece o comportamento inverso. Os melhores valores para α se encontram entre 0,5 e 0,75. Nesse caso, a menor influência dos comprimentos de onda foi atribuída ao fato da rede possuir nós com grau mais variados e em sua maioria, superiores à 3. De acordo com essa

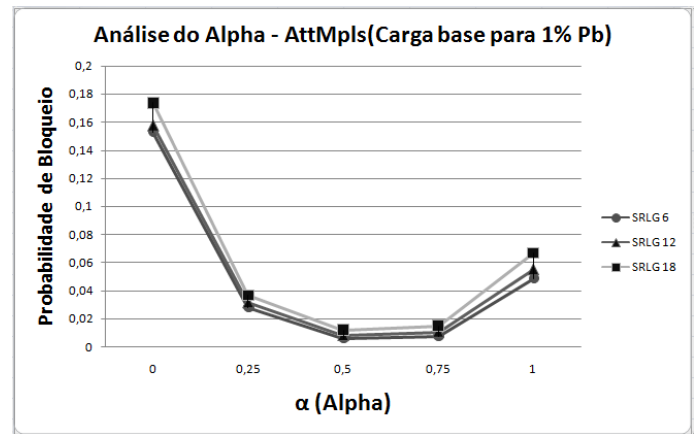


Figura 5: Análise paramétrica de α para a AttMpls.

análise, o valor de $\alpha = 0,25$ passou a ser considerado como a melhor opção para a NSFNet e $\alpha = 0,75$ para a AttMpls.

Na segunda etapa dos experimentos foi realizada a comparação entre o algoritmo de Suurballe, o Suurballe com tratamento de SRLG simples e a nova proposta (Suurballe com tratamento de SRLG considerando disponibilidade de comprimentos de onda). Os resultados dessa comparação utilizando como cenário a NSFNet é mostrado na Fig. 6.

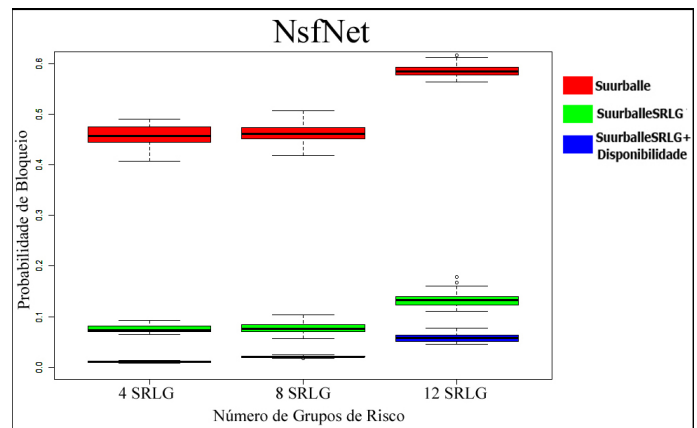


Figura 6: Comparação entre algoritmos para a topologia NSFNet.

Analisando os *boxplots* da Fig. 6, pode-se perceber que existe uma grande diferença entre o Suurballe simples e as outras duas abordagens. Isso se deve ao fato de que como a NSFNet possui menos opções de rotas, qualquer aumento na quantidade de SRLG's torna impossível a seleção de soluções viáveis com um algoritmo que não trata essa restrição de forma adequada. Comparando o Suurballe com SRLG simples e a nova proposta, pode-se perceber que a mudança na função de custo e a escolha de um α otimizado implica em melhores valores de PB. O mesmo pode ser percebido analisando o gráfico da Fig. 7, em que é mostrada a comparação da probabilidade de bloqueio obtidas pelos algoritmos no cenário da topologia AttMpls. Nesse caso, pode-se perceber que nossa abordagem conseguiu excelentes resultados. Isso mostra que a utilização da nossa abordagem representa uma maior vantagem

em cenários onde existem menos opções de rotas, ou seja, com maiores restrições.

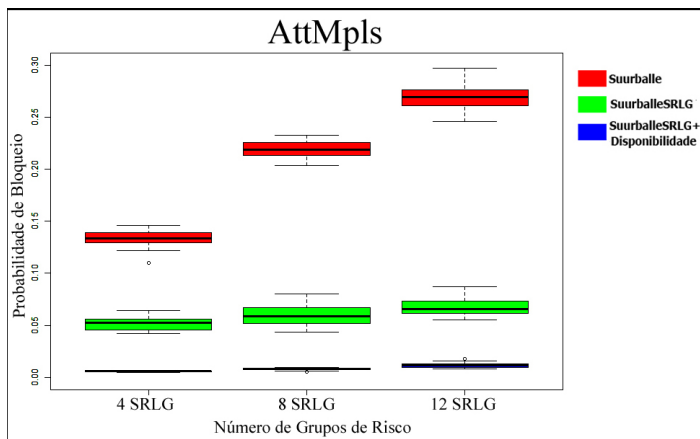


Figura 7: Comparação entre algoritmos para a topologia AttMpls.

VI. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposta uma nova abordagem para o tratamento de SRLG que considera a disponibilidade de comprimentos de onda na rede óptica. Para isso, foram feitas adaptações do algoritmo de Suurballe e também na função de custo para o algoritmo que calcula as rotas de menor custo. Foi constatado que o parâmetro que define a influência das componentes da função de custo depende das características da topologia estudada. De modo geral, as topologias que possuem menos opções de rotas, apresentaram valores favoráveis entre 0,25 e 0,50. Já em cenários em que os nós da rede possuem maior conectividade, valores entre 0,50 e 0,75 se mostraram mais favoráveis.

A utilização da nova proposta se mostrou promissora, visto que gerou resultados com menor probabilidade de bloqueio para todos os cenários analisados. Sugere-se como trabalhos futuros a avaliação de uma maior diversidade de topologias, que apresentem características diferentes em termos de quantidade de nós, quantidade de enlaces e da forma como os enlaces são distribuídos na rede.

AGRADECIMENTOS

O autores agradecem o suporte financeiro fornecido pelo CNPq, CAPES, FACEPE, UPE, UFRPE e UFPE.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan. *Optical Networks: A Practical Perspective*. Morgan Kaufmann, 3rd edition, 2010.
- [2] Senthil Ramamurthy and Biswanath Mukherjee. Survivable wdm mesh networks. part i - protection. In *INFOCOM'99. Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, volume 2, pages 744–751. IEEE, 1999.
- [3] S Ramamurthy et al. Survivable wdm mesh networks, part ii - restoration. In *Proc. ICC*, pages 2023–2030, 1999.
- [4] John Strand, Angela L Chiu, and Robert Tkach. Issues for routing in the optical layer. *Communications Magazine, IEEE*, 39(2):81–87, 2001.
- [5] David Coudert, Stéphane Perennes, Hervé Rivano, and Marie-Emilie Voget. Combinatorial optimization in networks with shared risk link groups. 2014.

- [6] Vedran Miletic, Dimitris Maniatakis, Branko Mikac, and Dimitris Varoutas. On the influence of the underlying network topology on optical telecommunication network availability under shared risk link group failures. In *Design of Reliable Communication Networks (DRCN), 2014 10th International Conference on the*, pages 1–8. IEEE, 2014.
- [7] John W Suurballe and Robert Endre Tarjan. A quick method for finding shortest pairs of disjoint paths. *Networks*, 14(2):325–336, 1984.
- [8] Ajay Todimala and Byrav Ramamurthy. Imsh: An iterative heuristic for srlg diverse routing in wdm mesh networks. In *Computer Communications and Networks, 2004. ICCCN 2004. Proceedings. 13th International Conference on*, pages 199–204. IEEE, 2004.
- [9] Xubin Luo and Bin Wang. Diverse routing in wdm optical networks with shared risk link group (srlg) failures. In *Design of Reliable Communication Networks, 2005.(DRCN 2005). Proceedings. 5th International Workshop on*, pages 8–pp. IEEE, 2005.
- [10] Y. Yang, H. Mi, and X. Zhang. A minimum cost active and backup path algorithm with srlg constraints. In *2012 Sixth International Conference on Internet Computing for Science and Engineering*, pages 211–216, April 2012.
- [11] D. A. R. Chaves, H. A. Pereira, C. J. A. Bastos-Filho, and J. F. Martins-Filho. Simton: A simulator for transparent optical networks. *Journal of Communication and Information Systems*, 25:1–10, 2010.
- [12] S. Knight, H. X. Nguyen, N. Falkner, R. Bowden, and M. Roughan. The Internet topology zoo. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 29(9):1765–1775, 2011.
- [13] D. R. B. Araújo. *Planejamento de redes ópticas usando inteligência computacional e ciência das redes*. PhD thesis, 2015.