

Análise de Estratégias que Fazem Uso de Informações da Estrutura Topológica para o Posicionamento de Nós Regeneradores em Redes Ópticas Translúcidas

Nilvan Santana Souza, Ueslem de Oliveira Pereira, Gilvan Martins Durães

Instituto Federal Baiano (IF Baiano) – Campus Catu R. Barão de Camaçari, 118,
Centro - 48110-000 – Catu – BA – Brasil

nilvan_asouza@hotmail.com, ueslempereira@gmail.com,
gilvan.duraes@catu.ifbaiano.edu.br

Abstract. *Optical networks have been proposed as the technology that can support the increasing demand of Internet traffic in contemporary society. In the optical network, the optical signal suffers physical impairments due to the distance that it travels, for example. So, in some cases, this light must be regenerated by an Optical-Electrical-Optical (OEO) converter. In this context, there is a need to answer the following questions: where it to placement an OEO regenerator? How many OEO regenerators are necessary to ensure the quality of network connections? In this way, heuristics have been proposed to the regenerator's allocation. This work proposes two new strategies to regenerator's allocation that use information from network's topology. One of proposed strategies showed better performance in terms of the number of regenerators nodes required and the blocking probability of optical connections when compared to other equivalent strategies from the literature, in all the evaluated scenarios.*

Resumo. *As redes ópticas têm sido propostas como a tecnologia que pode atender a alta demanda de tráfego da Internet na sociedade contemporânea. Na rede óptica o sinal de luz sofre degradações na fibra, entre outros fatores, devido à distância que ele percorre, então em alguns casos esse sinal de luz precisa ser regenerado por um conversor chamado Óptico-Elétron-Óptico (OEO). Nesse contexto, existe a necessidade de responder às seguintes perguntas: onde posicionar um regenerador OEO? Qual a quantidade necessária para garantir a qualidade das conexões na rede? Desta forma, heurísticas têm sido propostas para a alocação desses regeneradores. Este trabalho propõe duas novas estratégias para o posicionamento de nós regeneradores que utilizam informações da estrutura topológica da rede. Uma das estratégias propostas apresentou melhor desempenho em termos de quantidade de nós regeneradores requeridos e outra em termos de probabilidade de bloqueio de conexões ópticas quando comparado com outras estratégias equivalentes da literatura, em todos os cenários avaliados.*

1. Introdução

A Internet se tornou indispensável para vida humana, o número de usuários da Internet tem crescido a cada dia e consequentemente há o aumento da demanda por banda nas redes de transporte localizadas no núcleo da Internet. Segundo o décimo Relatório Cisco® Visual Networking Index (VNI) Global Forecast and Service Adoption 2014-2019 [Cisco 2015], o tráfego IP global anual superou os Zettabytes (1000 Exabytes) em 2016, e irá superar dois zettabyte em 2019, ou seja, a previsão é que o tráfego da

Internet dobre de volume nesse período. Para atender a essa demanda crescente de tráfego na Internet se justifica o uso das Redes Ópticas, pois a mesma apresenta grande largura de banda, podendo transportar os dados em alta velocidade [Soares *et al.* 2012].

Segundo [Fontinele *et al.* 2014], a medida em que o sinal se propaga na rede, ele vai perdendo sua qualidade, e os próprios equipamentos da rede inserem degradações no sinal óptico. Quando não há regeneração do sinal, as degradações vão acumulando e consequentemente diminuindo a qualidade do sinal, podendo chegar a níveis intoleráveis. Assim, efeitos de camada física, como ruído do amplificador, dispersão, *crosstalk* e efeitos não-lineares, são exemplos de degradações causadas pelos componentes da rede [Zhao *et al.* 2014]. Desta forma, a qualidade do sinal deve ser mantida em níveis satisfatórios, se isso não ocorrer, a conexão poderá ser bloqueada. Assim, as redes ópticas podem ser classificadas pela capacidade que seus nós têm em regenerar o sinal óptico, são elas: redes ópticas opacas, redes ópticas transparentes e redes ópticas translúcidas.

Na rede opaca todos os nós possuem um conversor chamado Óptico-Elétron-Óptico (OEO), o mesmo converte o sinal óptico em eletrônico e, em seguida, depois de processado, ele é novamente convertido em óptico, para que cada nó da rede garanta a qualidade do sinal. Contudo esses equipamentos inserem atrasos no processamento da rede e aumento no custo dos equipamentos [Fontinele *et al.* 2016].

Na rede transparente os nós não possuem a capacidade de regenerar o sinal óptico, isto é, o sinal trafega pelos nós da rede somente em domínio óptico, não há regeneração do sinal. Consequentemente, a rede terá mais velocidade no estabelecimento de conexões, mas sem a regeneração do sinal surge o problema da degradação de camada física [Nath *et al.* 2014].

Já na rede translúcida, apenas alguns nós possuem o conversor Óptico-Elétron-Óptico, ou seja, alguns nós da rede são selecionados estrategicamente para possuírem conversores que irão regenerar o sinal óptico. Esse tipo de rede busca agregar a velocidade da rede transparente com a qualidade do sinal da rede opaca [Nath *et al.* 2014], [Durães *et al.* 2016].

Desta forma, este trabalho consiste em investigar onde posicionar o regenerador OEO na rede e quantos deles serão necessários para que o sinal esteja em índices de qualidade aceitáveis nas conexões entre todos os pares de nós (origem, destino) da rede, visando também ao menor atraso possível do sinal óptico em toda a rede. Para isso, este trabalho analisa o desempenho de estratégias de dimensionamento e posicionamento de nó regenerador OEO baseadas apenas em métricas que utilizam apenas informações topológicas da rede [Nath *et al.* 2014].

Sendo assim, foram analisadas as estratégias *Nodal Degree First* (NDF) e *Hub Node First* (HNF) [Nath *et al.* 2014], além de estratégias baseadas na Centralidade de Intermediação (*Betweenness*) [Freitas 2010] e Distância Média [Guimaraes *et al.* 2015]. Essas estratégias consistem em heurísticas de dimensionamento e posicionamento de nós regeneradores que utilizam informações topológicas da rede como parâmetro. Neste trabalho, as estratégias citadas foram analisadas sob as seguintes métricas: Número de regeneradores e Probabilidade de Bloqueio de requisições de conexões ópticas.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2, é apresentado o problema de Posicionamento de Nós Regeneradores. Na Seção 3, são apresentados os trabalhos relacionados e as principais contribuições deste artigo. Na

Seção 4, os resultados de avaliação de desempenho são apresentados e discutidos. Por fim, na Seção 5, são apresentadas as considerações finais e trabalhos futuros.

2. Problema de Posicionamento de Nós Regeneradores

Em redes ópticas translúcidas usa-se um conjunto de regeneradores posicionados estrategicamente com o propósito de regenerar a qualidade do sinal óptico e diminuir os custos da rede. Existem várias soluções heurísticas que são utilizadas para resolver esse problema baseadas em informações da topologia, do tráfego ou da utilização da rede [Soares *et al* 2012], [Nath *et al* 2014]. Assim, o objetivo do posicionamento de regeneradores é minimizar os impactos das degradações da camada física óptica.

As estratégias consideradas neste trabalho, as quais utilizam apenas informações da topologia da rede como parâmetro, constituem o grupo das estratégias mais simples para este tipo de problema [Nath *et al* 2014]. Nota-se que esse problema é tratado na fase de planejamento da rede, sendo que os custos e restrições da camada física óptica devem ser considerados para a definição da quantidade de regeneradores [Nath *et al* 2014].

Desta forma, as estratégias que utilizam informações da estrutura topológica funcionam da seguinte forma: posiciona-se um regenerador após o outro no nó transparente que possui maior importância em relação aos demais. Essa importância é definida pelo algoritmo de posicionamento, em função, por exemplo, da métrica maior grau (número de enlaces físicos ou lógicos) ou centralidade do nó. Portanto, esse procedimento é repetido para o demais nós da rede que não possuem regenerador até que seja possível todos os pares de nós origem e destino se alcancem, respeitando uma restrição física de topológica. Nos experimentos apresentados neste trabalho, a restrição física considerada na fase de planejamento da rede foi dois saltos transparentes, ou seja, a cada dois saltos, um caminho óptico deve passar por um nó regenerador OEO.

Este trabalho considera uma rede óptica translúcidas com posicionamento esparsos de nós OEO, onde somente uma parte de nós na rede possui capacidade de regeneração, porém esses nós podem regenerar o sinal de qualquer conexão que passa por ele [Soares *et al* 2012], [Nath *et al* 2014]. O posicionamento de nós regeneradores influencia diretamente na qualidade do sinal óptico das conexões ativas da rede e, consequentemente, na Probabilidade de Bloqueio de requisições de conexões.

3. Trabalhos Relacionados e Contribuições

Considerando apenas as informações da topologia da rede, foram utilizadas as seguintes heurísticas de posicionamento de nós OEO propostas ou adaptadas da literatura: *Nodal Degree First* (NDF) [Yang e Ramamurthy, 2015] e *Hub Node First* (HNF) [Shen e Grover 2004], e estratégias baseadas nas métricas Centralidade dos nós (*Betweenness*) [Freitas 2010] e Distância Média [Araújo *et al.* 2014], [Guimaraes *et al* 2015]. Além dessas estratégias heurísticas, foram propostos dois novos algoritmos de posicionamento, chamados *Impairments Aware - Nodal Degree First* (IA – NDF) que considera maiores informações da camada física e *Modified Hub Node First* (M-HNF).

O algoritmo NDF, proposto em [Yang e Ramamurthy, 2015] seleciona como nó regenerador aquele que possui o maior grau nodal (número de interfaces físicas/número de links), se houver mais de um nó com o mesmo grau físico essa escolha é feita de forma aleatória entre eles. Na medida em que o algoritmo escolhe um nó da rede como nó regenerador, o grau nodal de todos os seus vizinhos são diminuídos.

Já, o algoritmo HNF [Shen e Grover 2004] prioriza os nós que possuem maior grau lógico para tornar-se um nó regenerador. O grau lógico de um nó consiste no número de nós destinos que esse nó pode alcançar, levando em consideração uma restrição topológica (e.g. distância ou número de saltos transparentes). Se houver nós com o mesmo grau lógico, será escolhido o nó que possuir maior grau físico como critério de desempate. Após o posicionamento de um nó regenerador, o grau lógico de todos os nós da rede será recalculado, para então verificar novamente o nó que possuir maior grau lógico e selecioná-lo. O processo é repetido até que todos pares de nós (origem, destino) da rede sejam alcançáveis.

Os algoritmos NDF e HNF são citados em [Nath *et al* 2014] como sendo algoritmos avançados e com bom desempenho para o posicionamento de nós regeneradores baseado em informações topológicas.

A métrica *betweenness* mede a centralidade dos nós da rede [Freitas 2010], de maneira que os nós da rede que são mais usados nos caminhos mínimos, são os nós que possuem maior grau de centralidade. Sendo assim, para a identificação do nó com maior grau de importância com base em sua centralidade, é calculada as rotas de menor caminho entre todos os pares de nós (origem, destino) da rede. Mediante todas as rotas apresentadas, a centralidade de um nó é obtida pela quantidade de menores caminhos que passam por ele. Neste trabalho, consideramos e avaliamos o uso da métrica *betweenness* como uma estratégia de posicionamento de nós regeneradores denominada Centralidade dos Nós.

A estratégia baseada na métrica Distância Média utiliza a média do tamanho de todos os menores caminhos entre todos os pares de nós (origem, destino) da rede [Araújo *et al.* 2014], [Guimaraes *et al* 2015]. O menor caminho tratado neste trabalho é constituído pelo número mínimo de saltos em que o nó origem alcança o nó destino, calculado pelo algoritmo de menor caminho de Dijkstra.

A estratégia proposta chamada de IA - NDF consiste numa modificação no algoritmo NDF. Neste caso, será selecionado como nó regenerador aquele que possui o maior grau nodal (número de interfaces físicas), porém se houver mais de um nó com o mesmo grau físico essa escolha não é feita de forma aleatória como na versão original do NDF. Como critério de desempate o algoritmo IA - NDF escolhe o nó que possuir maior distância média dos enlaces diretamente ligados a ele.

O IA-NDF também proposto neste trabalho usa como critério de escolha dados da camada física. Segundo a literatura, os próprios equipamentos inserem as degradações de camada física [Soares *et al.* 2012], [Nath *et al.* 2014], portanto, quanto maior a distância do enlace, mais equipamentos serão utilizados e consequentemente haverá mais degradações nesse enlace. Sendo assim, ao incluir a distância como métrica para escolha do nó regenerador o algoritmo IA - NDF procura estabelecer um posicionamento permitindo mais qualidade no sinal da rede.

O segundo algoritmo proposto chamado de Modified HNF consiste numa adaptação do algoritmo HNF. Sendo assim, ele também seleciona como nó regenerador aquele que possui o maior grau lógico, e como critério de desempate será escolhido o nó que possuir maior grau físico. Contudo, após o posicionamento do regenerador no nó escolhido pelo algoritmo M-HNF proposto, o grau lógico dos nós não será recalculado como no HNF tradicional.

4. Resultados de Avaliação de Desempenho

Para os experimentos de simulação usamos a topologia Abilene e a Americana apresentada na Figura 1, os algoritmos de avaliados foram implementados pelos autores deste trabalho, e as simulações foram realizadas na ferramenta de simulação de Redes Ópticas WDM *Transparent Optical Network Simulator* (TONetS) [Soares *et al.* 2008]. Nas diversas simulações foram utilizadas os seguintes parâmetros: roteamento de menor caminho com o algoritmo de *Dijkstra*, para alocação de comprimento de onda, o algoritmo *FirstFit*, 4 replicações, 1.000.000 requisições de conexões ópticas, e 80 comprimentos de onda. Foram escolhidas as topologias Abilene (Figura 1a) [Duraes *et al* 2016] e a Americana (Figura 1b) [Duraes *et al* 2016].

Para os parâmetros de camada física foi admitido pelo menos 1 amplificador por link e no máximo 3 amplificadores na topologia Abilene, e no máximo 4 amplificadores da topologia Americana. Cada enlace da topologia Abilene variou de 80 a 240 km, enquanto na topologia Americana de 100 a 400 km. A diferença na configuração da distância e na colocação dos amplificadores ocorre devido ao tamanho real das topologias. Em ambas as topologias, a distribuição dos amplificadores foi feita de forma proporcional ao tamanho real (em km) da rede, sendo posto 1 a cada 80 km na topologia Abilene e 1 a cada 100 na topologia Americana. A sensibilidade do receptor utilizada foi de -25 dB, perda de inserção do *Switch* de 30 dB. Outros parâmetros de camada física foram os mesmos usados em [Fontinele *et al.* 2014] e [Zhao *et al.* 2014].

Para efeito de comparações, os gráficos apresentam também o desempenho da rede transparente (todos os nós transparente), e da rede opaca (todos os nós com regeneradores OEO).

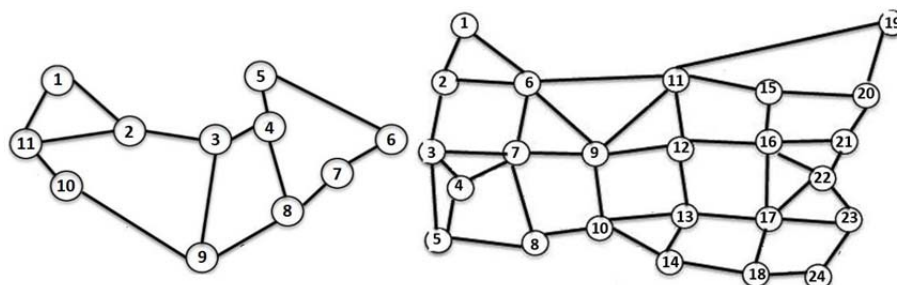


Figura 1 – Topologia da rede Abilene e Topologia da rede Americana [Duraes *et al.* 2016].

Na Tabela 1 é possível observar quais nós da rede foram selecionados para serem regeneradores na topologia Abilene segundo cada algoritmo simulado. Na Tabela 2, essas informações são dadas para a topologia Americana.

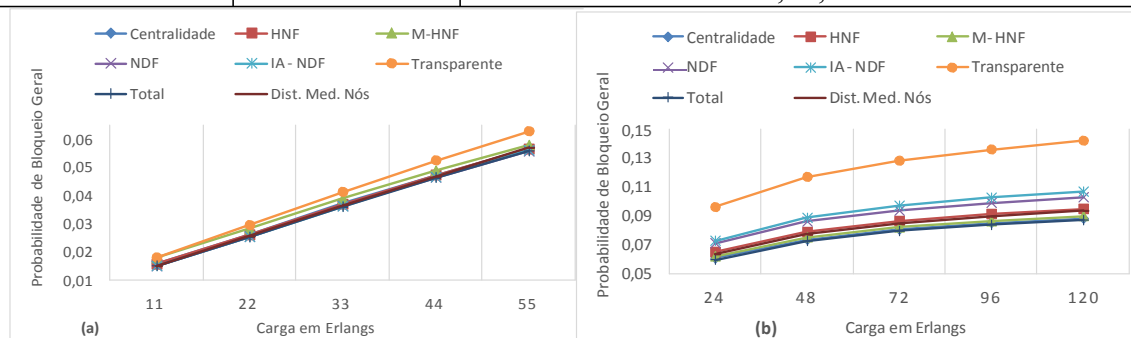
A probabilidade de Bloqueio Geral descreve em porcentagem quantas requisições foram bloqueadas. A Figura 2a apresenta a probabilidade de bloqueio dos algoritmos avaliados para a topologia Abilene e a Figura 2b para topologia Americana.

Tabela1 – Distribuição de regeneradores na topologia Abilene

<i>Algoritmo</i>	<i>Quantidade de Regeneradores</i>	<i>Nós Escolhidos</i>
NDF	6	2;4;9;6;11;7
IA – NDF	5	9;2;4;11;7
HNF	7	3;4;2;1;5;8;9
M – HNF	4	3;4;8;9
Centralidade dos Nós	5	3;4;2;9;8
Distância Média	9	1;10;7;11;6;9;5;8;2

Tabela2 – Distribuição de regeneradores na topologia Americana

<i>Algoritmo</i>	<i>Quantidade de Regeneradores</i>	<i>Nós Escolhidos</i>
NDF	12	11;7;16;17;10;6;3;20;12;22;5;14
IA – NDF	12	6;16;3;9;13;8;11;17;20;4;14;22
HNF	18	9;16;21;22;12;18;6;7;15;12;20;19;11;17;2;5;3;13
M – HNF	17	9;12;6;11;7;16;17;10;13;22;15;8;3;2;14;18;21
Centralidade	18	9;10;6;11;12;13;16;7;8;17;14;5;15;18;3;2;21;22
Distância Média	22	19;24;5;20;4;1;3;2;23;21;18;8;15;14;22;7;11;17;6 16;13;20

**Figura 2 – Probabilidade de Bloqueio Geral**

Na topologia Abilene, em geral, os algoritmos obtiveram um resultado bem semelhante, em termos de Probabilidade de Bloqueio (Figura 2a). Os algoritmos NDF e IA-NDF alcançaram resultados praticamente iguais e apresentaram os melhores desempenhos. Porém, é importante destacar que o algoritmo NDF posicionou um regenerador a mais que o algoritmo proposto IA-NDF, sendo assim, nesse cenário, o algoritmo proposto IA-NDF obteve um melhor resultado, ao serem analisadas as métricas de Probabilidade de Bloqueio e Quantidade de Regeneradores, em conjunto. Tal desempenho se justifica pelo fato do algoritmo proposto IA-NDF posicionar seus regeneradores em nós que favoreçam melhor a regeneração da qualidade do sinal óptico e, por consequência, a qualidade do sinal da rede será melhor e assim haverá menos bloqueio. Em termos de Quantidade de Regeneradores, o algoritmo proposto M-HNF apresentou melhor resultado ao posicionar apenas 4(quatro) nós regeneradores.

Na topologia Americana os algoritmos Centralidade e M-HNF apresentaram melhor desempenho, em termos de Probabilidade de Bloqueio (Figura 2b). Por outro lado, o algoritmo IA-NDF apresentou o pior desempenho em termos de Probabilidade de Bloqueio. O algoritmo Distância Média dos nós apresentou desempenho ligeiramente superior aos algoritmos M-HNF e o IA-NDF, porém, vale a pena destacar que ele posicionou uma quantidade de regeneradores muito maior que os outros, ao posicionar 22 nós regeneradores. O algoritmo proposto IA-DNF posicionou apenas 12 regeneradores, enquanto o M-HNF posicionou 17 regeneradores, nesta topologia. Desta forma, este último alcançou menor probabilidade de bloqueio na rede e o primeiro melhor desempenho em termos de quantidade de nós regeneradores posicionados. O algoritmo HNF utilizou 18 regeneradores, e, ainda assim, não obteve um bom desempenho em termos de probabilidade de bloqueio, quando comparado com o algoritmo de Centralidade e com o M-HNF, os quais também utilizaram 18 regeneradores.

Para se medir a degradação do sinal óptico, [Fontinele *et al.* 2016] apresenta como fator a relação sinal-ruído óptico (*Optical Signal Noise Ratio* - OSNR). Nesse caso, o OSNR deve estar em níveis aceitáveis para o sinal ser considerado de qualidade.

A Probabilidade de Bloqueio por OSNR é uma métrica que avalia quanto por cento das conexões foram bloqueadas somente por não satisfazer a qualidade do sinal óptico. Quando os algoritmos foram avaliados na topologia Abilene (Figura 3a), observou-se que os resultados foram semelhantes ao da probabilidade de bloqueio geral. Na topologia Abilene o IA-NDF obteve um resultado bem superior por sua característica de considerar a distância na escolha de enlaces com mesmo grau físico. O algoritmo distância média teve o pior desempenho, enquanto os outros algoritmos obtiveram resultados próximos.

Na topologia Americana os resultados da probabilidade de bloqueio por OSNR (Figura 3b) também ficaram semelhantes aos resultados da probabilidade de bloqueio geral, mas o algoritmo Centralidade apresentou ainda melhores resultados em relação aos outros algoritmos de posicionamento. O algoritmo M-HNF foi o segundo melhor, ficando o seu desempenho próximo ao desempenho do algoritmo de Centralidade, sendo que ele usou um regenerador a menos. Já o algoritmo IA-NDF, por dimensionar poucos regeneradores, não alcançou um bom desempenho, em termos de probabilidade de bloqueio, se comparado aos outros algoritmos.

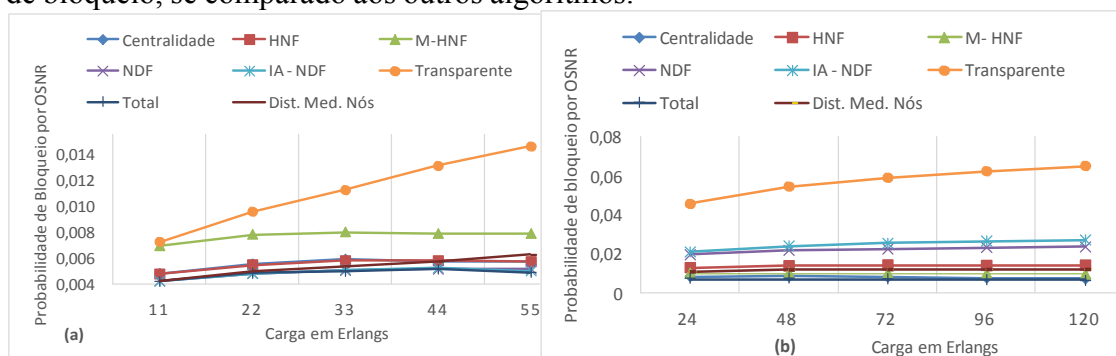


Figura 3 - Probabilidade de Bloqueio por OSNR.

5. Considerações Finais

O dimensionamento e posicionamento de nós regeneradores OEO é um grande desafio para as redes ópticas translúcidas. Por este se tratar de um problema de otimização, a qualidade do sinal na rede varia de acordo com a heurística utilizada. Neste trabalho, foram avaliados algoritmos de dimensionamento e posicionamento de nós OEO apresentados na literatura que consideram informações da topologia da rede. Além disso, foram propostos e avaliados dois novos algoritmos, IA-NDF e M-HNF.

Ao avaliar o desempenho dos algoritmos de posicionamento na topologia Abilene, o algoritmo IA-NDF obteve melhor desempenho em termos de probabilidade de bloqueio, por sua característica de considerar a distância. Quanto à métrica de número de nós regeneradores posicionados, o algoritmo proposto M-HNF apresentou o melhor resultado para a topologia Abilene, ao posicionar ao menos um nó regenerador a menos que os demais algoritmos, sem comprometer a probabilidade de bloqueio da rede. Observou-se ainda diferentes níveis de desempenho dos algoritmos avaliados nas duas topologias, principalmente pela característica de uma topologia ser mais extensa que a outra, em termos de número de nós e enlaces.

Como trabalhos futuros sugere-se a inclusão de outras heurísticas baseadas em métricas espectrais [Freitas 2010], [Araujo *et al.* 2014], e a análise de experimentos em cenários de redes ópticas translúcidas elásticas [Fontinele *et al.* 2016].

6. Referências

- Araújo, D. R. B., Bastos-Filho, C. J. A., Martins-Filho, J. F., (2014) “Métricas em Redes Complexas”. Revista de Tecnologia da Informação, v. 4, n. 2, p. 11-18, Outubro, 2014.
- Cisco (2015). “Cisco prevê o triplicação do tráfego IP entre 2014 e 2019”, http://www.cisco.com/c/pt_pt/about/press/news-archive-2015/20150527.html, Maio.
- Duraes, G. M., Araujo, V. V., Soares, A., Monteiro, J. A. S., Giozza, W. F. (2016) “An Iterative and Hybrid Strategy for Routing and OEO Placement in Translucent Optical Networks”. In: Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC), p. 748-761, Maio 2016.
- Fontinele, A., Santos, I., Durães, G. e Soares, A. (2016) “Achievement of fair and efficient regenerador allocations in translucent optical networks using the novel regenerador assignment algorithm”. Optical Switching and Networking, Elsevier, 19, p. 22-39.
- Fontinele, A., Santos, I., Durães, G., Maranhão, J., Soares, A (2014). Alocação Preventiva de Regeneradores em Redes Ópticas Translúcidas. In: 32 Simpósio Brasileiro de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC). Florianópolis, Maio 2014.
- Freitas, L. Q. (2010) “Medidas de Centralidade em Grafos”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 103f, 2010.
- Guimaraes, A. C., Nascimento, A C. A. e Giozza, W. F. (2015) “Métricas de conectividade e vulnerabilidade em redes” Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – (SBrT), Setembro 2015.
- Nath, I., Chatterjee, M. e Bhattacharya, U. (2014) “A survey on regenerator Placement Problem in translucent optical network”, in International Conference on Circuits, Systems, Communication and Information Technology Applications (CSCITA), p.408-413, 4-5, Abril.
- Shen, G e Grover, W. D. (2004) “Segment-based approaches to survivable translucent network design under various ultra-long-haul system reach capabilities”. Journal of Optical Networking, v. 3, n. 1, p. 1-24, Janeiro, 2004.
- Soares, A. C. B. Moura, I. C.; Fontilene, A. C.; Durães, G. M.; Maranhão Neto, José C.; Assis, K. D. R (2012). “Redes Ópticas de Transporte: Transparentes vs. Translúcidas”. In: Escola Regional de Computação do Ceará, Maranhão e Piauí (ERCEMAPI). (Org.). Livro de Minicursos da ERCEMAPI 2012. 1ed., v. 1, p. 1-24.
- Soares, A. C. B., Durães, G. M., Giozza W. e Cunha, P. (2008) “TONetS: Ferramenta para Avaliação de Desempenho de Redes Ópticas Transparentes” in VII Salão de Ferramentas do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC, Maio 2008.
- Yang, X. e Ramamurthy, B. (2005). “Sparse Regeneration in Translucent Wavelength-Routed Optical Networks: Architecture, Network Design and Wavelength Routing”, Photonic Network Communication, Volume 10, Number 1, July 2005, pp. 39-53.
- Zhao, J., Subramaniam, S. e Brandt-Pearce, M. (2014) “Intradomain and Interdomain QoT-Aware RWA for Translucent Optical Networks”. IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, v. 6. p. 536-548. Junho 2014.