

# **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 (in memoriam), 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, gilvan.duraes@ifbaiano.edu.br

***Abstract.** 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 to place an OEO regenerator? How many OEO regenerators are necessary to ensure the quality of the 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.*

***Resumo.** 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-Eléctro-Óptico (OEO). Nesse contexto, existe a necessidade de responder às seguintes perguntas: onde posicionar um regenerador OEO? Qual a quantidade necessária de regeneradores 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.*

## **1. Introdução**

O número de usuários da Internet tem crescido a cada dia e conseqüentemente há o aumento da demanda por banda nas redes de transporte localizadas no núcleo da Internet. Segundo [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, como ilustra a Figura 1.

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].

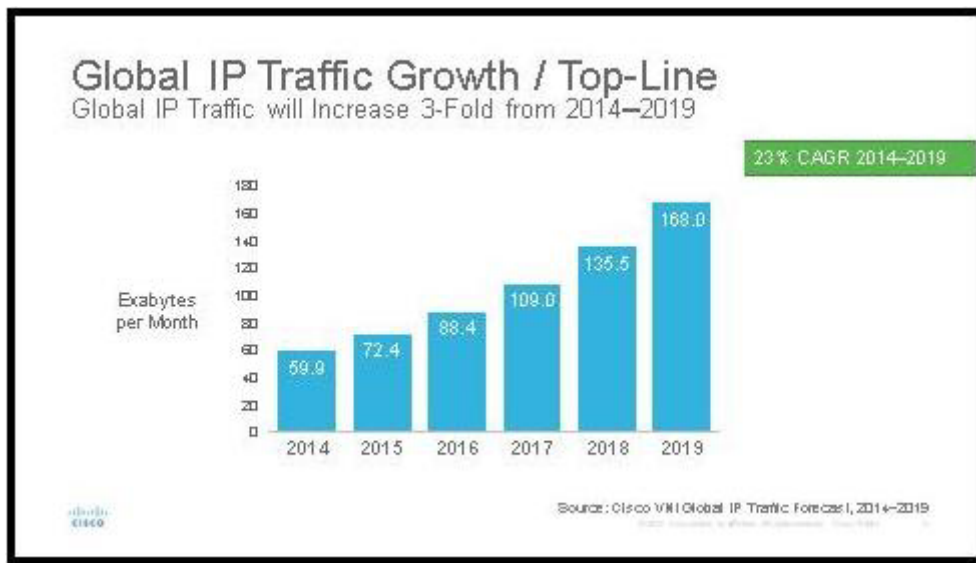


Figura 1. Crescimento do Tráfego IP. Fonte: CISCO, 2015.

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 óptico, as degradações vão acumulando e, conseqüentemente, diminuindo a qualidade do sinal óptico, 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, conforme exemplificado na Figura 2.

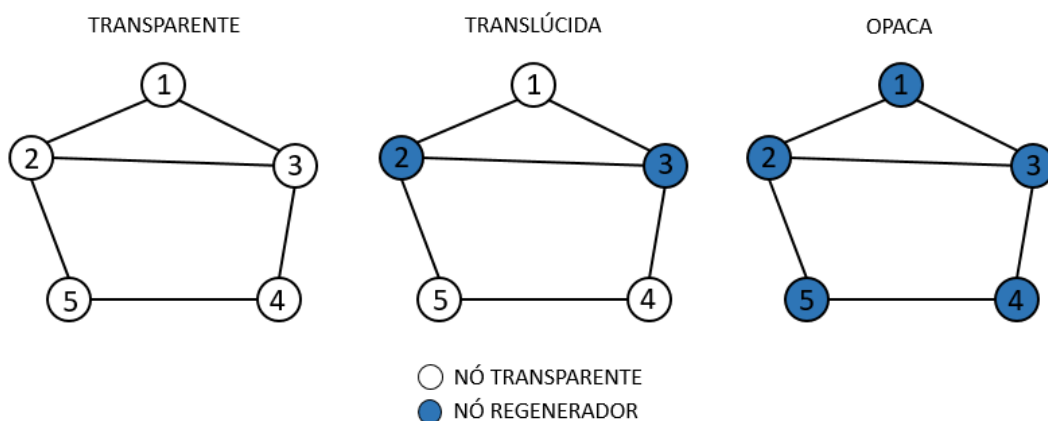


Figura 2. Rede óptica transparente, translúcida e opaca.

Na rede opaca, todos os nós possuem um conversor chamado Óptico-Elétronico (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]. Além disso, foram propostos dois novos algoritmos: *Impairments Aware - NDF* (IA – NDF) e o *Modified - HNF* (M – HNF). 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 deste artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 são apresentadas as principais degradações da camada física óptica. Na Seção 3 é apresentado o problema de Posicionamento de Nós Regeneradores. Na Seção 4, são apresentados os trabalhos relacionados e as principais contribuições deste artigo. Na Seção 5, os resultados de avaliação de desempenho são apresentados e discutidos. Por fim, na Seção 6, são apresentadas as considerações finais e trabalhos futuros.

## **2. Degradação do Sinal Óptico na Rede Óptica Translúcida**

O sinal óptico sofre degradações na rede óptica translúcida ao se propagar através de enlaces transparentes de fibra óptica. Isso ocorre porque na rede óptica translúcida alguns nós não possuem capacidade de regeneração. Desta forma, o sinal óptico sofrerá degradação ao percorrer esses nós. A degradação do sinal acumula-se à medida que ele trafega pela rede, porém caso o sinal alcance um nó regenerador, ele deverá ser regenerado. Equipamentos como matrizes de comutação, amplificadores ópticos e outros elementos, inserem degradações no sinal óptico que irão se condensando enquanto esse sinal não passar por um nó regenerador, podendo chegar a níveis de qualidade inaceitáveis [Soares *et al.* 2012], [Pereira *et al.* 2016].

Para se estabelecer uma conexão, primeiro é definida a rota, e em seguida o comprimento de onda que será utilizado. O problema da escolha da rota, e do comprimento de onda, avaliando-se a degradação de camada física para o estabelecimento da conexão, é conhecido na literatura por *Impairment Aware - Routing and Wavelength Assignment* (IA - RWA) [Zhao *et al* 2014]. As degradações mais comuns são apresentadas a seguir.

*Crosstalk* – é a interferência do sinal transportado por um comprimento de onda em outro comprimento de onda vizinho [Maranhão *et al* 2010].

Emissão Espontânea Amplificada (*Amplifier Spontaneous Emission* - ASE) – uma vez que todo sinal óptico possui uma relação de ruído. Quando o sinal óptico é amplificado para compensar as atenuações o ruído também é amplificado [Gomes *et al* 2009].

Dispersão Cromática – espectros do sinal óptico não trafegam na mesma velocidade dentro da fibra, com isso, à medida que o sinal vai se propagando na fibra, são geradas interferências nos bits que estão sendo transmitidos [Soares *et al* 2012].

Dispersão dos Modos de Polarização – energia do sinal é decomposta em dois modos de polarização com velocidades levemente diferentes, ou seja, na saída do pulso de luz, as polarizações estão alinhadas, mas à medida que o sinal se propaga na fibra o pulso de entrada vai se deteriorando e decompondo-se de forma que as polarizações percam pouco a pouco esse alinhamento [Gomes *et al* 2009].

Para se medir a degradação do sinal óptico, [Soares *et al* 2012] descreve como fator a relação sinal-ruído óptico (*Optical Signal Noise Ratio* – OSNR), a qual foi utilizada nos experimentos apresentados neste trabalho. Nesse caso, o OSNR deve estar em níveis aceitáveis para que o sinal seja considerado como de qualidade.

### **3. 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 os demais nós da rede que não possuem regenerador, até que seja possível todos os pares de nós origem e destino se alcançarem, respeitando uma restrição física da topologia. Nos experimentos apresentados neste trabalho, a restrição

física considerada na fase de planejamento da rede foi de 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 translúcida 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, conseqüentemente, na Probabilidade de Bloqueio de requisições de conexões.

#### 4. 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, 2005] 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, 2005] seleciona como nó regenerador aquele que possui o maior grau nodal físico (número de interfaces físicas/número de enlaces), se houver mais de um nó com o mesmo grau físico essa escolha é feita de forma aleatória entre eles. A medida em que o algoritmo escolhe um nó da rede como nó regenerador, o grau nodal de todos os seus vizinhos são diminuídos em uma unidade.

Já, o algoritmo HNF [Shen e Grover 2004], prioriza os nós que possuem maior grau lógico para tornarem-se nós regeneradores. O grau lógico de um nó consiste no número de nós destino 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.

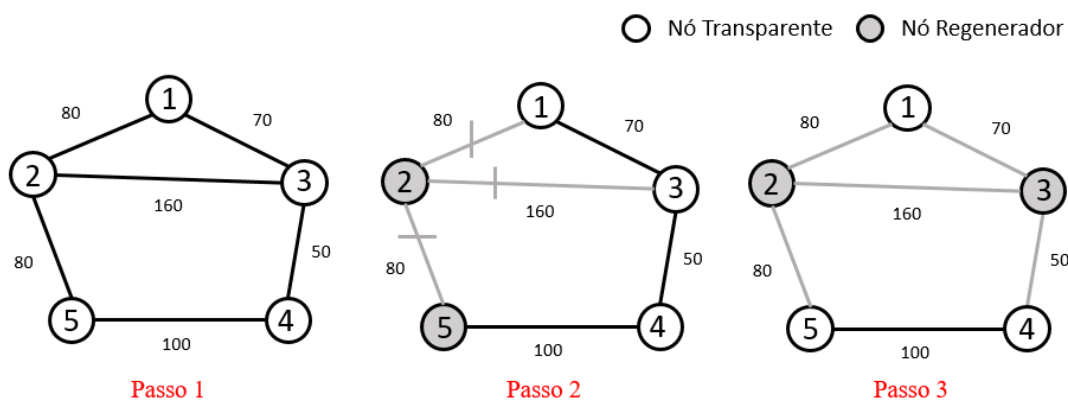
Os algoritmos NDF e HNF são citados em [Nath *et al* 2014] como sendo algoritmos avançados e com bom desempenho para o posicionamento de nós regeneradores baseado em informações topológicas.

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 *Impairments Aware – NDF* (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 possui maior distância média dos enlaces diretamente ligados a ele. A Figura 3, exemplifica o passo a passo da estratégia proposta IA – NDF.

No exemplo ilustrado (Figura 3), no Passo 1, o algoritmo identifica que os Nós 2 e 3 possuem o mesmo grau físico, e o maior grau físico, quando comparado com os demais nós da rede. Desta forma, o algoritmo IA – NDF, no Passo 2, posiciona o regenerador no Nó 2, pois o mesmo possui distância média dos seus enlaces igual a 320Km, enquanto o Nó 3 apresenta a distância média de seus enlaces igual a apenas 280Km. Após o posicionamento diminui-se um grau de todos os vizinhos do Nó 2. Após o algoritmo IA – NDF verificar que todos os pares de nós (origem, destino) da rede ainda não são alcançáveis, o algoritmo realizará o posicionamento de outro regenerador. Sendo assim, no Passo 3, o algoritmo IA – NDF posiciona o regenerador no Nó 3, pois, o mesmo, nesse momento, apresenta o maior grau físico dentre todos os nós da rede, juntamente com o Nó 4, porém, o Nó 3 foi o escolhido por apresentar distância média de seus enlaces igual a 280Km, enquanto o Nó 4 apresenta 150Km. Após o posicionamento dos regeneradores nos Nós 2 e 3, todos os pares de nós (origem, destino) da rede se tornam alcançáveis, logo, o algoritmo IA – NDF é finalizado.



**Figura 3. Funcionamento do algoritmo IA - NDF.**

O algoritmo IA – NDF, proposto neste trabalho, utiliza como critério de escolha dados da camada física óptica. 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, conseqüentemente, haverá mais degradações nesse enlace. Sendo assim, ao incluir a distância como métrica para escolha do nó regenerador, o algoritmo IA – NDF visa estabelecer um

posicionamento de nós regeneradores permitindo maior qualidade do sinal óptico na rede.

O segundo algoritmo proposto, chamado de *Modified* – HNF (M – 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 primeiro nó escolhido pelo algoritmo M – HNF proposto, o grau lógico de todos os nós da rede não será recalculado como no HNF tradicional. A Figura 4 exemplifica o passo a passo da estratégia proposta M – HNF.

No exemplo ilustrado na Figura 4, no Passo 1, o algoritmo identifica o grau lógico de todos os nós da rede e cria uma lista de prioridade, na qual os primeiros nós dessa lista serão os nós que possuírem o maior grau lógico. Sendo assim, no exemplo citado, o algoritmo criará a seguinte lista de prioridade, em ordem: Nó 2 (grau 3), Nó 3 (grau 3), Nó 1 (grau 2), Nó 4 (grau 2) e Nó 5 (grau 2). No Passo 2, o algoritmo M – HNF posiciona o regenerador no Nó 2, se todos os pares de nós (origem, destino) da rede não forem alcançáveis, o algoritmo realizará o posicionamento do regenerador no próximo nó da lista, no caso o Nó 3. Após o posicionamento de regeneradores nos nós Nó 2 e Nó 3, todos os pares de nós (origem, destino) da rede se alcançam e o algoritmo encerra, assim, o posicionamento de nós regeneradores.

Caso, os graus dos nós fossem recalculados, como no algoritmo HNF, após o posicionamento do regenerador no nó 2, o grau lógico de todos os nós seriam recalculados. Sendo assim, o nó 1 passaria a possuir (grau 3), nó 3 (grau 4), nó 4 (grau 2), nó 5 (grau 3). De forma contrária, o algoritmo M – HNF calcula o grau lógico dos nós da rede apenas uma vez. Nas simulações realizadas, essa pequena diferença entre os algoritmos HNF e M – HNF foi o bastante para diferenciar o conjunto de nós regeneradores escolhido entre eles, nas simulações realizadas.

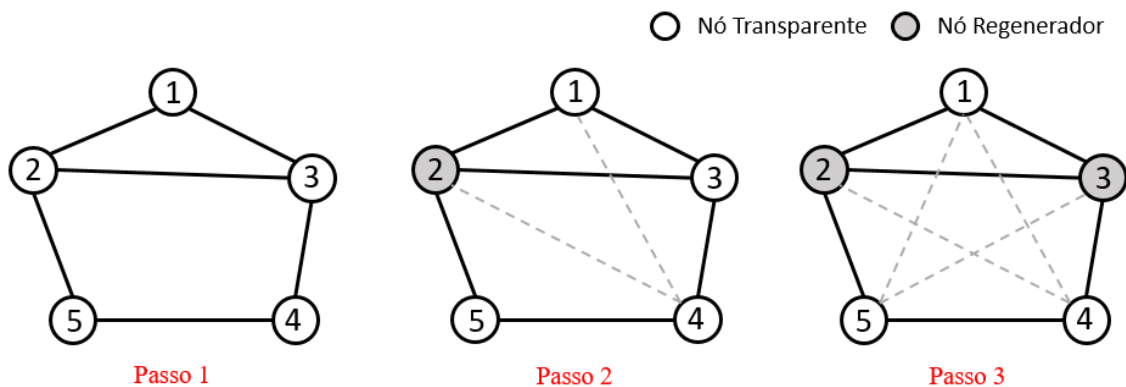


Figura 4. Funcionamento do algoritmo M - HNF.

## 5. Resultados de Avaliação de Desempenho

Para os experimentos de simulação usamos a topologia Abilene [Duraes *et al* 2016] e a Americana [Duraes *et al* 2016] apresentada nas Figuras 5 e 6, os algoritmos 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 5) e a Americana (Figura 6).

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 Km a 240 Km, enquanto na topologia Americana de 100 Km 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).

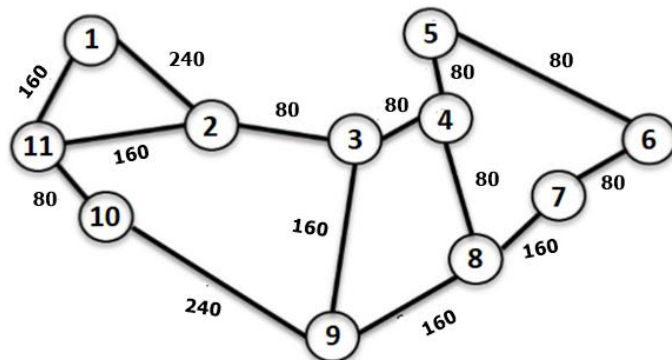


Figura 5 – Topologia da rede Abilene [Duraes et al. 2016].

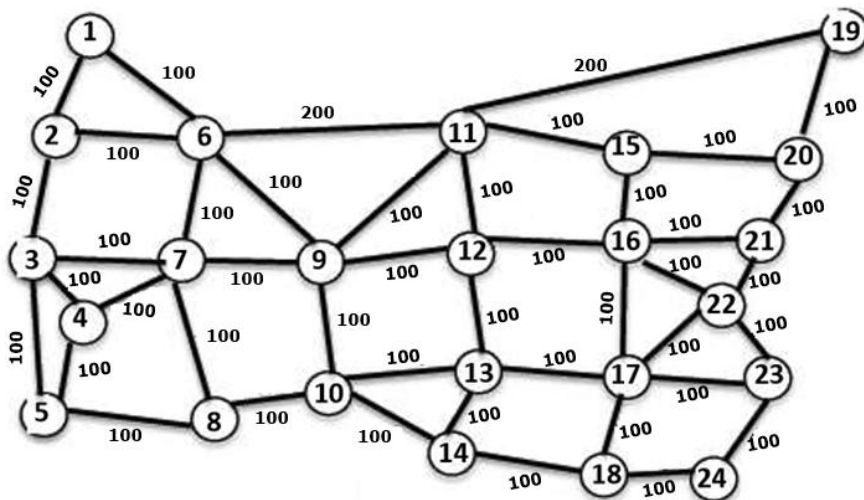


Figura 6 – Topologia da rede Americana [Duraes et al. 2016].



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

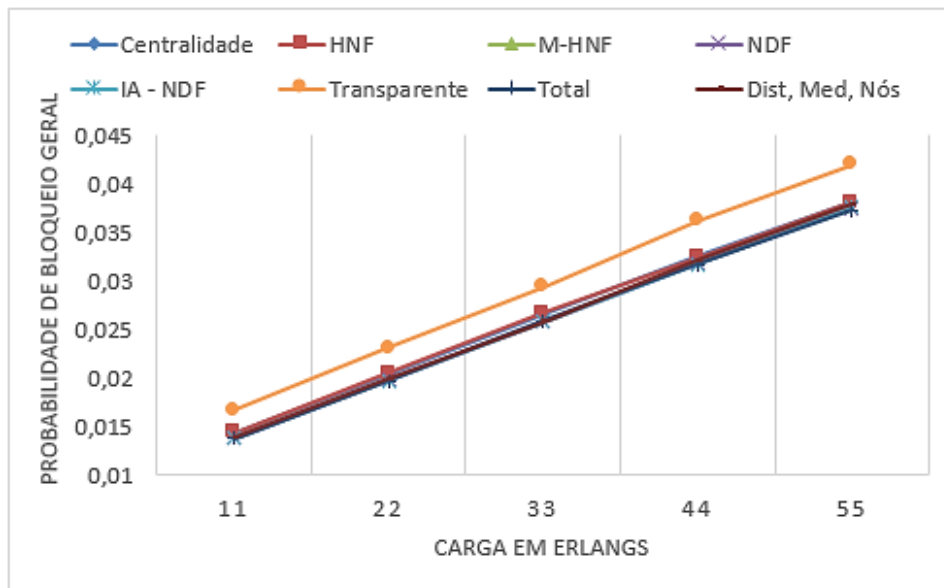
A Probabilidade de Bloqueio Geral descreve em porcentagem quantas requisições foram bloqueadas. A Figura 7 apresenta a Probabilidade de Bloqueio dos algoritmos avaliados para a topologia Abilene e a Figura 8 apresenta a Probabilidade de Bloqueio referente à topologia Americana.

**Tabela 1 – Distribuição de nós regeneradores na topologia Abilene.**

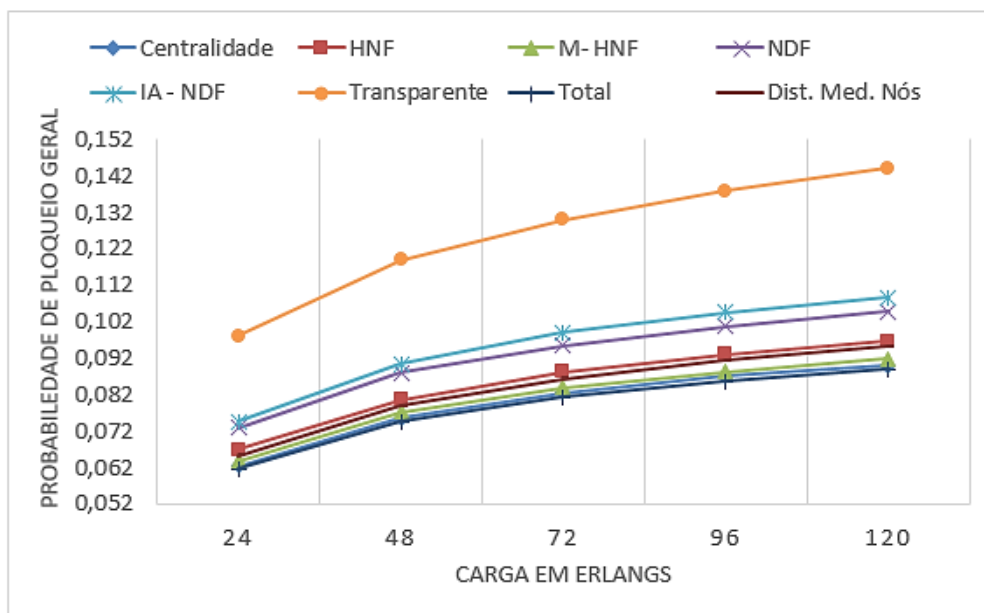
Algoritmo	Quantidade de Nós Regeneradores	Nós Escolhidos
NDF	6	2;4;9;6;11;7
IA – NDF	5	9;2;4;11;7
HNF	7	3;4;2;1;5;8;9
M – HNF	4	3;4;8;9
Centralidade dos Nós	5	3;4;2;9;8
Distância Média	9	1;10;7;11;6;9;5;8;2

**Tabela 2 – Distribuição de nós regeneradores na topologia Americana**

Algoritmo	Quantidade de Nós Regeneradores	Nós Escolhidos
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;1 4;18;21
Centralidade dos Nós	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;2 2;7;11;17;6 16;13;20



**Figura 7 – Probabilidade de Bloqueio Geral Abilene.**



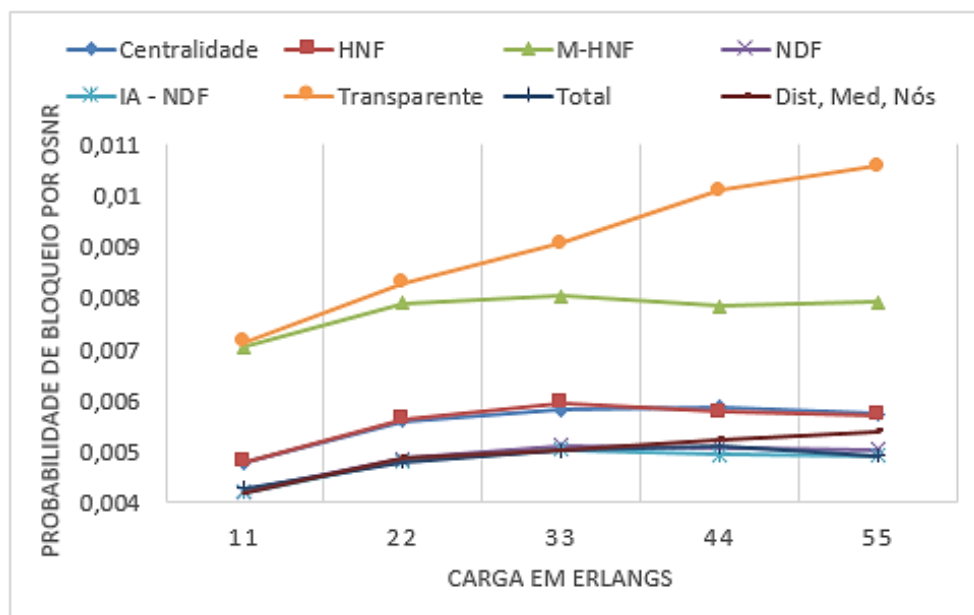
**Figura 8 – Probabilidade de Bloqueio Geral Americana.**

Na topologia Abilene, em geral, os algoritmos obtiveram um resultado bem semelhante, em termos de Probabilidade de Bloqueio (Figura 7). Os algoritmos NDF e IA - NDF tiveram 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 8). 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.

A Probabilidade de Bloqueio por OSNR é a métrica que avalia quanto por cento das conexões foram bloqueadas por não satisfazer a qualidade do sinal óptico. Quando os algoritmos foram avaliados para a topologia Abilene (Figura 9), observou-se que os resultados de Probabilidade de Bloqueio por OSNR foram semelhantes aos resultados da Probabilidade de Bloqueio Geral. Na topologia Abilene, o algoritmo IA-NDF obteve um resultado bem superior, em termos de Probabilidade de Bloqueio por OSNR, 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.



**Figura 9 - Probabilidade de Bloqueio por OSNR Abilene.**

Na topologia Americana, os resultados da Probabilidade de Bloqueio por OSNR (Figura 10) também ficaram semelhantes aos resultados da Probabilidade de Bloqueio

Geral, no entanto, o algoritmo Centralidade apresentou 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, quanto comparado aos outros algoritmos.

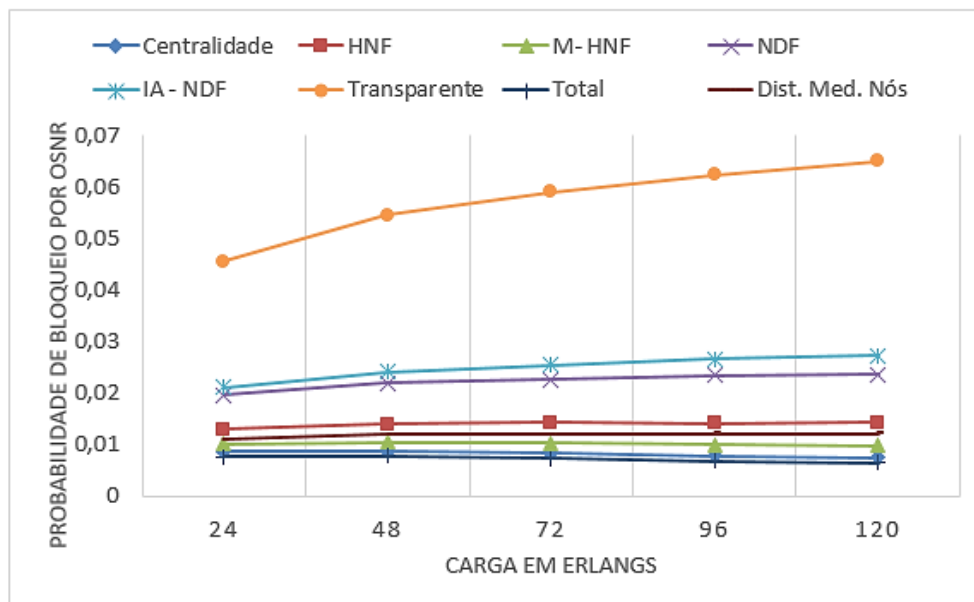


Figura 10 - Probabilidade de Bloqueio por OSNR Americana.

## 6. 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].

## 7. 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](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., 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.
- 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.
- 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.
- Gomes, A. F., Fernandes, C. E. M., Oliveira, V. A. P. E Fonseca, I. E. (2009) “Estratégia de Roteamento em Algoritmos IA-RWA para Redes Ópticas – Uma avaliação da Dispersão de Modo de Polarização”. In: 27 Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. 27, Blumenau. Anais do XXVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT 2009). 29 de Setembro a 2 de Outubro de 2009.
- 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.
- Maranhão, J., Soares, A., Waldman, H. (2010) “Alocação de Comprimento de Onda em Redes Ópticas Considerando as Degradações de Camada Física”. In: Simpósio Brasileiro de Rede de Computadores e Sistemas Distribuídos, 28., 2010, Gramado. Anais do XXVIII SBRC. Gramado: UNICAMP/UFPI/UFABC, 2010. v. 1. p. 829-840.
- 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.
- Pereira, U. O., Durães, G.M. (2016) “Avaliação de Desempenho de Algoritmos de Alocação de Comprimento de Onda que Consideram as Degradações de Camada Física em Redes Ópticas”. In: XVI Escola Regional de Computação da Bahia, Alagoas e Sergipe da Sociedade Brasileira de Computação – ERBASE 2016.

- 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., 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.
- 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.
- 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.