

# Análise do Impacto de Estratégias de Roteamento em uma Rede Óptica Elástica Translúcida

Arthur H. M. de Oliveira, William S. dos Santos, Helder A. Pereira, Raul C. Almeida Jr.

**Resumo**— Este artigo apresenta uma análise do impacto de estratégias de roteamento em uma rede óptica elástica translúcida. Para isso, considerou-se o ruído de emissão espontânea amplificada gerado pelos amplificadores ópticos como penalidade física. Toda a análise de desempenho foi realizada em termos de probabilidade de bloqueio de chamadas em função da carga. Os resultados obtidos, para uma determinada rede bem conhecida na literatura, demonstraram que, dependendo da estratégia de roteamento e de como são utilizados os regeneradores nos nós translúcidos, pode-se ter impacto considerável no estabelecimento de chamadas solicitadas pela rede.

**Palavras-Chave**— Algoritmo de Roteamento, Algoritmo de Utilização de Regeneradores, Rede Óptica Elástica Translúcida.

**Abstract**— This paper presents an analysis of the impact of routing strategies on a translucent elastic optical network. We considered the amplified spontaneous emission noise generated by optical amplifiers as physical impairment. All performance analysis was performed in terms of the blocking probability of call requests as a function of the network load. The obtained results for a given network physical topology well known in the literature have demonstrated that, depending on the routing strategy and how regenerators are used, one can have a considerable impact on the establishment of the requested calls by the network.

**Keywords**— Regenerator Assignment Algorithm, Routing Algorithm, Translucent Elastic Optical Network.

## I. INTRODUÇÃO

As redes ópticas elásticas oferecem a vantagem de utilizar o espectro de frequência de forma eficiente em comparação com as redes ópticas que utilizam multiplexação por comprimento de onda (WDM – *Wavelength Division Multiplexing*) [1]. Isso acontece devido à dependência da largura de banda espectral com a taxa de transmissão e o formato de modulação utilizados [2]. Além disso, quando os sinais ópticos se propagam na rede, pode ocorrer degradação em sua qualidade de transmissão (QoT – *Quality of Transmission*), inviabilizando o reconhecimento dos dados transmitidos na fase de recepção do sinal. Dessa forma, existem dois problemas, no contexto de sinais ópticos com nível de QoT abaixo do limiar nos nós de recepção, que precisam ser resolvidos, são eles: (1) determinar quais nós da rede podem regenerar sinais ópticos (nós translúcidos) e (2) determinar como os nós translúcidos utilizam seus recursos de regeneração. O primeiro problema é conhecido como de alocação de nós translúcidos (RP –

*Regenerator Problem*) e o segundo como de utilização de regeneradores (RA – *Regenerator Assignment*) [1].

Este artigo apresenta uma análise do impacto de estratégias de roteamento em uma rede óptica elástica translúcida. Para isso, considerou-se o ruído de emissão espontânea amplificada (ASE – *Amplified Spontaneous Emission*) gerado pelos amplificadores de potência (*booster*), de linha (*in-line*) e pré-amplificadores, presentes ao longo dos nós e enlaces, como penalidade física. Está organizado da seguinte forma: na Seção II, as diferentes estratégias de roteamento são descritas, bem como o cenário, os parâmetros e as considerações utilizadas nas simulações. Na Seção III, são discutidos os resultados e, por fim, na Seção IV, as conclusões e os trabalhos futuros são apresentados.

## II. ESTRATÉGIAS DE ROTEAMENTO

Neste trabalho, foram considerados os seguintes algoritmos de roteamento, bem conhecidos na literatura e com adaptações para uso em redes ópticas elásticas: (1) menor número de enlaces (MH – *Minimum Hops*) [3]; (2) menor distância física (SP – *Shortest Path*) [3] e (3) distância e disponibilidade, adaptado para disponibilidade de intervalos de frequência (*slots*) (LORa – *Length and Availability Routing*) [2]. Os dois primeiros (MH e SP) são algoritmos de roteamento fixo e o último (LORa) de roteamento dinâmico [3].

### A. Cenário de Simulação

A NSFNet foi a topologia utilizada nas simulações [1]. Os ganhos dos amplificadores ópticos foram dimensionados de modo a compensar as perdas do nó e do enlace. Cada nó possui arquitetura denominada de comutação de espectro (*spectrum switching*) [1], adaptada para utilização de regeneradores. A relação sinal-ruído óptica obtida no nó destino ( $OSNR_{RX}$ ) pode ser calculada conhecendo-se os valores das perdas nos dispositivos, dos ganhos e do ruído ASE gerado nos amplificadores ópticos, levando-se em conta a taxa de transmissão de bit e o formato de modulação [2]. Assumiu-se que: (1) as chamadas solicitadas pela rede seguem uma distribuição poissoniana; (2) a duração de cada chamada estabelecida segue uma distribuição exponencial e (3) a seleção dos pares fonte-destino e da taxa de transmissão de bit, para um dado pedido de conexão, seguem uma distribuição uniforme. O número de requisições simuladas foi de cem mil chamadas. Para um determinado pedido de requisição de chamada, o algoritmo de roteamento em análise (MH, SP ou LORa) e o de atribuição espectral de primeiro preenchimento (FF – *First Fit*) devem ser utilizados para verificar se a chamada pode ser estabelecida. Primeiro, tenta-se estabelecer a chamada no

formato de modulação com maior eficiência espectral (neste trabalho, 64-QAM). Caso não se consiga estabelecer a chamada com esse formato de modulação, tenta-se o próximo mais eficiente, até que não se consiga estabelecer a chamada de forma transparente (sem utilização de regeneradores). Foram considerados dois algoritmos de utilização de regeneradores utilizados no estudo de redes ópticas elásticas translúcidas [1]: 1) o de maior alcance transparente (FLR – *First Longest Reach*) e 2) o de melhor atribuição espectral (FNS – *First Narrowest Spectrum*).

Os valores dos parâmetros utilizados nas simulações foram os seguintes: (1) espaçamento de 80 km entre amplificadores de linha (*span length*); (2) 100 % dos nós com capacidade de regeneração; (3) 100 regeneradores por nó da rede; (4) 64 slots por enlace; (5) formatos de modulação utilizados: 4, 8, 16, 32 e 64-QAM; (6) taxas de transmissão de bit variando de 100 a 500 Gbps com distribuição uniforme; (7) 12,5 GHz de largura de banda de um slot; (8) 12,5 GHz de largura de banda de referência; (9) 5 dB de perda nos elementos de comutação; (10) 5 dB de figura de ruído nos amplificadores ópticos; (11) 0 dBm de potência de entrada do sinal óptico e (12) 30 dB de OSNR na transmissão ( $OSNR_{TX}$ ). Assumiu-se também que os regeneradores podem, além de regenerar o sinal óptico, realizar conversão espectral. As simulações foram realizadas utilizando-se o *software* de código aberto SimEON [4].

### III. RESULTADOS

A Figura 1 ilustra a probabilidade de bloqueio de chamadas em função da carga da rede, considerando diferentes algoritmos de roteamento (MH, SP e LORa) e estratégias de utilização de regeneradores (FLR e FNS). Considerando-se a política de utilização de regeneradores, em um determinado valor de carga fixo (por exemplo, 200 Erlangs), a probabilidade de bloqueio de chamadas obtida ( $P_B$ ), quando se utiliza o FLR, é maior que a obtida utilizando o FNS (quase duas vezes para o MH e o SP e duas vezes e meia para o LORa). Isso ocorre devido à característica do FLR em privilegiar o maior alcance transparente para reduzir o uso dos recursos disponíveis de regeneração, o que faz com que as chamadas ocupem uma maior parcela do espectro de frequência devido ao uso de formatos de modulação menos eficientes espectralmente, inviabilizando que mais chamadas possam ser estabelecidas. Contrariamente, a política FNS, por privilegiar o estabelecimento de chamadas com formatos de modulação mais eficientes do ponto de vista espectral, gera uma menor ocupação do espectro de frequência.

Considerando o aspecto do tipo de roteamento (fixo ou dinâmico), percebe-se que, independente da política de utilização de regeneradores (seja FLR ou FNS), pode-se obter valores de probabilidade de bloqueio de chamadas menores considerando o estado da rede na estratégia de roteamento. Para um determinado valor de carga fixo (por exemplo, 200 Erlangs), o LORa-FNS fornece  $P_B \approx 4 \times 10^{-3}$  enquanto que o MH-FNS e o SP-FNS fornecem  $P_B \approx 1,6 \times 10^{-2}$ . O LORa-FLR fornece  $P_B \approx 1,2 \times 10^{-2}$  enquanto que o MH-FLR e o SP-FLR fornecem  $P_B \approx 2,6 \times 10^{-2}$ .

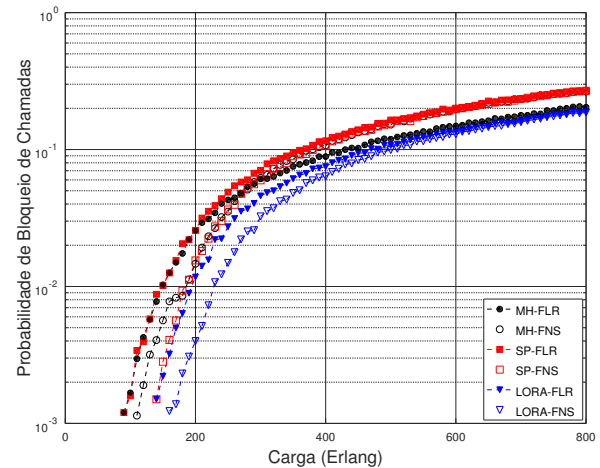


Fig. 1: Probabilidade de bloqueio de chamadas em função da carga da rede, considerando diferentes algoritmos de roteamento (MH, SP e LORa) e estratégias de utilização de regeneradores (FLR e FNS).

### IV. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo foi analisado o impacto de estratégias de roteamento no desempenho de uma rede óptica elástica translúcida, em termos da probabilidade de bloqueio de chamadas. Considerou-se o ruído ASE como penalidade física e dois algoritmos de utilização de regeneradores (FLR e FNS). Verificou-se que, independentemente do algoritmo de roteamento utilizado, a política FNS forneceu valores menores de probabilidade de bloqueio de chamadas, considerando o número de regeneradores utilizados, em comparação com a política FLR e que, independentemente da estratégia de utilização de regeneradores, o roteamento dinâmico forneceu melhor desempenho do que aqueles que consideraram rotas fixas ao longo dos pares fonte-destino da rede no cenário de simulação analisado. Como trabalhos futuros, pretende-se investigar o impacto dessas estratégias de roteamento em cenários de simulação que envolvam variação no número de regeneradores presentes na rede.

### AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à UFCG e à UFPE o apoio institucional.

### REFERÊNCIAS

- [1] M. A. Cavalcante, H. A. Pereira, D. A. R. Chaves, and R. C. Almeida Jr., "Estado da arte de redes Ópticas elásticas translúcidas para cenários de tráfego dinâmico em redes metropolitanas e de longas distâncias," *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, vol. 7, no. 2, pp. 24–32, 2017. [Online]. Available: <http://rtic.com.br/index.php/rtic/article/view/86>
- [2] —, "Applying power series routing algorithm in transparent elastic optical networks," in *SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, Novembro 2015, pp. 1–5.
- [3] H. Zang and J. P. Jue, "A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical wdm networks," *Optical Networks Magazine*, vol. 1, pp. 47–60, 2000.
- [4] M. A. Cavalcante, H. A. Pereira, and R. C. Almeida Jr., "Simeon: an open-source elastic optical network simulator for academic and industrial purposes," *Photonic Network Communications*, vol. 34, no. 2, pp. 193–201, Outubro 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11107-017-0697-9>