

# Sobrevivência em Redes Ópticas: Análise Comparativa entre Redes Transparentes e Redes Translúcidas

Rodrigo C. de Freitas, Mônica D. Lima, Valdenir S. Silva

**Resumo**— Neste trabalho é realizado um estudo comparativo do desempenho de quatro algoritmos de restauração, considerando cenários para redes ópticas transparentes e redes ópticas translúcidas. Os resultados obtidos podem auxiliar um projetista nas suas tomadas de decisão. Por exemplo, é possível propor uma infraestrutura que possua um custo médio e uma capacidade de sobrevivência alta.

**Palavras-Chave**—Sobrevivência, Restauração, Redes Ópticas Transparentes, Redes Ópticas Translúcidas.

**Abstract**— In this paper we perform a comparative study of four restoration algorithms, taking into account scenarios for all-optical networks and translucent optical networks. The results obtained can help a network designer in their decision-making. For example, it is possible to propose an infrastructure that has an average cost and a high survivability capacity.

**Keywords**—Survivability, Restoration, All-Optical Networks, Translucent Optical Networks.

## I. INTRODUÇÃO

A Internet conectou as pessoas ao redor do globo terrestre transformando o intercâmbio troca de informação entre elas uma tarefa corriqueira, ao mesmo tempo, crucial [1]. O volume de tráfego e a diversidade de aplicações existentes (dados, áudio, imagens e vídeos) transformaram a Internet a principal consumidora de largura de banda [2].

Neste cenário, prover resiliência contra falhas é um importante requisito para as atuais redes ópticas de alta capacidade, pois estas transportam um grande volume de dados e, caso algum problema ocorra e que não possa ser solucionado imediatamente, uma perda vultosa de informação será inevitável, provocando transtornos técnicos e, sobretudo, econômicos [3].

Um requisito comum é que o sistema esteja disponível 99,999% do tempo, o que corresponde a uma inatividade de menos de 5 minutos por ano. Além disso, na ocorrência de uma falha, o tempo de restabelecimento de uma conexão deve ser em torno de 50ms [2]. Portanto, a única maneira prática de se atingir esse índice de disponibilidade de serviço é dotar a rede óptica de mecanismos de sobrevivência que garantam a continuidade dos serviços na ocorrência de falhas [2].

Neste trabalho é realizado um estudo comparativo entre dois tipos de redes ópticas: transparentes e translúcidas.

Nesse primeiro tipo, também chamada de rede totalmente óptica, os serviços podem ser “transparentes” aos dados que são roteados por um caminho óptico. Isto permite com que sejam alcançadas altas taxas de transmissão a baixo custo, transportando dados de uma origem até um destino somente no domínio óptico. Dentre as principais vantagens deste tipo de rede é possível citar: economia de energia, menor custo, maior taxa de transmissão e independência do formato dos dados [3]. Por outro lado, figuram como suas desvantagens: o custo alto para incluir a capacidade de conversão de comprimento de onda, o uso mais ineficiente dos comprimentos de onda (para redes ópticas sem conversão) e, principalmente, o acúmulo de degradação do sinal [2,3].

As redes ópticas translúcidas surgem como um meio termo entre as redes transparentes e as redes opacas. Ou seja, nem todos os nós das redes translúcidas possuem regeneradores ou dispositivos de conversão de comprimento, de modo que uma determinada demanda colocada nesta rede pode seguir até seu destino completamente no domínio óptico, similar as redes transparentes, ou podem passar por regeneração de sinal ou conversão de comprimento de onda em algum nó intermediário do caminho óptico [4].

Prover resiliência contra falhas, tanto para redes transparentes quanto para redes translúcidas, é um importante e fundamental requisito, pois como já mencionado, estas transportam um grande volume de dados e, caso algum problema ocorra e que não possa ser solucionado imediatamente, uma perda volumosa de informação é inevitável, provocando transtornos técnicos e, sobretudo, econômicos. Em se tratando de redes ópticas translúcidas, os problemas causados pela queda de serviço são mais graves. Primeiro porque este tipo de rede insere em sua estrutura dispositivos regeneradores de sinais, o que a torna suscetível à falha deles. Também em virtude da utilização de regeneradores, os sinais podem percorrer distâncias mais longas, o que os faz passar por mais enlaces, utilizar mais recursos e, portanto, ficar mais sujeitos a falhas [5].

Focando o aspecto de sobrevivência, este trabalho apresenta um estudo comparativo de desempenho para quatro algoritmos de roteamento (*shortest path*, *minimum number of hops*, *least resistance weight* e *optical signal-to-noise rate routing*), considerando cenários de restabelecimento de chamadas em redes ópticas transparentes e em redes ópticas translúcidas.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção II são apresentados os algoritmos de

Rodrigo C. Freitas e Valdenir S. Silva, Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus-AM, Brasil, e-mails: {rcfreitas,vassi.mat}@uea.edu.br.

Mônica D. Lima, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), Manaus-AM, Brasil, e-mail: monik.dantas@gmail.com

restauração comparados. Na Seção III são definidos os cenários de simulação. Na Seção IV é apresentada a contribuição deste artigo, sobretudo no que diz respeito aos resultados das comparações de desempenho quanto ao aspecto de sobrevivência. Na Seção V são apresentadas as discussões e conclusões acerca dos resultados.

## II. ALGORITMOS DE RESTAURAÇÃO

Para obtenção dos resultados apresentados neste artigo são utilizados os seguintes algoritmos de roteamento/restauração:

- *SP* (*shortest path* - menor caminho): tenta encontrar o menor caminho existente que interligue uma origem a um destino.
- *MH* (*minimum number of hops* - menor número de saltos): tenta encontrar uma rota que possua o menor número de nós percorridos entre a origem e o destino da conexão.
- *LRW* (*least resistance weight* - menor congestionamento): tenta encontrar o caminho menos congestionado, ou seja, encontrar uma rota que passe por enlaces com menor número de comprimento de onda ativos.
- *OSNR-R* (*optical signal-to-noise ratio routing* - busca dinamicamente o caminho óptico com a máxima OSNR para transmissão).

### A. Algoritmo de Restauração para Redes Ópticas Transparentes

Esquemas de restauração dinâmica têm de descobrir um caminho óptico alternativo para cada conexão interrompida [2,3,6]. O Algoritmo 1 mostra o processo de restauração de conexões interrompidas, considerando quatro algoritmos (*SP*, *MH*, *LRW* e *OSNR-R*). Inicialmente, o algoritmo recebe uma lista de chamadas que devem ser recuperadas em função de uma falha simples em enlace. Para cada uma das chamadas interrompidas são buscados um comprimento de onda e uma rota alternativa candidatos. Se a *QoT* entre o nó origem (*ns*) e o nó destino (*nd*) da rota alternativa candidata usando o comprimento de onda candidato *w* for aceitável, então o caminho óptico alternativo é estabelecido.

#### Algoritmo 1: Restauração para redes ópticas transparentes

1. **para** cada chamada  $\in$  lista-chamadas-a-recuperar **faça**
2. **Procurar** por um comprimento de onda *w* disponível usando o algoritmo *first fit*;
3. **Procurar** por uma rota alternativa considerando os algoritmos: *SP*, *MH*, *LRW* e *OSNR-R*;
4. **se** (existe comprimento de onda disponível *w*) e ( $QoT(ns,nd,w) = verdadeiro$ ) **então**
5. **Restaurar** a chamada interrompida;
6. **Ir** para a próxima chamada;
7. **fimse**
8. **fimpara**

### B. Algoritmo de Restauração para Redes Ópticas Translúcidas

Os algoritmos de restauração para redes ópticas translúcidas, utilizados neste estudo, são uma adaptação de suas respectivas versões para redes ópticas transparentes, propostas e/ou utilizadas por Freitas e demais colaboradores [2,3,6]. Para o contexto de redes ópticas translúcidas, rotas

com capacidade de regeneração de sinal e conversão de comprimento de onda são características importantes a serem consideradas para avaliar a quantidade de demandas aceitas e recuperadas.

O estabelecimento de chamadas ocorre como descrito no Algoritmo 1. Para cada requisição, uma rota principal *rp* é procurada por um algoritmo de roteamento predefinido. Depois de encontrada a rota principal *rp*, um comprimento de onda principal *w<sub>p</sub>* também é buscado, usando-se um algoritmo de atribuição de comprimento de onda. Quando *w<sub>p</sub>* é encontrado, a qualidade de transmissão para a rota *rp* no comprimento de onda *w<sub>p</sub>* é avaliada ( $QoT(rp;w_p)$ ). Se for aceitável, a chamada é estabelecida.

Após a ocorrência de uma falha simples em enlace é iniciado o mecanismo de restauração por caminho, descrito no Algoritmo 2.

#### Algoritmo 2: Restauração para redes ópticas translúcidas

1. **para** cada chamada  $\in$  lista-chamadas-a-recuperar **faça**
2. **Procurar** por um comprimento de onda *w* disponível usando o algoritmo *first fit*;
3. **Procurar** por uma rota alternativa considerando os algoritmos: *SP*, *MH*, *LRW* e *OSNR-R*;
4. **se** (existe comprimento de onda disponível *w*) **então**
5. **se** ( $QoT(ns,nd,w) = falso$ ) **então**
6. **Realizar** regeneração do sinal;
7. **Restaurar** chamada interrompida;
8. **Ir** para a próxima chamada;
9. **fimse**
10. **senão**
11. **Realizar** conversão de  $\lambda$ ;
12. **Restaurar** chamada interrompida;
13. **Ir** para a próxima chamada;
14. **fimse**
15. **fimpara**

## III. CONFIGURAÇÃO DE SIMULAÇÃO

Nesta investigação, para simulação e obtenção dos resultados, é utilizada a topologia Pacific Bell (Figura 1).

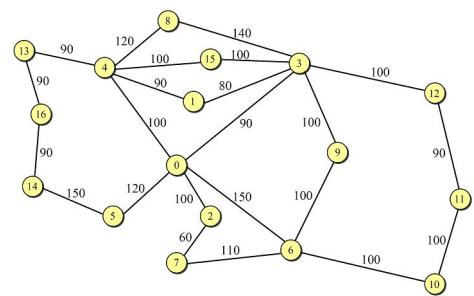


Fig. 1. Topologia Pacific Bell.

Nos resultados de validação e comparação é utilizado o modelo analítico baseado na degradação OSNR para levar em consideração o efeito de saturação de ganho e depleção ASE em amplificadores, crosstalk coerente em switches ópticos, mistura de quatro ondas e dispersão por modo de polarização em fibras ópticas, proposto por Pereira *et al.* [7]. Esses efeitos são considerados todos juntos e usam equações analíticas simples obtidas de comportamentos experimentais ou fundamentais conhecidos de dispositivos de redes ópticas. Para a simulação dos comportamentos das redes é utilizada

ferramenta computacional *Simulator for Transparent Optical Networks - SIMTON*, desenvolvida por Chaves *et. al* [8].

A métrica utilizada para comparação dos algoritmos, em seus respectivos cenários, é denominada Taxa de Insucesso na Recuperação de Falha – TIRF, obtida pela seguinte fórmula:

$$TIRF(\%) = 1 - \left( \frac{qtd_{(restauradas)}}{qtd_{(afetadas)}} \right),$$

em que,  $qtd_{(restauradas)}$  indica a quantidade de chamadas que obtém sucesso no processo de restauração e  $qtd_{(afetadas)}$  representa a quantidade de chamadas interrompidas devido à falha.

#### IV. RESULTADOS

Os gráficos a seguir apresentam o desempenho dos algoritmos *SP*, *MH*, *LRW* e *OSNR-R* frente a uma situação de falha simples em enlace, tanto para redes ópticas transparentes quanto para redes ópticas translúcidas. Na sequência, é apresentada uma tabela comparativa considerando os principais resultados obtidos em cada cenário.

##### A. TIRF para Redes Ópticas Transparentes

Na Figura 2 é apresentado o cenário para 20 comprimentos de onda, nota-se que o algoritmo OSNR-R demonstra melhor desempenho para todas as cargas de rede simulada e o MH pior desempenho.

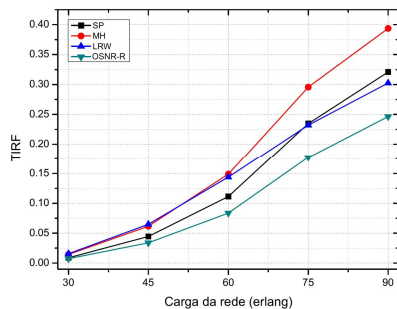


Fig. 2. TIRF obtida para a topologia Pacific Bell, considerando rede transparente e 20 comprimentos de onda.

Na Figura 3 é apresentado o cenário para 40 comprimentos de onda, assim como para o cenário com 20 comprimentos de onda, o OSNR-R foi o algoritmo que mais se destacou por conseguir restabelecer mais demandas, e o algoritmo LRW e MH obtiveram desempenho similares.

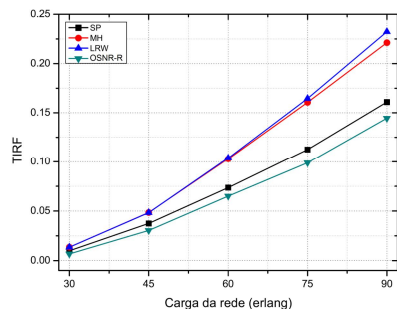


Fig. 3. TIRF obtida para a topologia Pacific Bell, considerando rede transparente e 40 comprimentos de onda.

##### B. TIRF para Redes Ópticas Translúcidas

Considerando o cenário de 25% de translucidez da rede, isso equivale a 25% dos nós da rede com regeneradores, as Figuras 4 e 5 exibem os resultados obtidos da TIRF em função da carga de rede para 20 e 40 comprimentos de onda.

Nas Figuras 4 e 5, pode-se verificar que até 45 erlang todos os algoritmos de atribuição de comprimento de onda apresentam TIRF muito próximo de zero nos dois cenários apresentados. Isto significa que praticamente todas as chamadas interrompidas foram restabelecidas.

Observa-se, também, que o algoritmo OSNR-R apresenta melhor desempenho no cenário para 40 comprimentos de onda (Figura 9), enquanto que para o cenário com 20 comprimentos de onda (Figura 8) o algoritmo LRW obtém melhor desempenho. Portanto, pode-se concluir que para infraestruturas de rede com menor quantidade de recursos (comprimentos de onda), o algoritmo LRW proporciona melhor distribuição da carga.

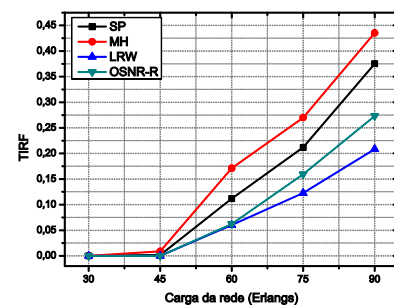


Fig. 4. TIRF obtida para a topologia Pacific Bell, considerando translucidez de 25%, falha simples em enlace, 20 comprimentos de onda.

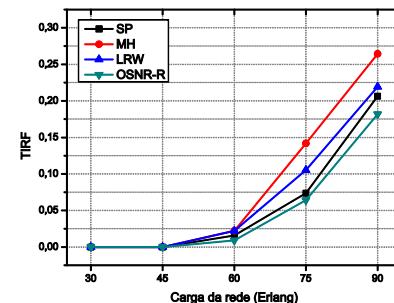


Fig. 5. TIRF obtida para a topologia Pacific Bell, considerando translucidez de 25%, falha simples em enlace, 40 comprimentos de onda.

Nas Figuras 6 e 7 são apresentados os gráficos dos resultados obtidos para o cenário de 50% de translucidez da rede, que equivale à metade dos nós da rede com regeneradores. Em específico, exibe a TIRF em função da carga da rede para 20 e 40 comprimentos de onda, respectivamente. Pode-se verificar que a TIRF fica perto de zero até 45 erlang para ambos cenários. Na Figura 6, nota-se que o algoritmo OSNR-R obteve desempenho inferior ao obtido pelo algoritmo LRW. Na Figura 7, cenário de 40 comprimentos de onda, pode ser verificado que o algoritmo que mais restabeleceu demandas foi o OSNR-R, alcançando 89% de sucesso considerando um tráfego de 90 erlang.

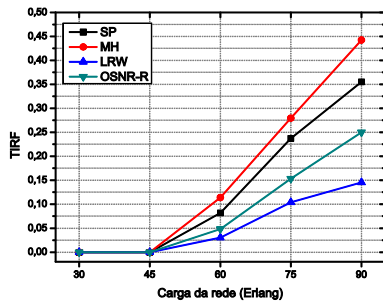


Fig. 6. TIRF obtida para a topologia Pacific Bell, considerando translucidez de 50%, falha simples em enlace, 20 comprimentos de onda.

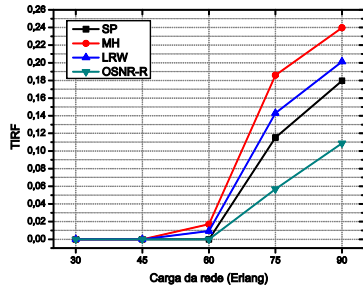


Fig. 7. TIRF obtida para a topologia Pacific Bell, considerando translucidez de 50%, falha simples em enlace, 40 comprimentos de onda.

Nas Figuras 8 e 9, são apresentados os gráficos da TIRF em função da carga da rede para 20 e 40 comprimentos de onda, considerando 75% de translucidez da rede. Os resultados obtidos neste cenário são similares com o cenário apresentado para 50% de translucidez da rede, com uma pequena diminuição de TIRF.

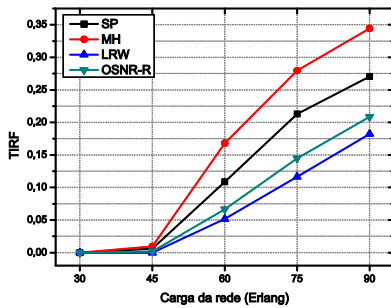


Fig. 8. TIRF obtida para a topologia Pacific Bell, considerando translucidez de 75%, falha simples em enlace, 20 comprimentos de onda.

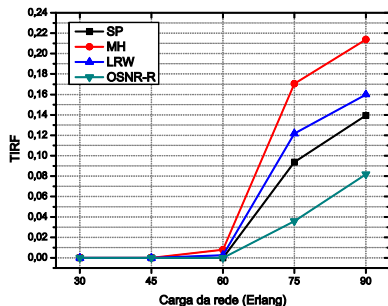


Fig. 9. TIRF obtida para a topologia Pacific Bell, considerando translucidez de 75%, falha simples em enlace, 40 comprimentos de onda.

Nas Figuras 10 e 11 os gráficos apresentam a TIRF em função da carga da rede para 20 e 40 comprimentos de onda, considerando 100% de translucidez da rede, ou seja, todos os nós com regeneradores, o que identifica a rede como do tipo opaca. Na Figura 10, nota-se que o algoritmo que obteve

melhor desempenho foi o LRW, conseguindo restabelecer quase todas as demandas até 75 erlang. Na Figura 11, observa-se que o algoritmo OSNR-R restabeleceu todas as chamadas para as cargas inferiores a 75 erlang.

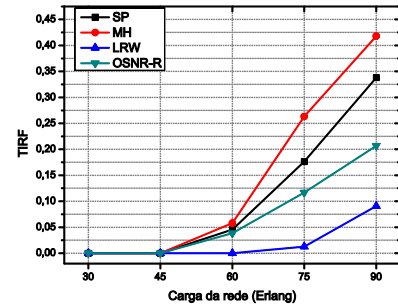


Fig. 10. TIRF obtida para a topologia Pacific Bell, considerando translucidez de 100%, falha simples em enlace, 20 comprimentos de onda.

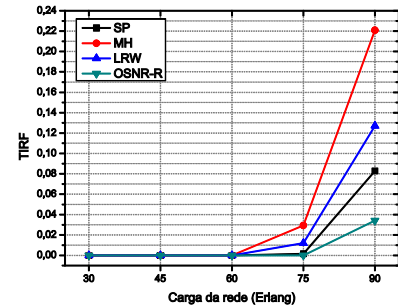


Fig. 11. TIRF obtida para a topologia Pacific Bell, considerando translucidez de 100%, falha simples em enlace, 40 comprimentos de onda.

### C. Análise Comparativa – Rede Transparente x Rede Translúcida

Nesta seção são comparados os resultados obtidos pela restauração por caminho para Redes Transparentes com os piores e melhores resultados obtidos para a mesma estratégia no cenário de Redes Translúcidas, com 25% de translucidez e 100% de translucidez, respectivamente. A Tabela I exhibe os resultados para os cenários com 20 comprimentos de onda. Analisando os resultados obtidos para 30 erlang, nota-se que são similares para os três cenários. Os algoritmos SP e OSNR-R obtêm 0% de taxa de insucesso e os algoritmos MH e LRW 2%. Ao analisar o cenário com carga de 45 erlang, pode-se verificar que os resultados obtidos no cenário de 25% de translucidez e 100% de translucidez da rede são equivalentes. Por outro lado, os resultados com a rede transparente variam de 3% com o OSNR-R a 7% com o LRW. Os resultados para os cenários de carga de 60 erlang dobram em relação aos citados anteriormente. Os melhores resultados obtidos são com o cenário de 100% de translucidez para todos os algoritmos.

TABELA I. COMPARATIVO PARA 20 COMPRIMENTOS DE ONDA

Carga	Tipo de Rede	SP	MH	LRW	OSNR-R
30	Transparente	0,0%	2,0%	2,0%	0,0%
	Translúcida 25%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Translúcida 100%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
45	Transparente	5,0%	6,0%	7,0%	3,0%
	Translúcida 100%	5,0%	6,0%	7,0%	3,0%

	Translúcida 25%	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%
	Translúcida 100%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
60	Transparente	11,0%	15,0%	15,0%	7,0%
	Translúcida 25%	11,0%	17,5%	6,0%	6,0%
	Translúcida 100%	5,0%	6,0%	0,0%	4,0%
75	Transparente	22,5%	30,0%	22,5%	17,5%
	Translúcida 25%	21,0%	27,5%	12,5%	16,0%
	Translúcida 100%	17,5%	26,0%	1,0%	12,5%
90	Transparente	32,5%	40,0%	30,0%	25,0%
	Translúcida 25%	37,5%	44,0%	21,0%	27,5%
	Translúcida 100%	34,0%	42,0%	9,0%	20,0%

TABELA II. COMPARATIVO PARA 40 COMPRIMENTOS DE ONDA

Carga	Tipo de Rede	SP	MH	LRW	OSNR-R
30	Transparente	1,0%	2,0%	2,0%	1,0%
	Translúcida 25%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Translúcida 100%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
45	Transparente	4,0%	5,0%	5,0%	3,5%
	Translúcida 25%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Translúcida 100%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
60	Transparente	7,5%	10,0%	10,0%	6,0%
	Translúcida 25%	2,0%	3,0%	3,0%	1,0%
	Translúcida 100%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
75	Transparente	12,0%	16,0%	17,0%	10,0%
	Translúcida 25%	7,0%	14,0%	10,0%	6,0%
	Translúcida 100%	0,0%	3,0%	1,0%	0,0%
90	Transparente	16,0%	22,5%	23,0%	14,0%
	Translúcida 25%	20,0%	26,0%	23,0%	17,5%
	Translúcida 100%	8,0%	22,0%	13,0%	4,0%

A Tabela II apresenta os resultados para os cenários com 40 comprimentos de onda, analisando os resultados obtidos

para 30 e 45 erlang é possível observar que os resultados são similares para os 3 cenários e não ultrapassam o valor de 5% de taxa de insucesso. Os resultados para rede transparente variam de 1% a 5%, enquanto que para rede com 25% e 100% de translucidez, os resultados obtidos são de 0% para todos os algoritmos. Para os cenários considerando carga de 60 erlang, o tipo de rede com 100% de translucidez consegue recuperar todas as demandas afetadas por uma falha. Os resultados obtidos pela rede com 25% de translucidez variam de 1% a 3% de taxa de insucesso. Já para a rede transparente, a TIRF é superior, variando de 6% a 10%. Os melhores resultados obtidos para o cenário com 75 e 90 erlang foi com a rede 100% translúcida. A rede com 25% de translucidez obteve resultados melhores em comparação aos resultados obtidos pela rede transparente para 75 erlang. Já considerando 90 erlang, melhores resultados são obtidos.

## V. CONCLUSÕES

As redes ópticas necessitam prover mecanismos de sobrevivência a falhas, a fim de possibilitar o restabelecimento das chamadas de forma rápida e eficiente. Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre a estratégia de restauração aplicada à rede óptica transparente e à rede óptica translúcida, sendo para esta última, considerados quatro cenários de translucidez: 25%, 50%, 75% e 100%.

Os resultados obtidos para redes ópticas transparentes, quando comparados com os obtidos em redes ópticas translúcidas, refletem duas desvantagens suas: a falta de conversão de comprimento de onda e a impossibilidade de regeneração do sinal. Isto pode ser evidenciado pelo fato de que mesmo sob cargas baixas (35 erlang, por exemplo), os algoritmos de restauração não conseguem restabelecer a totalidade das chamadas.

Os resultados obtidos no cenário de 50% e 75% de translucidez são similares, indicando que basta metade dos nós possuírem regeneradores para que uma eficiência próxima da ótima seja alcançada.

## REFERÊNCIAS

- [1] Barry, S., Leiner, M., Cerf, V., Clark, D., Kahn, R., Kleinrock, L., Lynch, D., Postel, J., and Roberts, L., "Brief History of the Internet - Internet Timeline" | Internet Society. [Online], 2012.
- [2] Ramaswami, R., Sivarajan, K., and Sasaki, G. "Optical Networks: A Practical Perspective", 3a ed. Morgan Kaufmann, 2010.
- [3] Freitas, R. C., Martins-Filho J. F., Bastos-Filho C. J. A. (2015) "Redes Ópticas - Estratégias de Sobrevivência a Falhas". 1. ed. Manaus: UEA Edições, v. 1. 228p.
- [4] Mukherjee, B. "Optical WDM Networks", 1ª ed., ser. Optical Networks Series. Springer, 2006.
- [5] Fontinele, A., Santos, I., Durães, G., and Soares, A. "Achievement of Fair and Efficient Regenerator Allocations in Translucent Optical Networks Using the Novel Regenerator Assignment Algorithm", Optical Switching and Networking, Volume 19, pp 22-39, 2016.
- [6] Freitas, R. C., Martins-Filho, J. F., Santos, E. C. O. ; Bastos-Filho, C. J. A., Chaves, D. A. R., Pereira, H. A. "OSNR-based backup path protection algorithm with sharing limits". International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC), v. 1. p. 1-5, 2017.
- [7] Pereira, H. A., Chaves, D. A. R. , Bastos-Filho, C. J. A., Martins-Filho, J. F. "OSNR Model to Consider Physical Layer Impairments in Transparent Optical Networks". Photonics Network Communications, 18(2):137-148, 2008.
- [8] Chaves, D. A. R.; Pereira, H. A. ; Bastos-Filho, C. J. A. ; Martins-Filho, J. F. . SIMTON: A Simulator for Transparent Optical Networks. Journal of communication and information systems (Online), v. 25, p. 1-10, 2011.