

Desempenho de Anéis WDM com Número Limitado de Transceptores por Nó

Filipe Guimarães Lins e Helio Waldman

Resumo— Este artigo compara os desempenhos de transmissores fixos e sintonizáveis em anéis WDM com bloqueio, nos quais todos os receptores são sintonizáveis. O desempenho da rede, com relação à probabilidade de bloqueio, é discutido para uma variação do número de transceptores por nó, os quais possuem transmissores fixos e sintonizáveis.

Palavras-Chave—WDM, transceptor, Optical Add Drop Multiplexer (OADM), first fit, sintonizabilidade.

Abstract—This paper compares the performances of fixed and tunable transmitters in WDM blocking rings, when all receivers are tunable. The blocking performance of such rings is discussed for a varying number of transceivers per node, when their transmitters are fixed and tunable.

Index Terms— WDM, transceiver, Optical Add Drop Multiplexer (OADM), first fit, tunability.

I. INTRODUÇÃO

Inicialmente a tecnologia apenas permitia o uso de poucos comprimentos de onda numa rede óptica, os quais eram implementados na rede por meio de poucos transceptores ópticos. Com a evolução da tecnologia, diversos comprimentos de onda puderam trafegar na rede ao mesmo tempo. No entanto, tornou-se inviável o uso de grande número de transceptores ópticos, devido ao seu elevado custo.

Variando-se o número e sintonizabilidade dos transceptores ópticos, desempenhos específicos podem ser obtidos ao serem analisadas as probabilidades de bloqueio para cada caso. Esses dados possibilitarão um leque de opções a serem selecionadas de acordo com desempenho e custo.

II. METODOLOGIA

Através do uso de um simulador construído em C++, diversas simulações foram realizadas e observadas, as quais permitiram atingir resultados que serão mostrados em seguida.

Considere uma rede WDM em anel com bloqueio, de duas fibras, com caminhos unidirecionais em cada fibra, com N nós e W comprimentos de onda, conforme mostra a Figura 1. Considere também que a comunicação entre nós é unidirecional. Essas características podem ser aplicadas para suportarem redes IP, como, por exemplo, rede cliente.

Simulações foram realizadas para uma rede em que $N=32$ e $W=16$.

Todos os nós são formados de OADM's (Optical Add Drop Multiplexers) [1], que são elementos ópticos multiplexadores, responsáveis pelo acréscimo ou retirada de determinados comprimentos de onda na rede.

Todos os nós na rede foram considerados idênticos, ou seja, de características semelhantes em relação ao número e sintonizabilidade de transceptores. A análise é feita a partir da variação do número de transceptores por nó, bem como a sintonizabilidade destes. Se existirem X transceptores para um determinado nó, assuma que isto implica X transmissores e X receptores para cada sentido do anel.

Foram considerados dois cenários para cada nó: 1 - Nó com receptores (RX's) sintonizáveis e transmissores (TX's) fixos, e 2 - Nó com receptores (RX's) sintonizáveis e transmissores (TX's) sintonizáveis.

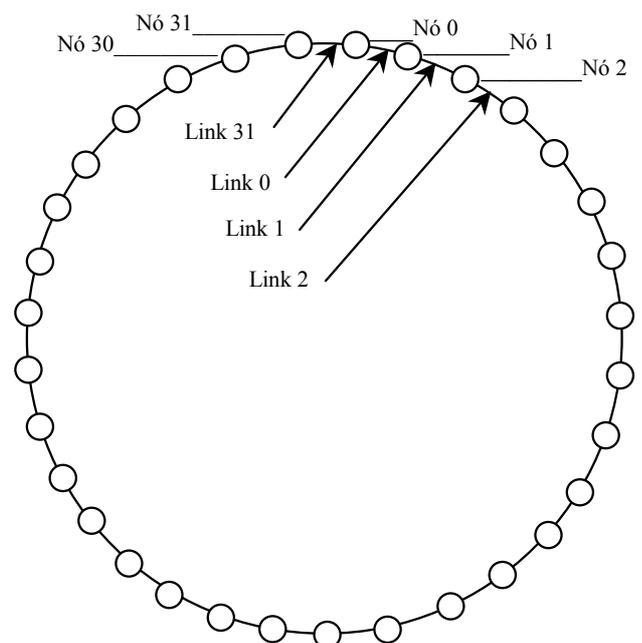


Fig. 1 : Rede WDM em anel com 32 nós.

Observe que serão utilizados receptores sintonizáveis em todos os casos, pois estes não apresentam problemas em relação a custos elevados devido à sua implementação, o que permite a recepção de qualquer comprimento de onda utilizado na rede.

Analisaremos os casos em que, em uma mesma rede, todos os nós terão um mesmo número de transceptores, sendo todos transmissores fixos ou todos sintonizáveis.

A sintonizabilidade de um transmissor permite que haja uma maior flexibilidade na rede, possibilitando a alocação de qualquer comprimento de onda dentre os disponíveis. Contudo o seu custo é bem mais elevado que o de um transmissor de sintonia fixa.

O tráfego utilizado na rede é poissoniano com taxa de chegada de requisição λ e taxa de atendimento μ , gerando uma intensidade (λ / μ) Erlangs.

O simulador sorteia aleatoriamente os nós origem e destino, o último diferente do primeiro. Para um anel, há duas possibilidades de caminho: o mais curto e o alternativo. O caminho mais curto pode ser utilizado como prioritário. Caso haja indisponibilidade deste, o caminho alternativo pode ser utilizado. Porém, para tráfego alto, observa-se que a melhor opção seria utilizar apenas o caminho mais curto e, se houver indisponibilidade deste, a requisição seria bloqueada [2]. Nas simulações deste artigo é utilizada apenas a condição de caminho mais curto. Caso não haja disponibilidade de realização da conexão, o bloqueio é atingido. Se os nós sorteados forem antípodas, serão escolhidos caminhos nos sentidos horário e anti-horário, alternadamente.

Após o sorteio dos nós origem e destino e indicação do caminho mais curto, o comprimento de onda a ser alocado terá de ser indicado. Por isso, usa-se um algoritmo do tipo “ first fit “ (ajuste prioritário) para se realizar essa alocação. Esse tipo de algoritmo estabelece algum critério de prioridade entre os comprimentos de onda disponíveis na rede. O algoritmo utilizado nessas simulações foi o de prioridade fixa (PF), que é do tipo “first fit”, no qual uma lista de comprimentos de onda é estabelecida e, ao ser solicitada a escolha de um comprimento de onda, o primeiro da lista que não estiver sendo usado nos links específicos deverá ser alocado [2].

III. CONSIDERAÇÕES

Quando se trabalha com rede WDM em anel com transmissores fixos, é necessário saber quais comprimentos de onda serão utilizados por cada nó, mediante o leque de opções de comprimentos de onda disponíveis na rede (neste caso $W=16$). Para identificar esses comprimentos de onda, foram utilizadas duas matrizes de entrada (uma para o sentido horário e outra para o sentido anti-horário). Cada matriz (Nós x Comprimentos de onda) conterá elementos 0 e 1. O elemento 1 identificará a presença de transmissor no comprimento de onda referente à sua coluna e o nó específico referente ao número de sua linha na matriz. O elemento 0

indicará ausência de transmissor. Para as simulações neste artigo, a matriz terá grandeza ($N=32 \times W=16$). Considerando n o número de transmissores por nó, o preenchimento da matriz se dará de maneira que na linha correspondente ao nó $i, 0 \leq i < N$, os elementos 1 estarão nas colunas $(i.n) \bmod W, (i.n + 1) \bmod W, (i.n + 2) \bmod W, \dots, [(i + 1).n - 1] \bmod W$. Todos os demais elementos da linha i serão 0. O preenchimento da matriz para o caso de cinco transmissores por nó é mostrado na Figura 2.

As matrizes (Nós x Comprimentos de onda) para transmissores fixos para o sentido horário e anti-horário serão iguais e preenchidas como na Figura 2. Essas matrizes não existirão se os transmissores utilizados forem sintonizáveis, visto que estes têm a possibilidade de escolher um dos comprimentos de onda disponíveis na rede.

IV. TIPOS DE BLOQUEIO

As conexões poderão ser bloqueadas devido a uma série de sete fatores. Cada fator contribui com uma probabilidade de bloqueio parcial e a soma deles acarretará a probabilidade de bloqueio total. Esses fatores são bloqueios referentes ao :

		Comprimentos de onda															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
7	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
10	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
13	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
19	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
22	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
23	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
25	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
26	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
29	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Fig. 2 : Matriz (Nós x Comprimentos de onda) para cinco transmissores fixos por nó.

A. Transmissor (TX)

Neste caso se situam as conexões que não são efetivadas apenas por falta de transmissor.

B. Receptor (RX)

Neste caso se situam as conexões que não são efetivadas apenas por falta de receptor.

C. Comprimento de onda (Λ)

Neste caso se situam as conexões que não são efetivadas apenas por falta de comprimentos de onda na rota desejada. No caso do uso de TX's fixos, isso implica na falta de comprimentos de onda específicos disponibilizados pelos TX's. Já no caso de TX's sintonizáveis, isso implica na falta de todos os comprimentos de onda existentes na rede.

D. Transmissor e receptor (TX_RX)

Esta situação ocorre quando não há TX nem RX disponíveis, mas com disponibilidade de comprimento de onda.

E. Transmissor e comprimento de onda (TX_ Λ)

Ocorre quando conexões não encontram nem TX nem comprimento de onda disponíveis, mas com disponibilidade de RX.

F. Receptor e comprimento de onda (RX_ Λ)

Ocorre quando conexões não encontram nem RX nem comprimento de onda disponíveis, mas com disponibilidade de TX.

G. Transmissor e receptor e comprimento de onda (TX_RX_ Λ)

Ocorre quando conexões não encontram nem TX, nem RX, nem comprimento de onda disponíveis.

V. SIMULAÇÕES

Com todas as informações acima citadas, foram simuladas situações numa rede em anel com 1.000.000 de requisições por simulação, em que $N=32$, $W=16$ e variação do número de transceptores por nó em 2, 3, 4, 5, 6 e 7, bem como a sintonizabilidade destes.

A Figura 3 refere-se às simulações realizadas com transmissores fixos, nos quais podemos analisar a probabilidade de bloqueio com o aumento do tráfego em Erlangs/nó, para diferentes números de transmissores. Percebe-se que o melhor desempenho é mostrado pela curva TX=7, ou seja, anel com sete transmissores por nó. Quanto maior o número de transmissores fixos por nó, menor será a probabilidade de bloqueio, mesmo que para valores mais elevados de Erlangs/nó.

As mesmas conclusões também servem para a Figura 4, na qual observamos os transmissores sintonizáveis. Contudo, percebe-se que há uma queda abrupta de valores na probabilidade de bloqueio entre as curvas TX=2 e TX=3. No ponto em que se tem o tráfego de 2 Erlangs/nó, vemos uma

redução de aproximadamente 60% na probabilidade de bloqueio de uma curva para outra. Se observarmos as curvas TX=3 e TX=4, perceberemos que essa queda é de menos de 50%. Entre TX=4 e TX=5, a queda será em torno de 20%, entre TX=5 e TX=6 em torno de 4%, e entre TX=7 e TX=6 1%. Percebe-se, neste caso, que o valor da probabilidade de bloqueio das curvas tende a uma saturação, não havendo vantagem notória a partir de determinado ponto o acréscimo de mais transmissores sintonizáveis.

Se analisarmos todas as curvas dos transmissores fixos e sintonizáveis mostradas nas Figuras 3 e 4, poderemos constatar vantagens de algumas curvas em relação a outras. Pelos gráficos, podemos concluir que é mais vantajoso utilizar, em uma rede WDM em anel com 32 nós e 16 comprimentos de onda, três transmissores fixos por nó em lugar de dois sintonizáveis, pois a curva de probabilidade de bloqueio daqueles é inferior a destes.

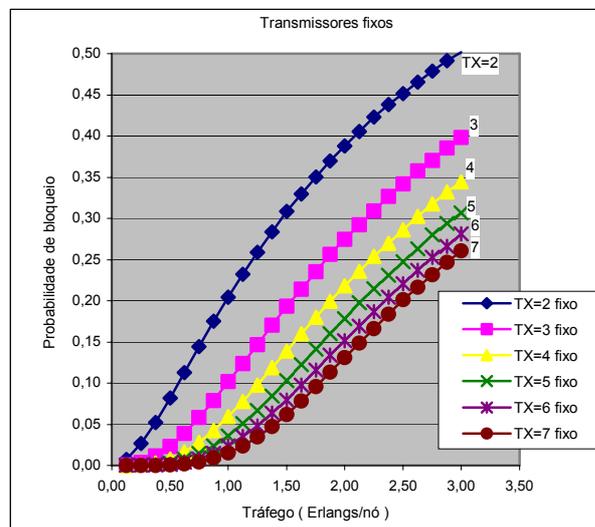


Fig. 3 : Desempenho da rede com variação do número de transmissores fixos.

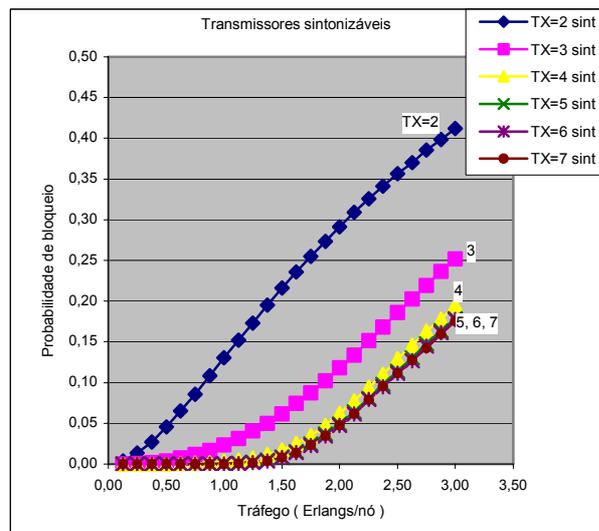


Fig. 4 : Desempenho da rede com variação do número de transmissores sintonizáveis.

Supondo-se que o valor de um transmissor sintonizável corresponda ao valor de dois transmissores fixos, podemos concluir claramente que a utilização de quatro transmissores fixos faz com que a rede apresente um melhor desempenho em relação à utilização de apenas dois transmissores sintonizáveis. Em contrapartida, o desempenho de três transmissores sintonizáveis é melhor que o de seis transmissores fixos. Portanto, várias decisões podem ser tomadas a partir da análise destes gráficos.

A diferença de desempenho entre as curvas TX=5, 6 e 7 na Figura 4 é muito pequena. Se observarmos sob o ponto de vista de Erlangs/transceptor, Figura 5, concluiremos que a curva TX=5 apresenta melhor desempenho dentre as três. Neste mesmo gráfico, observamos que o melhor desempenho foi realizado pela curva TX=3, para $P_b \geq 0,1$.

Com as mesmas simulações podemos observar a porcentagem das conexões que foram bloqueadas devido a falta de transmissor (TX), receptor (RX), comprimento de onda (Lambda), transmissor e receptor (TX_RX), transmissor e comprimento de onda (TX_Lambda), receptor e comprimento de onda (RX_Lambda) e transmissor e receptor e comprimento de onda (TX_RX_Lambda). As tabelas I e II nos mostra essas porcentagens parciais com variação do número e sintonizabilidade dos transceptores.

No caso do uso de transmissores fixos, o fato de não haver transmissores acarreta também a não-existência de comprimento de onda disponível, de maneira que o bloqueio de uma conexão nunca ocorrerá por causa apenas de falta de TX, mas, sim, por falta de TX e não-disponibilidade de comprimento de onda. De maneira análoga não haverá caso em que faltará apenas TX e RX, pois a falta de TX acarreta a não-disponibilidade de comprimento de onda. Desse modo, esse bloqueio será gerado por falta de TX, RX e comprimento de onda. Isso justifica a presença dos elementos 0,00% nas colunas TX e TX_RX da tabela I (transmissores fixos).

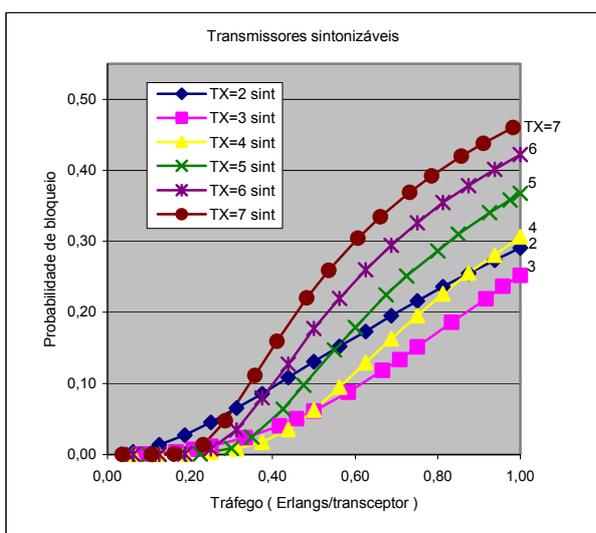


Fig. 5 : Probabilidade de bloqueio da rede com transmissores sintonizáveis versus tráfego (Erlangs / transceptor).

Na Figura 6, observamos que, para redes com dois transmissores fixos por nó, grande parte do bloqueio é gerada pelos fatores RX, Lambda e TX_Lambda. Na tabela I, percebemos que, a partir de quatro transceptores por nó, a predominância do bloqueio (> 90%) deve-se ao fator Lambda, e este valor é diretamente proporcional ao número de transceptores por nó. A Figura 7 ilustra a distribuição das porcentagens da probabilidade de bloqueio para uma rede com quatro transmissores sintonizáveis por nó.

Analisando os resultados obtidos para transmissores sintonizáveis na tabela II, observamos que há uma predominância dos fatores TX e RX para o caso de dois transmissores por nó. Para um número fixo de transmissores por nó, essa predominância cresce inversamente proporcional ao tráfego (Erlangs/nó), ocorrendo o oposto para o fator Lambda. Percebe-se que para valores mais altos de transmissores por nó, há uma predominância do fator Lambda, indicando que grande parte das conexões bloqueadas será causada por não-disponibilidade de comprimentos de onda.

VI. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

As simulações puderam comprovar o que já era previsto a respeito da melhoria do desempenho de redes WDM em anel com o aumento de transceptores ópticos por nó em relação à probabilidade de bloqueio. Pôde-se perceber as vantagens dos transmissores sintonizáveis em relação aos fixos. Os resultados de simulações foram obtidos, possibilitando análise de custo, benefício e desempenho desejados em uma rede, por meio da escolha do número e sintonizabilidade dos transceptores a serem utilizados.

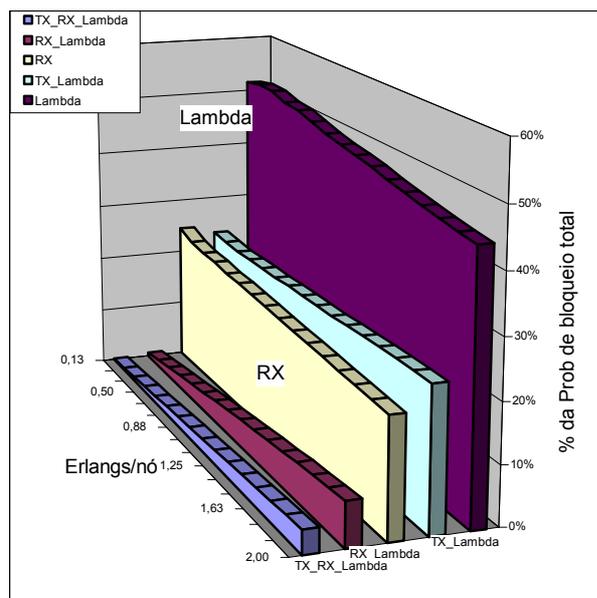


Fig. 6 : Probabilidades de bloqueio parciais para uma rede com dois transmissores fixos por nó.

TABELA I
 PORCENTAGENS DA PROBABILIDADE DE BLOQUEIO TOTAL NA REDE COM 2, 4, E 6 TRANSMISSORES FIXOS POR NÓ.

TX's:	Erlangs/nó	TX	RX	Lambda	TX RX	TX Lambda	RX Lambda	TX RX Lambda	Total
2	1	0,00%	21,92%	48,72%	0,00%	23,14%	4,24%	1,98%	100,00%
	2	0,00%	20,04%	44,35%	0,00%	24,03%	7,58%	4,00%	100,00%
4	1	0,00%	1,68%	97,10%	0,00%	0,89%	0,32%	0,00%	100,00%
	2	0,00%	1,91%	95,94%	0,00%	1,17%	0,96%	0,01%	100,00%
6	1	0,00%	0,06%	99,90%	0,00%	0,03%	0,01%	0,00%	100,00%
	2	0,00%	0,06%	99,87%	0,00%	0,01%	0,05%	0,00%	100,00%

TABELA II
 PORCENTAGENS DA PROBABILIDADE DE BLOQUEIO TOTAL NA REDE COM 2, 4 E 6 TRANSMISSORES SINTONIZÁVEIS POR NÓ.

TX's:	Erlangs/nó	TX	RX	Lambda	TX RX	TX Lambda	RX Lambda	TX RX Lambda	Total
2	1	47,51%	47,55%	0,00%	4,94%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	2	44,69%	44,82%	0,11%	10,21%	0,06%	0,07%	0,04%	100,00%
4	1	46,82%	49,76%	2,88%	0,22%	0,19%	0,09%	0,03%	100,00%
	2	17,07%	17,34%	61,08%	0,30%	2,08%	2,05%	0,08%	100,00%
6	1	7,18%	13,26%	79,56%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	2	0,45%	0,52%	98,74%	0,00%	0,16%	0,13%	0,00%	100,00%

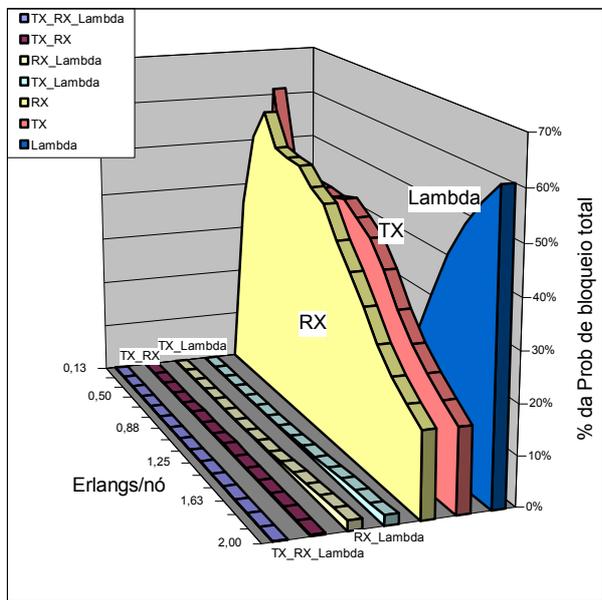


Fig. 7 : Probabilidades de bloqueio parciais para uma rede com quatro transmissores sintonizáveis por nó.

Os estudos realizados neste artigo podem ser explorados para se obter outras análises a partir de diferentes tipos de tráfego e algoritmos de alocação de comprimento de onda, podendo ser abordados como tópicos em uma outra ocasião.

REFERÊNCIAS

[1] R. Ramaswami e K. N. Sivarajan, *Optical Networks : A Practical Perspective*, Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
 [2] R. Camelo, D.R. Campelo e H. Waldman, "Alocação de Rota e Comprimento de Onda em Anéis Ópticos com Bloqueio", Anais do IX SBMO, pp. 134-137, August 2000.