

Um novo Algoritmo de Roteamento para a Escolha da Melhor Entre as Menores Rotas

Iallen Gábio S. Santos¹, Gilvan Durães², William Giozza³, André Soares¹

¹Departamento de Computação – Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Teresina – PI – Brasil

²Laboratório de Computação Aplicada – Instituto Federal Baiano (IFBaiano)
Catu, BA – Brasil

³Departamento de Engenharia Elétrica (ENE) – Universidade de Brasília (UnB)
Brasília – DF – Brasil.

andre.soares@ufpi.edu.br

Abstract. *In all-optical networks the choice of route and wavelength is called Routing and Wavelength Assignment (RWA) problem. The majority of work on literature uses the Dijkstra algorithm with routing algorithm. However, a given pair of source-destination can have more than one shortest path. In this context, a solution of the 3MC problem try to choose the best of the shortest paths for a given network topology. In this paper is proposed a novel routing algorithm that aim to solve 3MC problem. Our algorithm achieved better performance than MMR and Dijkstra algorithms for all studies scenarios.*

Resumo. *No contexto de redes ópticas transparentes, a escolha de uma rota e de um comprimento de onda caracterizam o problema Routing and Wavelength Assignment (RWA). A maioria dos trabalhos na literatura utiliza algoritmos de menor caminho para o roteamento como o algoritmo de Dijkstra. Entretanto, entre cada par origem destino de uma topologia pode existir mais de uma rota de menor caminho. Neste contexto o problema da escolha da Melhor Combinação entre as M Combinações de Menores Caminhos (3MC) visa à escolha da combinação de rotas de menor caminho que minimize a probabilidade de bloqueio em uma dada topologia. Neste artigo é proposto um novo algoritmo de roteamento para redes ópticas transparentes que visa solucionar o problema 3MC. O algoritmo proposto apresentou desempenho superior ao algoritmo Melhor entre as Menores Rotas (MMR) e ao algoritmo de Dijkstra (DJK) para todos os cenários estudados.*

1. Introdução

Com o aumento da demanda de tráfego e a exigência cada vez maior de QoS por parte de novas aplicações, a tecnologia de redes ópticas WDM é apontada como a principal alternativa para compor as redes de transportes.

Para o estabelecimento de um circuito óptico em uma rede WDM é necessário a escolha de uma rota e a alocação de um comprimento de onda. Em uma rede submetida a um tráfego dinâmico, a solução RWA se concentra em atender as solicitações de circuitos, minimizando a probabilidade de bloqueio das requisições futuras.

A maioria dos trabalhos na literatura tratam o problema RWA em duas fases, separando o problema do roteamento do problema de alocação de comprimento de onda. Diferentes algoritmos de roteamento e de alocação de comprimento de onda vêm sendo propostos na literatura para resolver esse problema [Durães et al. 2010] [Durães et al. 2009] [Lin et al. 2006] [Zang and Jue 2000] .

As estratégias de roteamento podem ser classificadas em três classes: a) roteamento fixo, b) roteamento fixo alternativo e c) roteamento adaptativo [Lin et al. 2006]. Os algoritmos da classe de roteamento fixo estabelecem, previamente, uma rota para cada par de nós origem e destino ($par(o, d)$) da rede. Nos algoritmos da classe de roteamento fixo alternativo, cada $par(o, d)$ possui mais de uma rota prevista podendo alternar entre elas já na fase de operação da rede. Os algoritmos da classe de roteamento adaptativo definem as rotas para cada $par(o, d)$ sob demanda de acordo com o estado da rede.

Em [Durães et al. 2009] os autores definem o problema da escolha da Melhor Combinação entre as M Combinações de Menores Caminhos (3MC) para algoritmos de roteamento fixo. Ainda em [Durães et al. 2009] os autores propõem o algoritmo Melhor Entre as Menores Rotas (MMR) como uma solução para o problema 3MC.

Este artigo propõe um novo algoritmo para a solução do problema 3MC, chamado Melhor Entre as Menores Rotas com Decisão por Similaridade (MMRDS). O algoritmo proposto é comparado com a solução MMR em termos de probabilidade de bloqueio, justiça e tempo de execução. O MMRDS apresentou uma melhora significativa em relação ao MMR nos cenários estudados.

As demais seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma. A Seção 2 discute os trabalhos relacionados e apresenta as contribuições deste artigo. A Seção 3 descreve o problema 3MC. O algoritmo MMRDS é apresentado na Seção 4. Um estudo de avaliação que compara o desempenho dos algoritmos de Dijkstra (DJK), MMR e MMRDS em termos de probabilidade de bloqueio e justiça é realizado na Seção 5. Por fim, as conclusões são apresentadas na Seção 6.

2. Trabalhos Relacionados e Contribuições

O problema RWA pode ser considerado um dos grandes desafios no contexto das redes ópticas transparentes. Diferentes trabalhos tem estudado e proposto soluções de roteamento e alocação de comprimento de onda a fim de reduzir as taxas de probabilidade de bloqueio [Murthy and Gurusamy 2002][Chu et al. 2004].

Em [Birman 1996] é apresentado um algoritmo de roteamento adaptativo chamado *Least Loaded Routing* (LLR) que escolhe a rota que possui mais comprimentos de onda disponíveis em todos os enlaces. Em [Lin et al. 2006] é proposto um algoritmo de roteamento fixo alternativo para redes ópticas transparentes sem conversão de comprimento de onda. Nesse algoritmo é feita uma listagem de rotas disjuntas para cada par origem destino de acordo com informações da rede, a escolha da rota é feita priorizando as rotas com menor índice na lista construída.

Em [Zang and Jue 2000] foi realizado um estudo envolvendo diferentes abordagens para a resolução do problema RWA, este estudo destacou as diferentes classes de algoritmos de roteamento, os algoritmos de Dijkstra (DJK) e de Bellman-Ford foram classificados como algoritmos da classe de roteamento fixo.

Em [Durães et al. 2009] foi proposto um algoritmo da classe de roteamento fixo chamado Melhor entre as Menores Rotas (MMR). Através de simulações da rede este algoritmo busca identificar os enlaces mais sobrecarregados e distribuir a carga mantendo rotas com menor quantidade de saltos. O MMR apresentou um resultado de desempenho significativamente superior quando comparado aos demais algoritmos de roteamento avaliados no mesmo trabalho. Em [Durães et al. 2010] os autores compararam o MMR com o algoritmo LLR e mostraram o melhor desempenho do algoritmo MMR.

Os algoritmos da classe de roteamento fixo possuem menor complexidade, uma vez que as rotas são definidas previamente sem a necessidade da obtenção de informações do estado da rede. Por isso, um número significativo dos trabalhos que abordam o problema RWA em redes ópticas transparentes se baseia nesta classe de algoritmos [Durães et al. 2009].

A principal contribuição deste artigo é a proposta do algoritmo Melhor Entre as Menores Rotas com Decisão por Similaridade MMRDS. O MMRDS é uma solução que verifica a similaridade entre as rotas de menor caminho com o objetivo de realizar um melhor balanceamento de carga. Essa característica no MMRDS resultou em um melhor desempenho do MMRDS em relação ao MMR em termos de probabilidade de bloqueio e justiça, utilizando três topologias diferentes: EON, USA e Abilene. Além disso, foi realizado um estudo de avaliação de desempenho em relação ao tempo de execução para mostrar a viabilidade computacional do algoritmo proposto. Por último, é importante destacar que os resultados obtidos para os cenários com conversão total ficaram próximos aos resultados do modelo analítico [Chu et al. 2004], o que sugere uma validação dos experimentos de simulação.

3. Problema 3MC

Dada uma topologia de rede óptica com N nós, o número de pares de nós (origem, destino) é $N * (N - 1)$. Será utilizada a notação $par(o, d)$ para representar um par ordenado de nós com origem no nó o e destino no nó d .

Para fazer o planejamento de uma estratégia de roteamento fixo é necessário definir uma rota para cada $par(o, d)$. Dessa forma, são requeridas $R = N * (N - 1)$ rotas para uma topologia com N nós. A escolha dessas rotas representa uma solução de rota para esta topologia.

Para cada $par(o, d)$ podem existir mais de uma rota de menor caminho. Neste artigo estas rotas serão chamadas de Rotas Candidatas, o conjunto de rotas candidatas para um $par(o, d)$ será denotado por $RC_{par(o,d)}$ e a rota escolhida para este par será denotada por $r_{par(o,d)}$.

Existem M soluções diferentes para o planejamento das rotas fixas em uma determinada topologia de rede. Caso sejam consideradas apenas rotas de menor caminho, o cálculo de M , que representa o número de soluções possíveis, é dado pela Equação 1.

$$M = \prod_{i=1, j=1}^{N, N} |RC_{par(i,j)}| \quad (1)$$

Em que $|RC_{par(o,d)}|$ é o número de rotas candidatas ao $par(i, j)$, com $i \neq j$. Note que todas as rotas candidatas possuem o menor número de saltos.

O problema 3MC consiste em identificar uma solução de rotas de menor caminho S_k com $1 \leq k \leq M$, tal que a combinação S_k resulte em um melhor desempenho em termos de probabilidade de bloqueio da rede.

4. Descrição do Algoritmo MMRDS

Esta seção apresenta o algoritmo MMRDS, proposto para encontrar uma solução para o problema 3MC.

O algoritmo MMR proposto em [Durães et al. 2009], funciona de forma iterativa, em que para cada iteração o algoritmo DJK é executado para encontrar uma solução de rota. Ao fim de cada iteração uma simulação é realizada para obter a probabilidade de bloqueio da rede e a utilização de cada enlace. Esses valores de utilização dos enlaces são utilizados como base para a alteração dos custos de cada enlace na próxima iteração. Com isso o algoritmo DJK poderá selecionar uma solução de rota diferente na iteração posterior.

Diferentemente do MMR, o MMRDS trabalha de forma não iterativa. O MMRDS escolhe uma rota de menor caminho para cada $par(o, d)$ de forma sucessiva, a escolha para cada $par(o, d)$ leva em consideração todas as escolhas feitas para $pares(o, d)$ anteriores, além disso, os pares que possuem maior similaridade (conceito detalhado a seguir) entre as rotas candidatas são sempre avaliados primeiro. Isso é realizado na tentativa de alcançar um melhor balanceamento da frequência de uso de cada enlace, isto é, o número de rotas que utilizam um mesmo enlace da topologia.

O MMRDS utiliza o conceito de similaridade entre rotas. A análise da similaridade é feita observando as rotas duas a duas. O cálculo da similaridade entre duas rotas a e b , rotas candidatas para um dado $par(o, d)$ é feito através da Equação 2.

$$Sml(a, b) = \frac{NE_{comum}(a, b)}{H}, \quad (2)$$

Em que H é o número de enlaces da rota a e $NE_{comum}(a, b)$ é o número de enlaces em comum entre as rotas a e b . Vale destacar que o número de saltos da rota a é igual ao da rota b .

Partindo do conceito de similaridade entre duas rotas, a medida de similaridade entre todas as rotas candidatas de um dado $par(o, d)$ é dada pela Equação 3.

$$Sml_{par(o,d)} = \frac{\gamma}{C_{|RC_{par(o,d)}|}^2} \quad (3)$$

Em que γ é o somatório da similaridade ($Sml(a, b)$) de todas as combinações de rotas candidatas do $par(o, d)$ tomadas duas a duas. $C_{|RC|}^2$ é o número de combinações de rotas candidatas do $par(o, d)$ tomadas duas a duas.

A Figura 1 ilustra o cálculo da similaridade entre as rotas candidatas para o $par(1, 4)$.

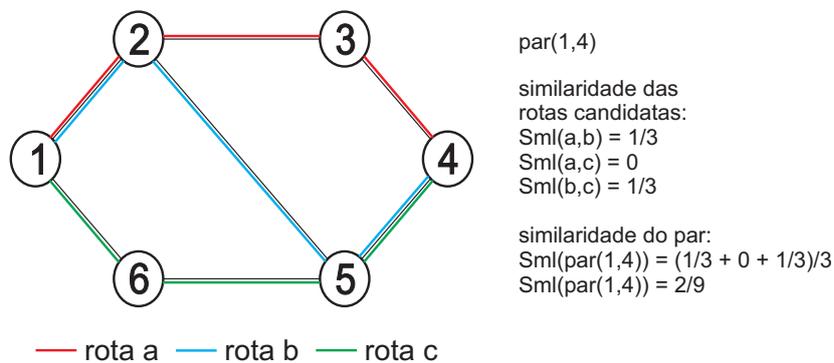


Figura 1. Exemplo do cálculo de similaridade.

Como pode ser observado na Figura 1, o $par(1,4)$ possui um conjunto composto de três alternativas de rotas de menor caminho. São elas: *rota a* = nó 1; nó 2; nó 3; nó 4, *rota b* = nó 1; nó 2; nó 5; nó 4 e *rota c* = nó 1; nó 6; nó 5; nó 4. No exemplo da Figura 1, a $Sml(a,b) = 1/3$. Isto porque as *rotas a* e *b* possuem apenas um enlace em comum (do nó 1 para o nó 2) e ambas possuem três saltos. $Sml(a,c) = 0/3$, pois as rotas não possuem enlances em comum. $Sml(b,c) = 1/3$, pois as *rotas b* e *c* possuem apenas um enlace em comum (do nó 5 para o nó 4). Assim, para o exemplo da Figura 1 temos $Sml_{par(1,4)} = ((1/3) + (0/3) + (1/3))/3 = 2/9$.

O MMRDS pode ser dividido em duas etapas. Na primeira etapa é feita uma análise do nível de similaridade entre as rotas candidatas de cada $par(o,d)$. Na segunda etapa, cada $par(o,d)$ é tomado em ordem decrescente de similaridade, escolhendo uma das rotas candidatas ao $par(o,d)$.

A escolha da rota deve minimizar $\sum e_i$, em que e_i é o custo de cada enlace da rota. Em seguida é feito o incremento de uma unidade no custo de cada um dos enlances pertencentes à rota escolhida.

Note que na escolha da rota para o primeiro $par(o,d)$, qualquer uma das rotas poderá ser escolhida. Isto pode acontecer porque todas as rotas tem a mesma quantidade de saltos e todos os enlances iniciam com o mesmo custo.

A seguir é apresentado o Algoritmo 1, que detalha o funcionamento do MMRDS, considerando que as rotas candidatas para cada par de nós origem destino ($RC_{par(o,d)}$) já foram calculadas. O conjunto P contém os *pares*(o,d) referentes à todas as combinações de nós de origem e destino. Por simplificação, a notação p representa um dado $par(o,d) \in P$.

Em uma determinada solução de rota, a frequência de uso de cada enlace pode ser definida pela quantidade de rotas que passam por este enlace. O MMRDS busca uma solução de rota na tentativa de encontrar o melhor balanceamento em termos de frequência de uso dos enlances, evitando assim a formação de enlances gargalos na rede.

Ao contrário do MMR, o MMRDS não é baseado em iterações e não necessita

Algoritmo 1 MMRDS.

```

inicializar o custo de todos os enlaces da topologia com valor 1;
while  $P \neq \phi$  do
    encontrar  $p \in P$  tal que a  $Sml(p)$  seja máxima;
    encontrar  $r_p \in RC_p$  tal que o somatório do custo dos enlaces de  $r_p$  seja mínimo;
    incrementar em uma unidade cada enlace pertencente a  $r_p$ ;
    remover  $p$  de  $P$ ;
end while

```

realizar simulações para obter a probabilidade de bloqueio com o objetivo de escolher a solução de rota. A execução do MMR é dependente do tempo das simulações para obtenção dos valores de utilização dos enlaces e da probabilidade de bloqueio.

5. Avaliação de Desempenho

O estudo de avaliação de desempenho apresentado nesta seção foi realizada com o auxílio da ferramenta de simulação TONetS [Soares et al. 2008].

A demanda de tráfego é composta por requisições de circuitos ópticos representados por $par(o, d)$. A carga de tráfego é distribuída uniformemente entre todos os $pares(o, d)$. A geração de requisições é um processo poissoniano de taxa média λ e o tempo médio de retenção dos circuitos é distribuído exponencialmente com média $1/\mu$. A intensidade de tráfego na rede em Erlangs é dada por $\rho = \lambda/\mu$. Todos os enlaces da rede são bidirecionais e possuem 40 comprimentos de onda em cada sentido. O algoritmo First-Fit é utilizado na alocação dos comprimentos de onda. Para cada simulação são realizadas 10 replicações com diferentes sementes de geração de variável aleatória. São geradas 100.000 requisições para cada replicação.

Os gráficos apresentam os intervalos de confiança calculados com um nível de confiança de 95%. Apesar de inseridos em todos os gráficos, os intervalos de confiança são imperceptíveis para alguns pontos, pelo fato do erro ser próximo de zero.

A Figura 2 ilustra as topologias das redes Abilene, EON e USA utilizadas nos estudos de avaliação de desempenho.

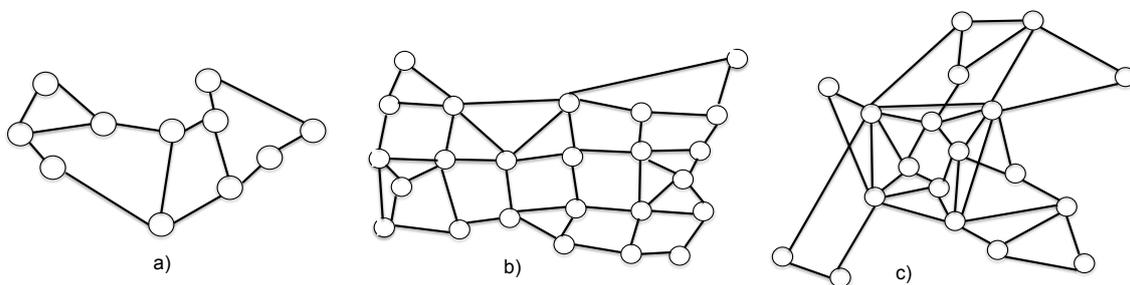


Figura 2. a) Topologia da rede Abilene. b) Topologia da rede USA. c) Topologia da rede EON.

As seções 5.1, 5.2 e 5.3 a seguir apresentam estudos de avaliação de desempenho considerando, respectivamente, a probabilidade de bloqueio, a justiça no atendimento das requisições dos diferentes $pares(o, d)$ e por último uma avaliação em termos do tempo de execução do algoritmo.

5.1. Probabilidade de bloqueio

Nesta seção, além dos resultados obtidos através de simulação utilizando a ferramenta TONetS, realizou-se também o cálculo de probabilidade de bloqueio para as três topologias estudadas com capacidade de conversão total. Para este cálculo foi utilizado o modelo analítico apresentado em [Chu et al. 2004], proposto para cenários de conversão total. Os gráficos expressos por curvas tracejadas representam os resultados obtidos com o modelo analítico. Apenas para esta seção, os resultados obtidos através de simulação são ilustrados exclusivamente através de pontos. Vale destacar que para o cenário com conversão total observou-se uma proximidade entre os resultados obtidos através de simulação e de modelagem analítica.

A Figura 3 ilustra o desempenho dos algoritmos DJK, MMR e MMRDS quando submetidos à topologia da rede Abilene com e sem conversão de comprimento de onda.

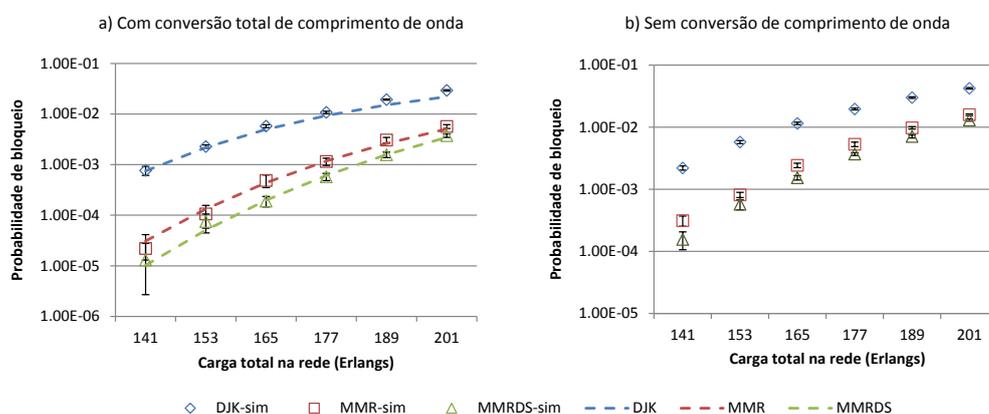


Figura 3. Probabilidade de bloqueio com e sem conversão total de comprimento de onda na topologia Abilene.

Para os cenários com e sem conversão o DJK apresentou desempenho bem inferior em relação aos algoritmos MMR e MMRDS, conforme ilustrado na Figura 3. Por isso, as próximas comparações serão restritas apenas aos algoritmos MMR e MMRDS. Para a topologia da rede Abilene, os algoritmos MMR e MMRDS apresentaram desempenho próximos, mas de maneira geral, o algoritmo MMRDS obteve a menor probabilidade de bloqueio para os dois cenários estudados, com e sem conversão de comprimento de onda.

As Figuras 4 e 5 apresentam uma comparação em termos de probabilidade de bloqueio entre os algoritmos MMR e MMRDS para as topologias EON e USA, respectivamente.

Conforme apresentado nas Figuras 3, 4 e 5, o algoritmo MMRDS obteve o melhor desempenho em termos de probabilidade de bloqueio tanto no cenário com conversão total de comprimento de onda quanto no cenário sem conversão de comprimento de onda para as três topologias estudadas.

O ganho relativo do MMRDS em relação ao MMR em termos de probabilidade de bloqueio pode ser calculado segundo a Equação 4.

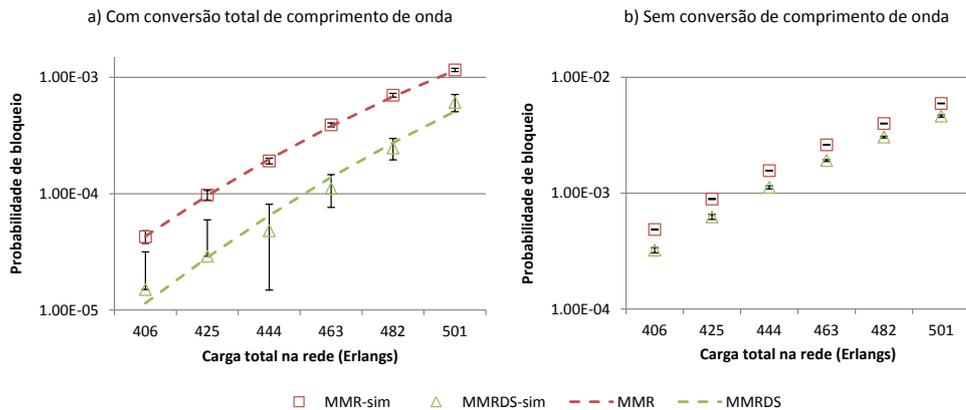


Figura 4. Probabilidade de bloqueio com e sem conversão total de comprimento de onda na topologia EON.

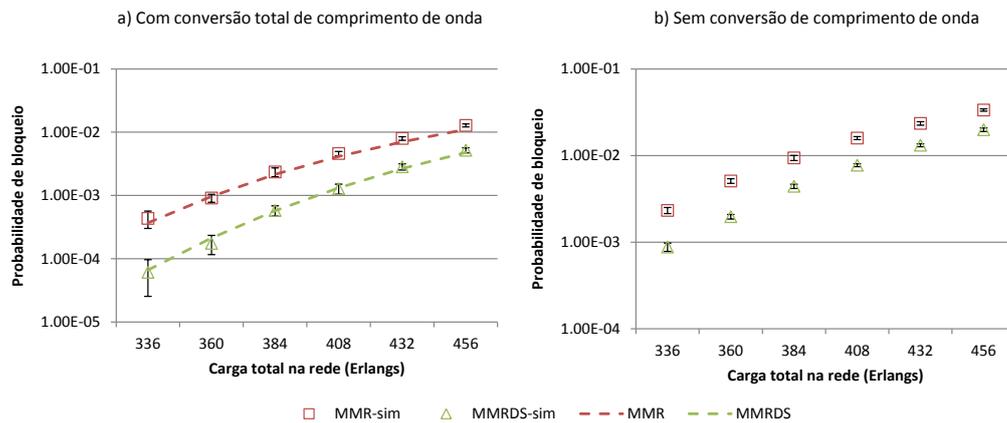


Figura 5. Probabilidade de bloqueio com e sem conversão total de comprimento de onda na topologias USA.

$$G = (PB_{MMR} - PB_{MMRDS}) / PB_{MMR} \quad (4)$$

Os valores PB_{MMR} e PB_{MMRDS} são as probabilidades de bloqueio obtidas com os algoritmos MMR e MMRDS respectivamente. As Figuras 6a e 6b mostram o ganho relativo do MMRDS em relação ao MMR nas topologias Abilene, EON e USA, considerando cenários com e sem conversão total de comprimento de onda em termos de probabilidade de bloqueio.

As Figuras 6a e 6b evidenciam o ganho de desempenho do algoritmo MMRDS em relação ao algoritmo MMR considerando a probabilidade de bloqueio. Essas análises são feitas considerando a probabilidade de bloqueio obtida para os maiores valores de carga na rede observados nas Figuras 3, 4 e 5.

Observa-se que no cenário com conversão total o ganho relativo do MMRDS sobre

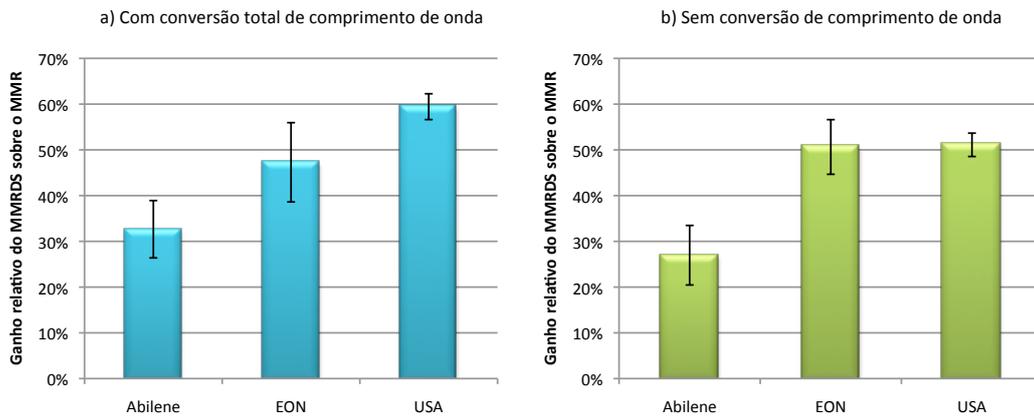


Figura 6. Ganho do MMRDS em relação ao MMR nos cenários sem e com conversão total de comprimento de onda.

o MMR é maior quando comparado aos ganhos obtidos no cenário sem conversão de comprimento de onda. O MMRDS obteve ganho médio próximo a 30% na topologia da rede Abilene e ganho médio de aproximadamente 50% para as topologias das redes EON e USA.

5.2. Justiça

Esta seção avalia o desempenho dos algoritmos DJK, MMR e MMRDS em termos de justiça no atendimento de requisições de circuitos ópticos para os diferentes $par(o, d)$.

A Figura 7 mostra o desempenho em termos de probabilidade de bloqueio para cada um dos 110 $par(o, d)$ da topologia da rede Abilene utilizando os algoritmos DJK, MMR e MMRDS.

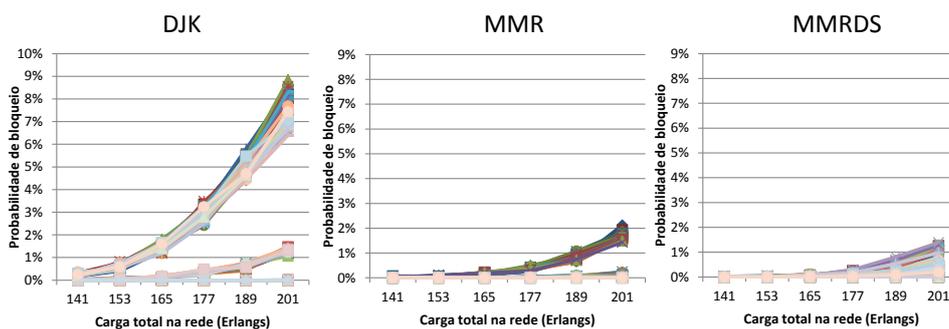


Figura 7. Probabilidade de cada um dos 110 $par(o, d)$ da topologia da rede Abilene.

De maneira geral observa-se um espalhamento da probabilidade de bloqueio por $par(o, d)$ com o aumento da carga na rede. Além disso, nota-se um menor espalhamento da probabilidade de bloqueio por $par(o, d)$ quando o roteamento MMRDS é utilizado. O pico para o algoritmo MMRDS foi cerca de 0,015 de probabilidade de bloqueio, enquanto

o MMR e o DJK obtiveram picos de probabilidade de bloqueio iguais a 0,022 e 0,098 respectivamente.

Para uma melhor análise em termos de justiça será utilizada a Equação 5 proposta em [Soares et al. 2007], além disso será realizada uma análise do desvio padrão da probabilidade de bloqueio dos pares.

Considerando, neste contexto, injustiça como a diferença entre os desempenhos dos pares de nós com maior e menor $Pb_{(o,d)}$, a Equação 5 proposta em [Soares et al. 2007] será utilizada para medir a justiça no atendimento dos circuitos ópticos:

$$Fr = \frac{1 - (\max Pb_{(o,d)})}{1 - (\min Pb_{(o,d)})}, \quad (5)$$

em que $\max Pb_{(o,d)}$ e $\min Pb_{(o,d)}$ representam, respectivamente, a probabilidade de bloqueio dos pares de nós (o, d) com pior e melhor desempenho do conjunto de $N \cdot (N - 1)$ pares de nós. A medida de justiça é a razão entre os desempenhos dos pares de nós com pior e melhor $Pb_{(o,d)}$.

As Figuras 8 e 9 apresentam o desempenho dos algoritmos DJK, MMR e MMRDS em termos de justiça (Fr) considerando as topologias das redes Abilene, USA e EON sem e com capacidade de conversão total.

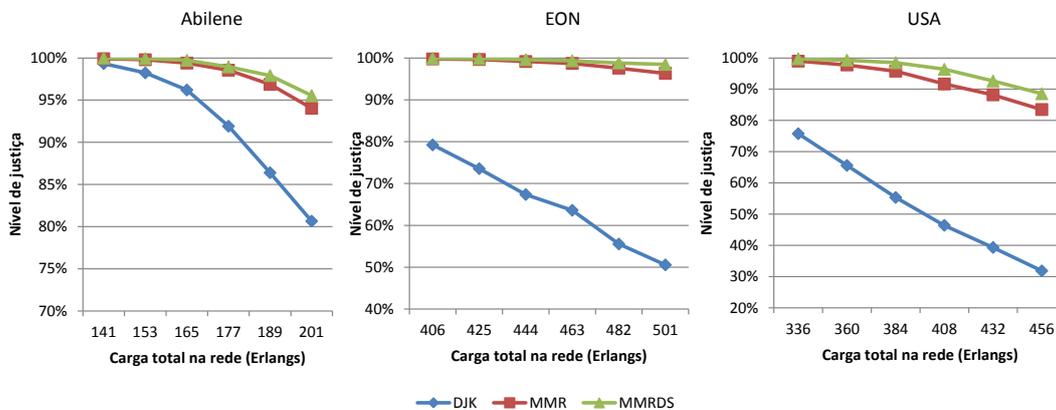


Figura 8. Desempenho em termos de justiça (Fr) dos algoritmos DJK, MMR e MMRDS aplicados as topologias das redes Abilene, USA e EON sem capacidade de conversão.

Comparando os cenários com e sem conversão de comprimento de onda observa-se um desempenho superior quando a rede faz uso da conversão total de comprimento de onda. Comparando o desempenho entre as topologias, EON e USA apresentam maior nível de justiça. Com relação aos algoritmos de roteamento, o MMRDS apresentou o melhor desempenho em todos os cenários. Entretanto, vale ressaltar que na topologia EON a diferença de desempenho entre o MMRDS e o MMR foi menor se comparada com as outras topologias. Ainda analisando as Figuras 8 e 9 nota-se que o DJK obteve um desempenho muito inferior aos algoritmos MMRDS e MMR.

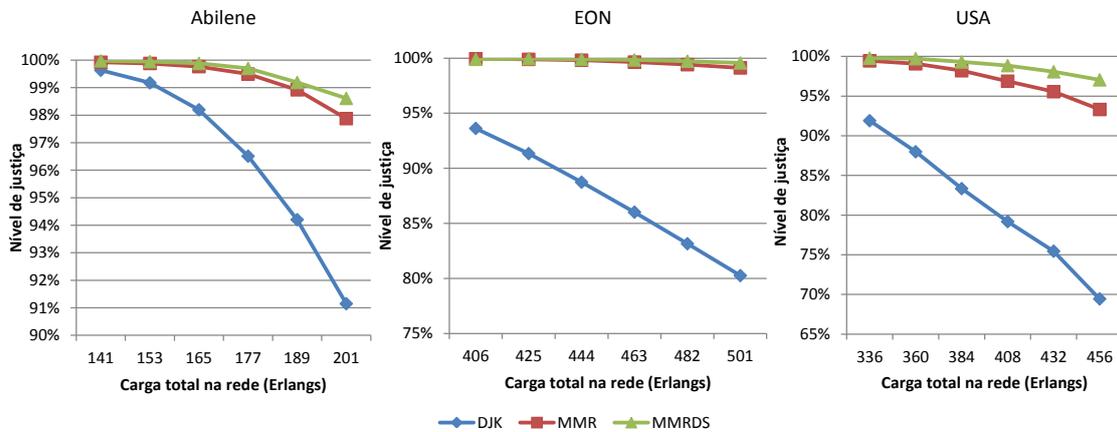


Figura 9. Desempenho em termos de justiça (Fr) dos algoritmos DJK, MMR e MMRDS aplicados as topologias das redes Abilene, USA e EON com capacidade de conversão.

As Figuras 10 e 11 ilustram o desempenho dos algoritmos MMR e MMRDS em termos do desvio padrão da probabilidade de bloqueio obtida por cada par(o,d), considerando as topologias das redes Abilene, USA e EON sem e com capacidade de conversão.

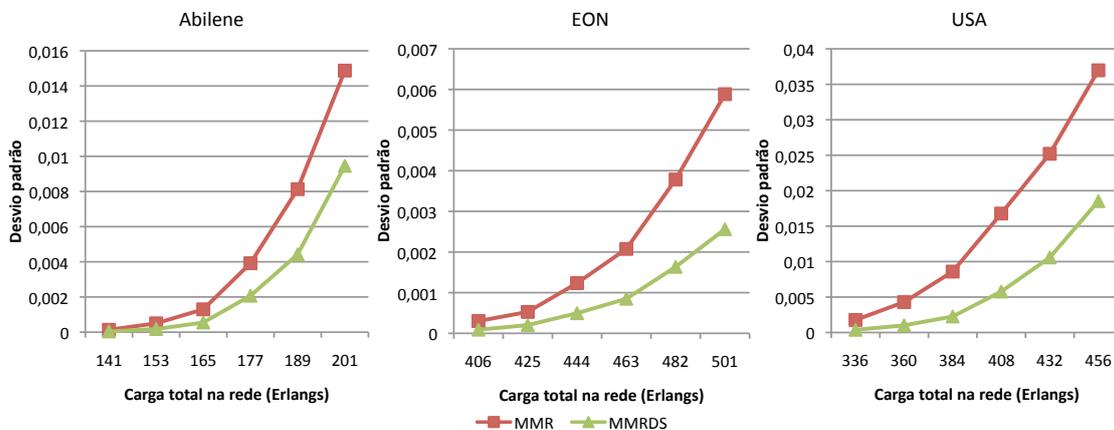


Figura 10. Desempenho em termos de desvio padrão da probabilidade de bloqueio dos pares(o,d) dos algoritmos MMR e MMRDS aplicados nas topologias das redes Abilene, EON e USA sem capacidade de conversão.

Com relação ao desvio padrão dos *pares*(o, d) o algoritmo MMRDS também obteve desempenho superior ao MMR para todas as topologias e cenários observados.

Em termos de justiça e desvio padrão da probabilidade de bloqueio do *pares*(o, d) o MMRDS apresentou um desempenho superior ao MMR. Vale destacar que além disso, para os mesmos cenários avaliados, o MMRDS obteve também o melhor desempenho em termo de probabilidade de bloqueio.

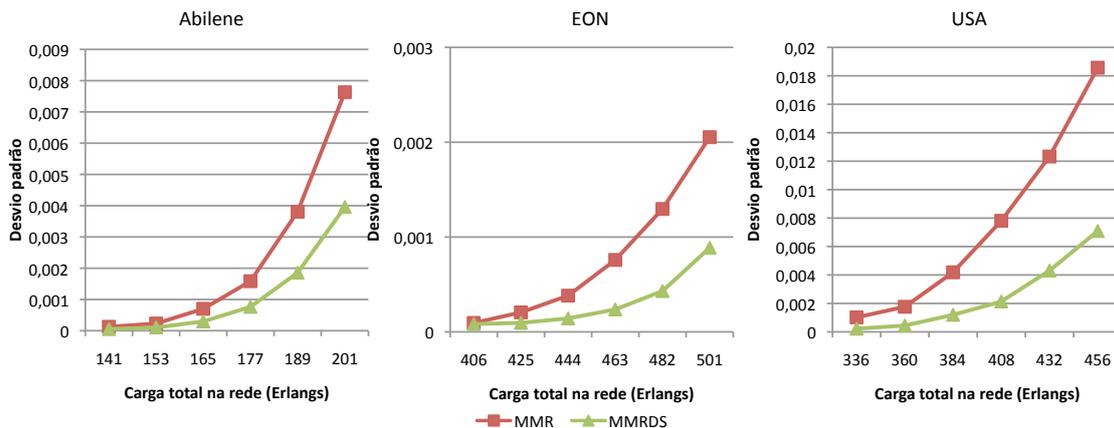


Figura 11. Desvio padrão da probabilidade de bloqueio dos pares(o,d) dos algoritmos MMR e MMRDS com capacidade de conversão.

5.3. Tempo de execução

Visando demonstrar a viabilidade computacional do MMRDS, foi feita uma avaliação dos tempos de execução dos algoritmos MMR e MMRDS. Foi utilizada a mesma metodologia de comparação apresentada em [Durães et al. 2009] para o algoritmo MMR. Para isso foram consideradas diferentes topologias com grau médio 3, variando o número de nós de 20 a 120.

A Figura 12 apresenta uma comparação em termos de tempo de execução dos algoritmos MMR e MMRDS.

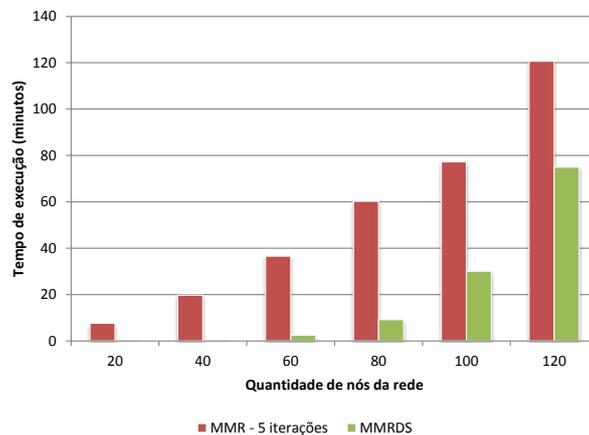


Figura 12. Tempo de execução dos algoritmos MMR e MMRDS.

O MMRDS possui tempo de execução significativamente menor não ultrapassando 80 minutos enquanto que o MMR, sob as mesmas condições, teve tempo de execução próximo a 120 minutos. Vale ressaltar que nesta comparação foram consideradas apenas 5 iterações para o algoritmo MMR. Entretanto, como se trata de algoritmos da classe de roteamento fixo, o tempo de execução de 120 minutos alcançados pelo algoritmo MMR com uma topologia de 120 nós não é crítico. Essa execução de algoritmos de roteamento fixo é feita apenas uma única vez, em uma fase de planejamento da rede. Essa

diferença em termos do tempo de execução pode ser explicada pelo fato do MMRDS não necessitar fazer simulações a cada iteração como ocorre com o MMR.

Com os estudos de avaliação de desempenho realizados neste trabalho observou-se um melhor desempenho do MMRDS quando comparado com o MMR e o DJK. O MMRDS foi superior para todas as topologias de redes estudadas com e sem conversão de comprimento de onda em termos de probabilidade de bloqueio, justiça. Acreditamos que esse melhor desempenho do MMRDS em relação ao MMR é justificado pelo fato do MMRDS investigar a similaridade das rotas no processo de escolha da rota de menor caminho.

6. Conclusão

Os algoritmos da classe de roteamento fixo são frequentemente utilizados nos trabalhos em redes ópticas transparentes. Isso se deve à baixa complexidade desse tipo de algoritmo, uma vez que não são necessários a troca e manutenção de informações sobre o estado da rede.

O problema 3MC consiste na escolha de uma combinação de rotas de menor caminho para cada par de forma a minimizar a probabilidade de bloqueio na rede. Este artigo apresentou o algoritmo MMRDS como solução para o problema 3MC, o algoritmo MMRDS se mostrou mais eficiente do que os algoritmos DJK e MMR em termos de probabilidade de bloqueio e justiça.

Vale ressaltar que as soluções de rota encontradas tanto pelo MMR quanto pelo MMRDS são soluções de rota subótimas para o problema do 3MC. Dessa forma, em trabalhos futuros serão investigadas novas estratégias para a resolução do 3MC como a utilização de metaheurísticas para a resolução do problema.

Referências

- Birman, A. (1996). Computing approximate blocking probabilities for a class of all-optical networks. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 14(5):852–857.
- Chu, X., Liu, J., and Zhang, Z. (2004). Analysis of sparse-partial wavelength conversion in wavelength-routed wdm networks. In *INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, volume 2, pages 1363 – 1371 vol.2.
- Durães, G., Soares, A., and Giozza, W. (2009). A escolha da melhor entre as menores rotas em redes Ópticas transparentes. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC*, pages 3–16.
- Durães, G. M., Soares, A., Amazonas, J. R., and Giozza, W. (2010). The choice of the best among the shortest routes in transparent optical networks. *Computer Networks*, 54(14):2400 – 2409.
- Lin, H.-C., Wang, S.-W., and Tsai, C.-P. (2006). Traffic intensity based fixed-alternate routing in all-optical wdm network. In *ICC 2006*, pages 2439 – 2446.
- Murthy, C. S. R. and Gurusamy, M. (2002). Wdm optical networks - concepts, design and algorithms. *Prentice Hall PTR*.

- Soares, A., Durães, G., Giozza, W., and Cunha, P. (2008). Tonets: Ferramenta para avaliação de desempenho de redes Ópticas transparentes. In *IV Salão de Ferramentas do SBRC*, pages 1–8.
- Soares, A., Giozza, W., and Cunha, P. (2007). Classification strategy to mitigate unfairness in all-optical networks. In *Networks, 2007. ICON 2007. 15th IEEE International Conference on*, pages 161 –165.
- Zang, H. and Jue, J. P. (2000). A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical wdm networks. *Optical Networks Magazine*, 1:47–60.