

Cálculo do Tempo de Ajuste em Redes Ópticas Comutadas por Rajadas Baseadas na Sinalização JET

Decíola Fernandes de Sousa^{1,2}, Rafael Pereira Esteves¹, Fernando Nazareno Nascimento Farias^{1,2}, Antonio Jorge Gomes Abelém¹

¹Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia (GERCOM)
Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém, PA – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE)
Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém, PA – Brasil

{deciola, esteves, fernnf, abelem}@ufpa.br

Abstract. *The offset time in OBS (Optical Burst Switching) networks can be estimated in a random way or through calculations. This paper proposes alternatives for calculating the offset time in OBS networks, in order to minimize the blocking probability of the bursts. To validate the proposal simulations are carried out using the NS-2 (Network Simulator) platform with different topologies and scenarios. The results show that calculating the offset time through an exponential distribution presents the best results.*

Resumo. *O tempo de ajuste em redes de comutação de rajadas ópticas (OBS) pode ser estimado de forma aleatória ou através de cálculos. Este artigo propõe alternativas para o cálculo do tempo de ajuste em redes OBS, buscando minimizar a probabilidade de bloqueio das rajadas. Para validar a proposta foram realizadas simulações utilizando a plataforma NS-2 (Network Simulator) com diferentes topologias e cenários. Os resultados mostram que o cálculo do tempo de ajuste através de uma distribuição exponencial apresenta os melhores resultados.*

1. Introdução

Recentes avanços na tecnologia WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) têm impulsionado profundas transformações em redes ópticas para suportar as redes de próxima geração [Tan et al. 2006]. A partir dessa integração entre as redes ópticas e o WDM, as NGN (*Next Generation Networks*) passam a oferecer uma maior capacidade de transmissão na ordem de dezenas de *gigabits* por segundo.

A comutação OBS (Comutação de Rajadas Ópticas) [Qiao e Yoo, 1999] é considerada uma alternativa para ampliar os benefícios da comunicação óptica, minimizar as desvantagens da comutação eletrônica e também contornar os problemas apresentados pelos modelos de comutação OCS (Comutação de Circuitos Ópticos) e OPS (Comutação de Pacotes Ópticos). O modelo OBS associa características dos modelos OCS e OPS. Na comutação OBS, os pacotes, ou seja, as rajadas e os dados de controle BCP (*Burst Control Packets*) são transmitidos separadamente em canais distintos onde o uso de fibras de retardo (FDL - *Fiber Delay Lines*), para incrementar atrasos as rajadas, são opcionais.

A principal vantagem da comutação por rajadas é a separação explícita do plano de dados com o plano de controle, o que permite um melhor gerenciamento da rede, ou seja, qualquer decisão de controle é tomada antes que os dados sejam inseridos na rede. Essas decisões estão relacionadas principalmente com a alocação de recursos e com a determinação do caminho, funcionalidades que são executadas pelos protocolos de sinalização. Em [Jue e Vokkarane, 2005] percebe-se que os protocolos de sinalização podem ser de três tipos: dois sentidos (*two-way*), híbrida (*hybrid*) e um sentido (*one-way*).

A sinalização em dois sentidos é considerada um protocolo síncrono, ou seja, baseada na confirmação do destino. Quando se deseja enviar uma rajada, um BCP é enviado até o nó de destino reservando recursos ao longo do caminho, que por sua vez envia uma mensagem de confirmação para o nó de origem liberando a rajada para que a mesma seja enviada pela rede. Seu principal protocolo é o TAW (*Tell And Wait*).

Por outro lado, a sinalização híbrida que é formada por parte da sinalização em um sentido e por parte da sinalização em dois sentidos, sendo que a confirmação é feita de forma parcial, ou seja, as reservas entre o nó de origem e os nós intermediários são confirmadas, porém entre os nós intermediários e o nó de destino não são confirmadas, tendo como protocolo principal o INI (*Intermediate Node Initiated*)

Por fim, a sinalização em um sentido é um protocolo assíncrono, onde o nó de origem envia BCPs para o nó de destino, com o objetivo de alocar recursos necessários para a rajada que será enviada pelo nó de origem. Neste caso, através do protocolo assíncrono, as rajadas são enviadas sem que haja uma confirmação da rede que os recursos estão alocados. Os principais protocolos para esse tipo de sinalização são o JET (*Just Enough Time*) e o JIT (*Just In Time*).

Em redes OBS baseadas na sinalização em um sentido, existe um tempo de ajuste que é um intervalo de tempo estimado para que seja feita a alocação dos recursos [Zhang et al. 2004]. Após esse período, a rajada de dados, formada por um grupo de pacotes, é enviada sem que haja qualquer confirmação de que os recursos necessários foram alocados corretamente.

O bloqueio de uma rajada é ocasionado por uma tentativa recusada de reserva de recursos, tal como a alocação de um comprimento de onda, que é um fator agravante para redes OBS, principalmente para aplicações sensíveis à perda de pacote, pois com o bloqueio de uma rajada, a taxa de perda de pacote cresce rapidamente. A utilização de um tempo de ajuste ótimo é essencial para que os recursos não fiquem alocados por muito tempo ou para evitar a chegada prematura de uma rajada em um nó, ou seja, a chegada da rajada antes do pacote de controle. Sendo assim, o tempo de ajuste é um parâmetro importante em uma rede OBS para minimizar o bloqueio de rajadas.

Um dos desafios das redes OBS é oferecer QoS (*Quality of Service*) [Yoo et al. 2000], pois as soluções atuais baseiam-se, em sua grande maioria, no gerenciamento de *buffers* eletrônicos, como por exemplo, filas de roteadores. Ainda não há uma estrutura de armazenamento temporário equivalente em redes puramente ópticas que seja viável em termos de complexidade e custo de implantação, uma vez que nessas redes o sinal deve ser transmitido totalmente no domínio óptico, logo, os esquemas de diferenciação

de serviços propostos para as redes comutadas por pacotes não são adequados em sua maioria para as redes puramente ópticas [Kaheel et al. 2002].

Em geral, pode-se prover qualidade de serviço em redes OBS pelas diferenciações de parâmetros da rajada em função da classe de serviço associada à mesma. Tipicamente essas diferenciações incluem: diferenciação no tempo de ajuste, diferenciação na construção da rajada e diferenciação no escalonamento da rajada. Existem dois modelos básicos para QoS em redes OBS: QoS relativa e QoS absoluta [Zhang et al. 2004].

O modelo absoluto trabalha através do estabelecimento de níveis determinados de QoS que devem ser obedecidos. Por exemplo, pode-se definir um valor máximo da probabilidade de bloqueio para uma determinada classe de rajadas de alta prioridade [Esteves et al. 2007]. No modelo relativo o desempenho de cada classe não é definido quantitativamente a partir de níveis de QoS determinados, mas sim em função do desempenho da classe em relação às demais, ou seja, tem-se a garantia de que uma classe de maior prioridade terá melhor desempenho que uma classe de menor prioridade, mas não há certeza acerca do cumprimento de certas restrições de QoS em virtude da influência causada pela proporção do tráfego das diferentes classes.

O objetivo deste trabalho é apresentar alternativas para calcular o tempo de ajuste em redes OBS, buscando minimizar a probabilidade de bloqueio das rajadas e assim encontrar uma fórmula para o cálculo do tempo de ajuste através da sinalização JET, de maneira a oferecer qualidade de serviço de modo relativo em redes OBS. Propõem-se quatro tipos de cálculos do tempo de ajuste e através de simulações observa-se o seu comportamento em relação à probabilidade de bloqueio e o atraso total. Os resultados das simulações foram obtidos usando o simulador NS-2 (*Network Simulator*), através de extensões desenvolvidas para validação da proposta, com o acréscimo do cálculo do tempo de ajuste em um nó de borda OBS.

Além desta introdução o artigo possui mais cinco seções. A seção 2 apresenta alguns trabalhos relacionados ao estudo do tempo de ajuste em redes OBS. A seção 3 descreve a sinalização JET em redes OBS. A seção 4 detalha a proposta do artigo. Em seguida, a seção 5 analisa os resultados obtidos através das simulações realizadas para validar a proposta do trabalho. A seção 6 conclui o artigo e apresenta propostas para trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Uma adaptação ao protocolo de reserva de recursos JET para tratamento diferenciado é proposta por Yoo et al [Yoo et al. 2001], onde um tempo de ajuste diferente é associado a cada classe de serviço. A idéia básica é aumentar o valor do tempo de ajuste das rajadas das classes de maior prioridade. Com isso, os nós possuem um maior intervalo de tempo para alocar os recursos necessários e, assim, a probabilidade de bloqueio de uma rajada das classes de maior prioridade tende a ser reduzida. Porém, como as rajadas de maior prioridade, em sua maioria, contém pacotes de mídias com restrições de tempo, como voz e vídeo, o aumento no valor do tempo de ajuste provoca um aumento não desejável no atraso total.

Em [So et al. 2001] é proposto o algoritmo OTD (*Offset Time Decision*) para prover qualidade de serviço em redes OBS. Segundo os autores o algoritmo fornece um

tempo de ajuste razoável para garantir uma baixa probabilidade de bloqueio para tráfego de alta prioridade, considerando carga do tráfego na rede e o número de comprimentos de ondas. Os autores apresentaram os resultados da simulação utilizando duas classes, uma de alta prioridade e a outra baixa prioridade, e definiram uma fórmula heurística para oferecer qualidade de serviço somente para a classe de alta prioridade. Para os autores o algoritmo OTD pode decidir um tempo de ajuste para oferecer QoS em redes ópticas de próxima geração. Os autores analisaram somente a classe de alta prioridade, eles não analisaram a classe de prioridade média e nem a classe de baixa prioridade.

Em [Dolzer et al. 2001] os autores estenderam o modelo do tempo de ajuste baseado em QoS considerando a interação da carga oferecida entre o tráfego de prioridade mais alta e o tráfego de prioridade mais baixa. Eles simularam e analisaram o resultado mostrando que o tempo de ajuste baseado em QoS pode alcançar baixa probabilidade de bloqueio para rajada de alta prioridade enquanto degrada o desempenho das rajadas de prioridade baixa.

Formas para se encontrar o tempo de ajuste são propostas em [Coutelen et al. 2005]. Os autores analisaram o desempenho das redes ópticas em relação à perda de rajadas e do atraso total. Segundo os autores o tempo de ajuste não deve ser muito pequeno para que a rajada não chegue antes do pacote de controle e não deve ser muito grande para não contribuir com a perda de rajadas. Os autores experimentaram várias estratégias para calcular o tempo de ajuste em função dos nós percorridos pela rajada e escolheram três, que para eles foram as que apresentaram os melhores resultados de acordo com as simulações realizadas. Na primeira fórmula o valor do tempo de ajuste é a quantidade de nós percorridos pela rajada. A segunda fórmula calcula o tempo de ajuste pela quantidade de rajadas a serem transmitidas pela rede OBS e a terceira fórmula é calculada em função da carga oferecida à rede e do caminho percorrido pela rajada. A primeira fórmula apresentou como resultado baixa perda de rajadas, porém um atraso total considerado; a segunda apresentou melhores resultados para a perda, mas o atraso ficou maior que na primeira. A terceira fórmula apresentou melhores resultados para perda de rajadas e atraso total em relação à segunda. Nas fórmulas os autores utilizaram um valor constante para o atraso de propagação.

Esteves et al apresentam uma proposta para oferecer QoS absoluta em redes OBS baseada no plano de controle GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*) [Esteves et al. 2007]. As técnicas de engenharia de tráfego do GMPLS são usadas para proporcionar QoS absoluta de maneira eficiente através da otimização do uso dos recursos da rede e para minimizar o desfavorecimento das classes de menor prioridade.

Este artigo apresenta uma proposta diferente dos anteriores e de outras encontradas na literatura, por incluir uma proposta para calcular o tempo de ajuste em redes de rajadas ópticas de quatro maneiras diferentes, com o atraso de propagação variados e mantendo a diferenciação dos serviços para todas as classes de serviço.

3. A Sinalização JET em Redes OBS

Nas redes OBS os pacotes que chegam a um nó de borda são ordenados de acordo com o endereço de destino, agrupados em rajadas e transmitidos. Antes da transmissão um pacote de controle BCP é enviado solicitando o estabelecimento dos canais ópticos

(λ) que serão utilizados no caminho escolhido para o envio da rajada [Izal e Aracil 2002], ou seja, reservando os recursos e configurando os elementos da rede ao longo do caminho para a transmissão da rajada.

O tempo de ajuste em redes OBS é o tempo estipulado entre o envio do pacote de controle e a transmissão da rajada, tempo este julgado como necessário para que os nós de núcleo configurem suas matrizes de comutação [Baldine 2002].

Os protocolos JET [Qiao e Yoo 1999] e JIT [Baldine et al. 2002] diferem quanto ao instante em que os recursos são reservados para uma determinada rajada. Em ambos o tempo de ajuste é fixo para rajadas com o mesmo endereço de destino.

No protocolo JET (Figura 1) quando há uma rajada de dados para ser transmitida, o nó de origem envia primeiro um BCP, enquanto isso a rajada de dados espera para ser enviada. Após um tempo de ajuste a rajada de dados é enviada, sendo os recursos de um comprimento de onda reservados somente na chegada da rajada.

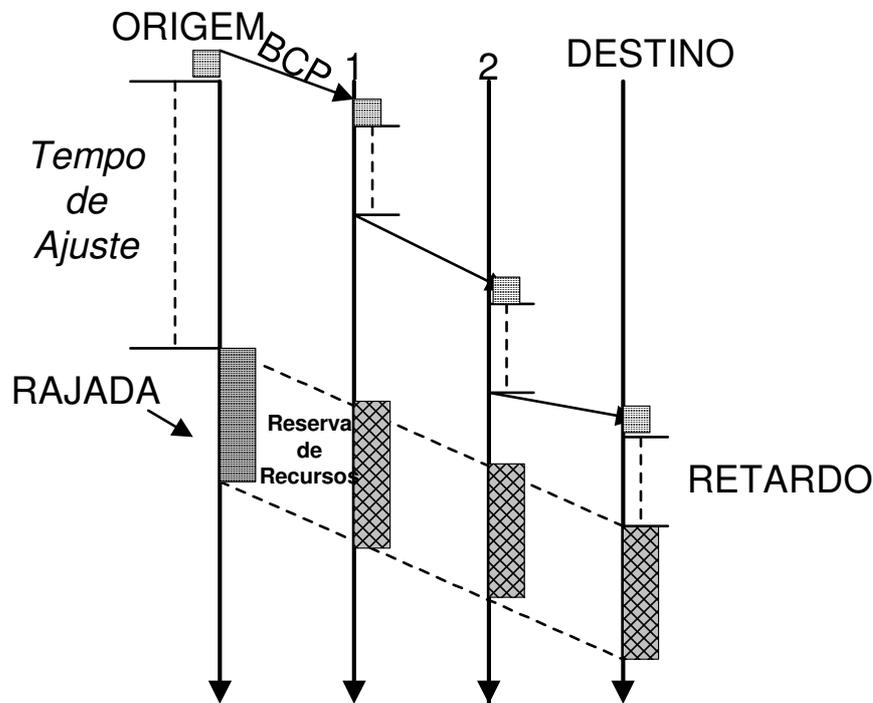


Figura 1. Protocolo JET.

O protocolo JET utiliza a reserva atrasada (*Delayed Reservation*) como ilustrado na Figura 2, onde os recursos de um comprimento de onda no enlace de saída do nó i são reservados somente a partir da chegada da rajada no instante t_s e não no instante t_a , que representa o término do processamento do pacote de controle. Além disso, os recursos reservados são liberados após a transmissão da rajada, logo $t_s + l$, onde l é o tamanho da rajada. Com isso, os recursos são reservados durante o menor tempo necessário.

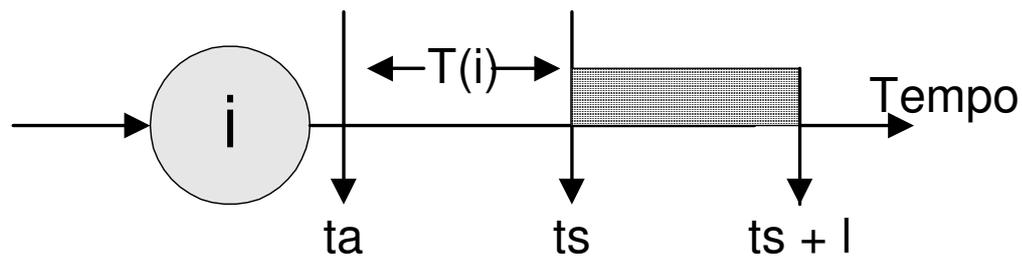


Figura 2. Reserva atrasada.

Para que o tempo de ajuste seja calculado, o nó de borda responsável pelo envio do pacote de controle deve saber quantos e quais os nós a rajada percorrerá até o destino. É necessário saber também o tempo de processamento do pacote e de configuração da matriz de comutação em cada nó intermediário.

Na literatura pesquisada e na proposta desse artigo assume-se que o tempo de ajuste é o mesmo para todos os nós intermediários.

4. Proposta

A proposta desse artigo é apresentar alternativas para calcular o tempo de ajuste em redes OBS, buscando minimizar a probabilidade de bloqueio das rajadas, e assim encontrar a melhor fórmula para o cálculo do tempo de ajuste, de maneira a oferecer QoS de modo relativo em redes OBS.

Assume-se que a rede emprega o protocolo de reserva de recursos JET. No JET uma rajada é enviada após um tempo de ajuste sem a necessidade de confirmação da reserva dos recursos. Através da proposta espera-se obter o menor atraso possível para que uma rajada possa ser enviada sempre que uma quantidade mínima de recursos estiver disponível e, dessa maneira, aproveitar melhor as características do paradigma OBS no que diz respeito à ausência de confirmação.

Este artigo adota o mecanismo de controle de admissão dinâmico associado ao agrupamento do comprimento de ondas por classe, proposto em [Zhang et al. 2004]. Esse mecanismo define que uma classe de rajadas possui um número de comprimentos de onda associados a ela. Quando uma rajada chega ao nó, verifica-se a quantidade de comprimentos de onda da classe ocupados no momento. Se existir um comprimento de onda livre dentre os reservados para a classe, a rajada é admitida, caso contrário ocorre o bloqueio.

Vale ressaltar que a estimativa incorreta do tempo de ajuste acarreta no bloqueio de uma rajada que irá conseqüentemente ser descartada, comprometendo os requisitos específicos de desempenho que devem ser alcançados por certas aplicações. Para que o tempo de ajuste seja calculado, o nó de borda responsável pelo envio do pacote de controle deve saber quantos e quais os nós a rajada percorrerá até o destino.

Propõem-se quatro tipos de cálculos para estimar o valor do tempo de ajuste (TAJ), onde a fórmula para cada cálculo está em função do número de saltos da rota e do atraso de propagação.

O atraso de propagação é estimado em função da distância entre os nós, onde para fibra óptica adota-se 5 milissegundos para cada 1.000 quilômetros.

O primeiro cálculo utiliza a soma dos atrasos que a rajada percorre, no segundo cálculo o maior atraso é atribuído para o tempo de ajuste, o terceiro cálculo é a média dos atrasos. No quarto cálculo o tempo de ajuste é encontrado através de uma distribuição exponencial.

4.1. Somatória dos Atrasos

A primeira alternativa usada para calcular o tempo de ajuste (TAJ) na rede OBS é através da soma dos atrasos de propagação dos enlaces, como mostra a Equação (1).

Na Equação (1) H representa o número de saltos entre a origem e o destino e $\delta(h)$ é o tempo estimado de processamento e configuração de cada salto h entre a origem e o destino.

$$TAJ = \sum_{h=1}^H \delta(h), \quad h = 1, 2, 3, \dots, H \quad (1)$$

No entanto, o resultado obtido, através da soma dos atrasos de propagação, é em geral um valor alto para ser atribuído ao TAJ e, em consequência, pode levar a uma maior probabilidade de bloqueio e a um atraso total elevado devido ao congestionamento no nó de borda.

Uma alternativa viável para minimizar a probabilidade de bloqueio apresentada pela somatória dos atrasos é atribuir para o TAJ o maior atraso de propagação existente na rede

4.2. Maior Atraso

A segunda alternativa é encontrar o maior atraso de propagação e atribuir este valor para o TAJ.

O maior atraso de propagação atribuído ao TAJ pode provocar bloqueio na rede porque a rajada vai precisar aguardar no nó de borda por um longo tempo, além do que o atraso total é alto, apesar de ser uma alternativa melhor que a somatória.

Procurando minimizar a probabilidade de bloqueio na rede ocasionada pelas alternativas da somatória dos atrasos e do maior atraso, a média dos atrasos se apresenta como uma opção para o valor do TAJ.

4.3. Média dos Atrasos

A média dos atrasos é a terceira opção apresentada para minimizar a probabilidade de bloqueio na rede ocasionada pelo maior atraso.

A média dos atrasos apresenta uma opção viável para o valor do TAJ. Dessa forma a média é definida pela Equação (2), onde H e $\delta(h)$ representam o mesmo da Equação (1).

$$TAJ = \frac{\sum_{h=1}^H \partial(h)}{H} \quad , \quad h = 1,2,3,\dots,H \quad (2)$$

Os resultados obtidos através da média podem apresentar um valor significativamente melhor em relação à somatória e ao maior atraso para ser atribuído ao TAJ.

Apesar da possibilidade de minimizar a probabilidade de bloqueio, o valor estimado para o TAJ, através da média dos atrasos, ainda poderá ocasionar um atraso total elevado na rede.

4.4. Distribuição Exponencial

A quarta alternativa busca uma solução para o valor estimado ao TAJ através de uma distribuição exponencial.

Na distribuição exponencial o intervalo “T” entre dois sucessos consecutivos, utiliza-se uma distribuição de Poisson dada pela Equação (3).

$$f(t) = \begin{cases} 0 & , t < 0 \\ \lambda e^{-\lambda t} & , t \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Devido a chegada das rajadas em redes OBS seguir um processo de Poisson, o tempo para a transmissão das rajadas, estimado através de uma distribuição exponencial, poderá fornecer um resultado satisfatório por ser tratar de séries temporais.[Souto, 2006].

Portanto, o valor encontrado através do cálculo de uma distribuição exponencial, dada pela Equação (4), pode apresentar uma alternativa satisfatória para ser atribuída ao TAJ em redes OBS.

$$TAJ = \lambda e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Para o cálculo através de uma distribuição exponencial pela Equação (4), o valor atribuído para λ é encontrado através do valor 1(um) dividido pela média encontrada na Equação (2).

Dessa forma, através da análise da quarta alternativa aplicada para obter os recursos reservados durante o menor tempo necessário, minimizando a probabilidade de bloqueio das rajadas, propõe-se a utilização do TAJ encontrado através de uma distribuição exponencial dada pela Equação (4).

5. Análise dos Resultados

A seguir serão apresentados os cenários e os gráficos com os resultados das simulações. Para validar a proposta foram realizadas simulações utilizando a plataforma NS-2 [VINT 2006].

5.1. Cenários

As simulações neste trabalho são realizadas para duas topologias diferentes. A primeira, ilustrada na Figura 3, é um cenário fictício.

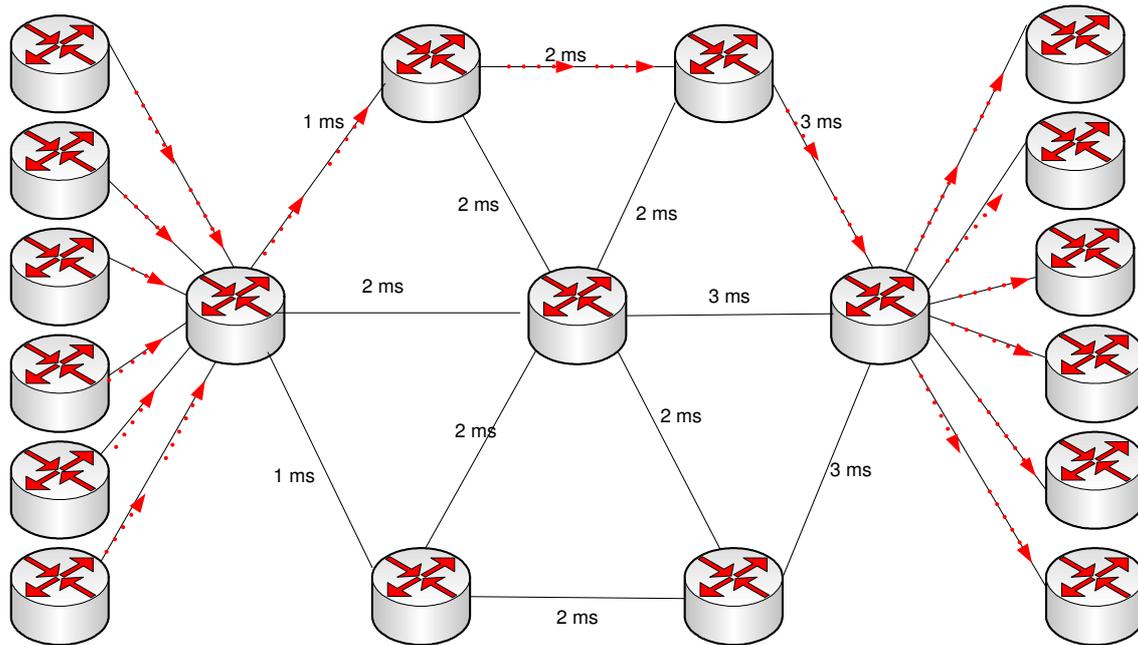


Figura 3. Topologia 1.

A chegada de rajadas na rede OBS é caracterizada como um processo de Poisson. No nó de borda os dados são classificados de acordo com três classes de rajadas, com prioridades do tipo ouro, prata e bronze, sendo que a classe ouro é a de maior prioridade, a classe prata possui prioridade média e a classe bronze é a que tem a menor prioridade.

As rajadas têm tamanho médio de 125 kB, o que corresponde a uma taxa de serviço de aproximadamente 1.200 rajadas por segundo [Esteves et al. 2007].

Existe um número fixo de comprimentos de onda associados a cada classe. As rajadas da classe ouro têm à sua disposição quatro comprimentos de onda alocados dinamicamente, as de classe prata possuem três comprimentos de onda disponíveis para alocação e as rajadas de classe bronze têm apenas um comprimento de onda.

A segunda topologia está ilustrada na Figura 4, e é baseada em um cenário futurista desenvolvido para a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) interligando instituições de pesquisa no Brasil.

A quinta geração da RNP foi implantada em novembro de 2005, utiliza tecnologias DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) nos enlaces Gbps, SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) e PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) nos enlaces Mbps. O *backbone* da rede RNP foi projetado para atender a certos requisitos técnicos, garantindo a largura de banda necessária ao tráfego Internet de produção (navegação *Web*, correio eletrônico, transferência de arquivos); ao uso de serviços e aplicações avançadas; e à experimentação. Há 27 pontos de presença (PoPs) instalados em todas as capitais do país, interligando mais de 300 instituições de ensino e pesquisa e algumas iniciativas de redes regionais, principalmente redes estaduais e redes metropolitanas de ensino e pesquisa [RNP 2007].

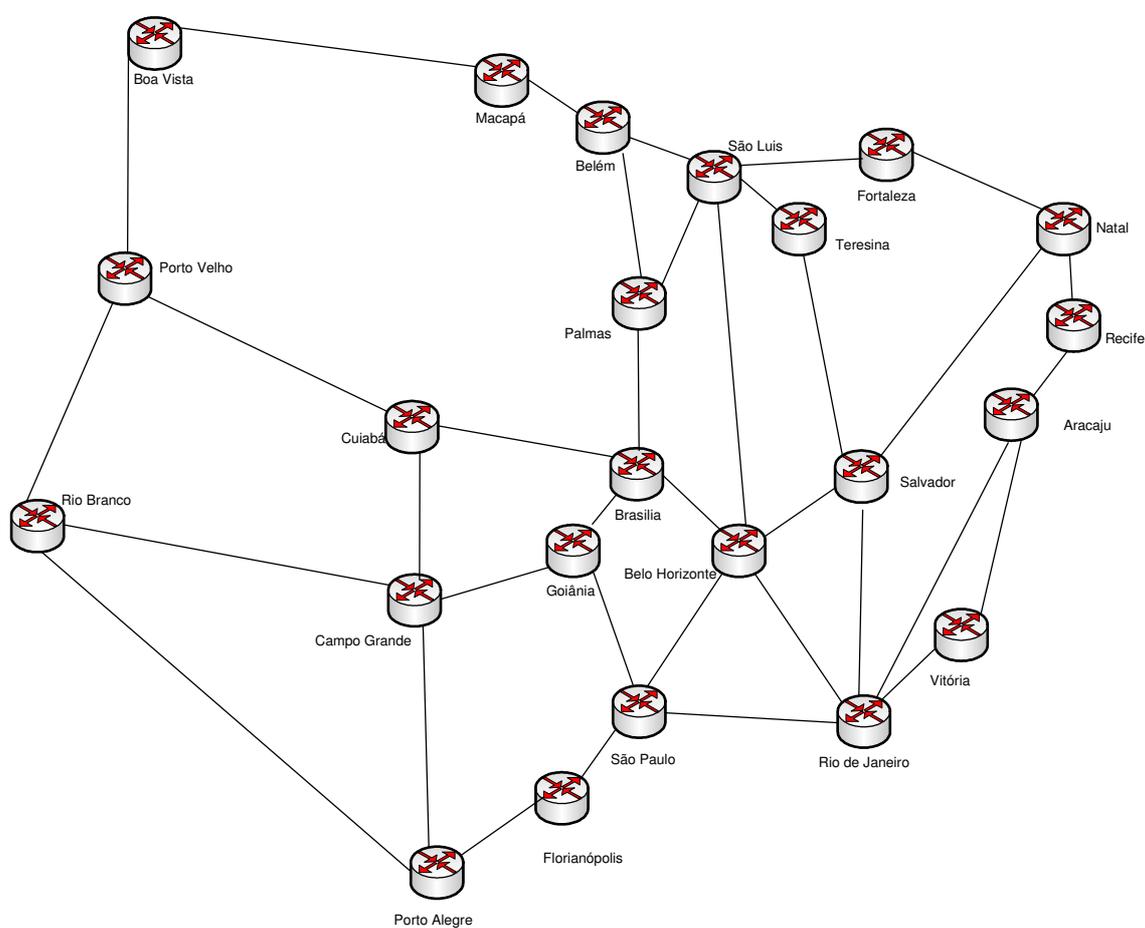


Figura 4. Topologia 2.

Para cada topologia há quatro cenários, nos quais se varia a carga oferecida à rede para cada uma das três classes de serviço (ouro, prata e bronze), resultando em cenários distintos de tráfego que são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Proporção de tráfego por classe de serviço.

Cenário	Classe Ouro	Classe Prata	Classe Bronze
1	33,33%	33,33%	33,33%
2	50%	33%	17%
3	17%	66%	17%
4	17%	33%	50%

Em cada classe de serviço há um número fixo de geradores por cenário que é calculado em função da proporção de tráfego de cada classe.

Na primeira topologia, são utilizados 18 geradores (agentes) para produzir o tráfego na rede; para a topologia 2 são usados os mesmos parâmetros e análise da topologia 1.

No cenário 1 as classes possuem número igual de agentes, seis agentes para cada classe; no 2 a classe ouro possui nove agentes, a classe prata seis agentes e a classe bronze três agentes; no 3 a classes ouro possui três agentes, a classe prata possui doze agentes e a classe bronze possui três agentes e no 4 as três classes possuem três, seis e nove agentes respectivamente.

No protocolo JET o tempo de ajuste é fixo para rajadas com o mesmo endereço de destino.

Para cada um dos quatro cenários da Tabela 1, aplicam-se os quatro cálculos para encontrar o valor do tempo de ajuste em função do número de saltos da rota e do atraso de propagação, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Cálculo do tempo de ajuste.

Cálculo	Tipo	Topologia 1 (s)	Topologia 2 (s)
1	Somatória dos atrasos	$6 * 10^{-3}$	$6 * 10^{-3}$
2	Maior atraso	$3 * 10^{-3}$	$4 * 10^{-3}$
3	Média dos atrasos	$2 * 10^{-3}$	$3 * 10^{-3}$
4	Distribuição exponencial	$0,30 * 10^{-3}$	$0,20 * 10^{-3}$

O valor do tempo de ajuste atribuído nas duas topologias para o cálculo 1 é encontrado aplicando a Equação (1). O valor obtido é de 6 milissegundos respectivamente.

Para o cálculo 2 o valor do tempo de ajuste atribuído é 3 milissegundos na topologia 1 e de 4 milissegundos na topologia 2.

O valor do tempo de ajuste aplicado no cálculo 3 é encontrado através da Equação (2). Para a topologia 1 é de 2 milissegundos. Para a topologia 2 é de 3 milissegundos.

Através de uma distribuição exponencial, o valor do tempo de ajuste é encontrado no cálculo 4 aplicando a Equação (4). Para a topologia 1 é de 0,30 milissegundos. Para a topologia 2 é de 0,20 milissegundos.

5.2. Resultados

Para análise da proposta foram realizadas 660 simulações para cada topologia, ou seja, para cada topologia há quatro cenários que estão descritos na Tabela 1. Para cada cenário foram aplicados quatro cálculos para encontrar o tempo de ajuste em redes OBS, descritos na Tabela 2. Para cada caso a carga oferecida na rede variou de 0,1 a 1 Erlangs. Dos resultados obtidos analisou-se a média de cada caso.

Os gráficos apresentam o resultado da probabilidade média das amostras coletadas durante as simulações em função da carga oferecida à rede nas duas topologias estudadas para a carga de 1 Erlang com intervalo de confiança de 95% em relação à média. A carga de 1 Erlang foi escolhida por ser a maior carga oferecida à rede e os resultados para as cargas de 0,1 a 1 Erlang apresentarem o comportamento semelhante.

Vale ressaltar que para cada um dos quatro cálculos é levado em consideração a proporção de tráfego gerado por cada classe de serviço.

O objetivo é determinar o impacto dos quatro cálculos para o tempo de ajuste na probabilidade de bloqueio das rajadas das três classes de serviço analisadas no trabalho.

Os gráficos dos resultados das simulações são apresentados a seguir com probabilidade média de bloqueio das amostras coletadas para as classes de serviço ouro, prata e bronze durante as simulações para a topologia 1.

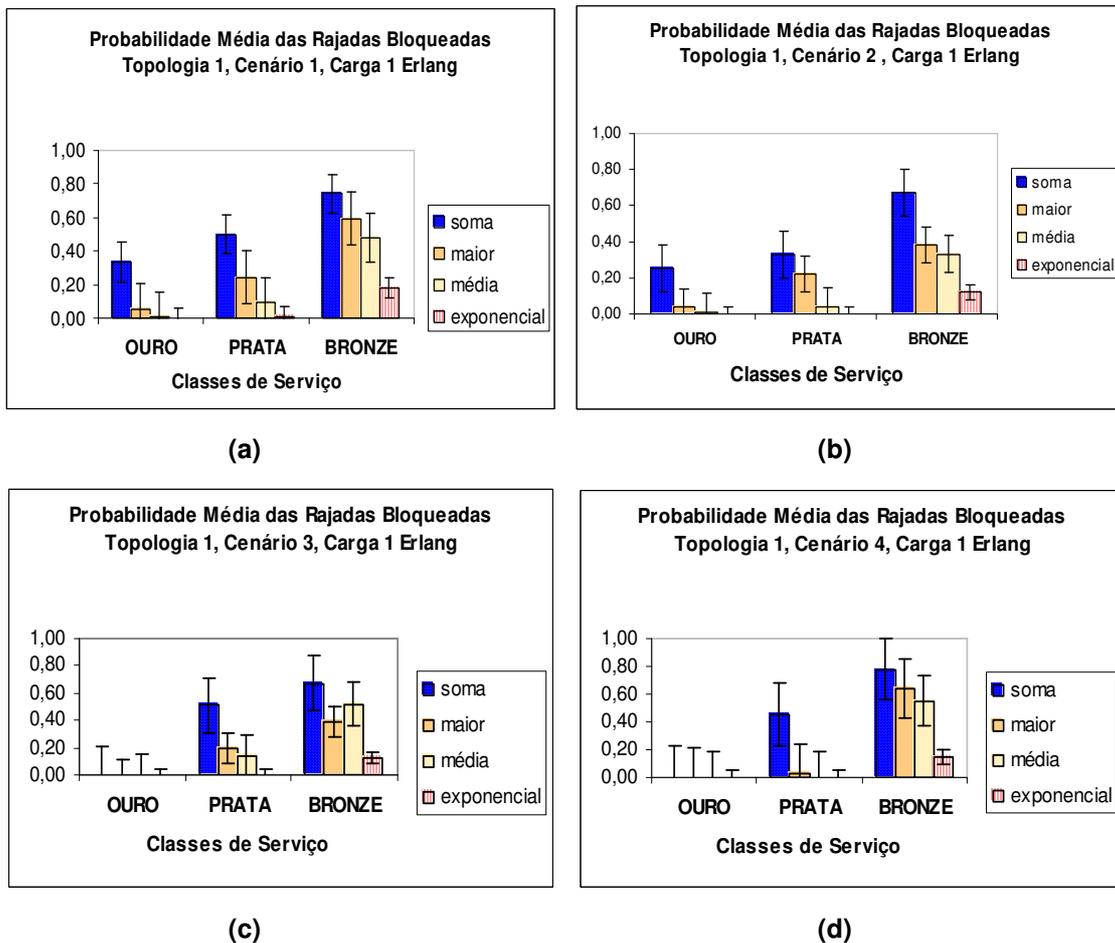


Figura 5. Probabilidade média de bloqueio (Topologia 1).

Na Figura 5(a) o tráfego é o mesmo para as três classes (ouro, prata e bronze), observa-se que os níveis de serviço obtidos são melhores quando o tempo de ajuste é encontrado através da distribuição exponencial Equação (4) beneficiando as classes ouro e prata.

Para a classe de maior prioridade há vantagens quando o tempo de ajuste é encontrado através da distribuição exponencial, Equação (4), principalmente na Figura 5(b), pois o aumento do tráfego para a classe ouro não prejudica a mesma, ou seja, a probabilidade de bloqueio para a classe ouro é nula. O mesmo acontece em relação à classe prata quando há o aumento de tráfego para mesma em relação a classe bronze, conforme a Figura 5(c).

No cenário onde o tráfego para a classe bronze é maior, mostrado na Figura 5(d), a probabilidade de bloqueio é maior para esta classe, porém é visível a vantagem do uso da Equação (4), distribuição exponencial, no cálculo do tempo de ajuste para minimizar a probabilidade de bloqueio.

A seguir, são mostrados os gráficos que ilustram a topologia 2 com probabilidade média de bloqueio das amostras coletadas para as classes de serviço ouro, prata e bronze.

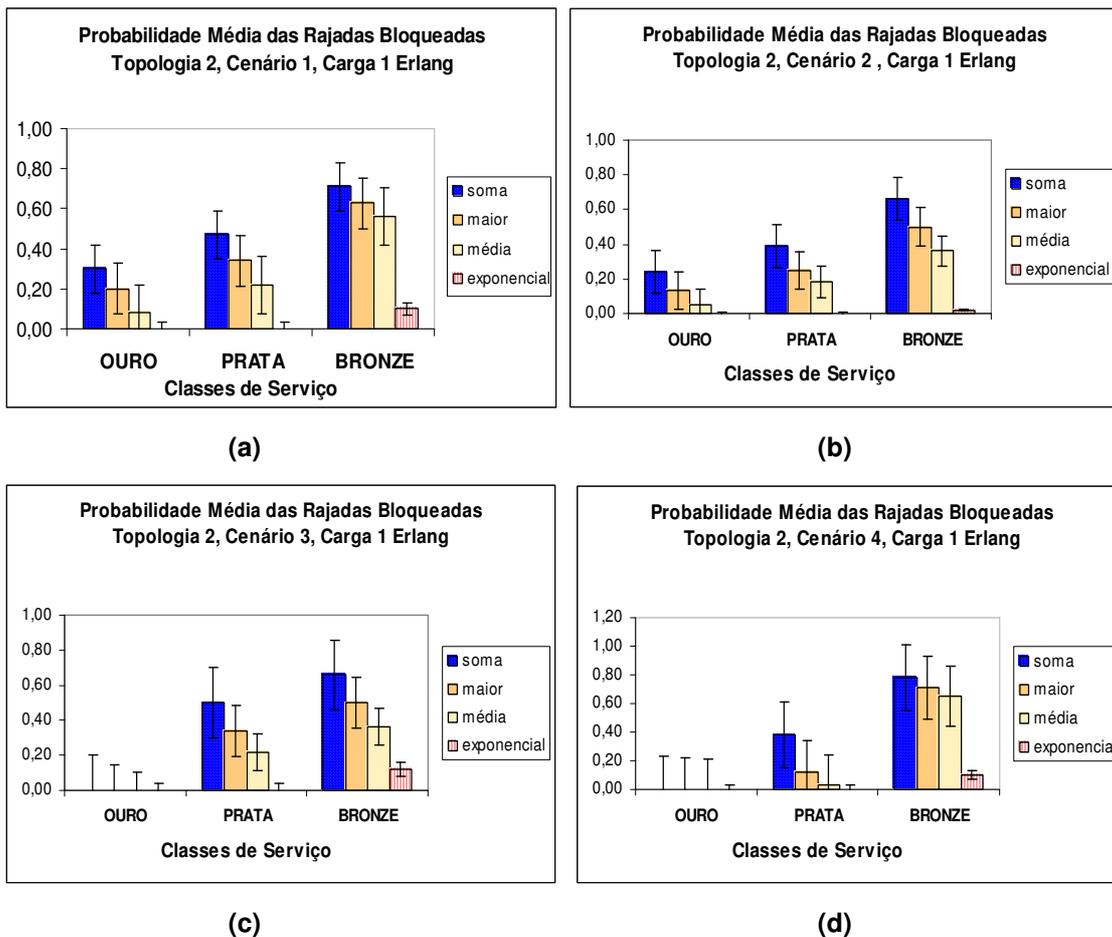


Figura 6. Probabilidade média de bloqueio (Topologia 2).

Observa-se nos diferentes cenários da topologia 2, aplicando os quatro cálculos para o tempo de ajuste, que a probabilidade média de bloqueio encontrada através da Equação (1) é a que apresenta maior valor médio de bloqueio para todas as classes, enquanto que a Equação (4), através de uma distribuição exponencial apresenta menor probabilidade de bloqueio.

Os resultados para a topologia 2 estão próximos dos obtidos na topologia 1, o que valida a proposta para um ambiente de produção.

Na Figura 6(b) percebe-se que a manutenção de privilégios para a classe ouro não implica em degradação da classe prata quando o tempo de ajuste é encontrado através da distribuição exponencial, Equação (4), o que possibilita um grau maior de satisfação dos usuários que possuem este serviço.

Um outro aspecto percebido nos resultados é que mesmo quando há o aumento do tráfego para a classe de menor prioridade, conforme a Figura 6(d), o uso da Equação (4) é a que apresenta o melhor resultado.

É possível observar que a probabilidade de bloqueio para a classe ouro é nula em todos os cenários após o uso da Equação (2). O mesmo acontece para a classe prata.

Para a classe ouro nos quatro cálculos apresentados nas Figuras 6(c) e 6(d), a probabilidade de bloqueio é nula, porém neste caso a proporção menor de carga para a classe ouro resulta em uma diminuição significativa da probabilidade de bloqueio, conseqüentemente quanto menor for a carga de tráfego oferecida a uma determinada classe de serviço menor será a média da probabilidade de bloqueio.

Através dos resultados dos gráficos apresentando a média da probabilidade de bloqueio para as rajadas nas topologias 1 e 2, por classe de serviço nos diferentes cálculos do tempo de ajuste, conforme as Figuras 5(a), 5(b), 5(c) e 5(d) e as Figuras 6(a), 6(b), 6(c) e 6(d), percebe-se a vantagem em se aplicar a Equação (4), portanto o valor atribuído ao tempo de ajuste na rede OBS encontrado com o uso de uma distribuição exponencial é satisfatório para minimizar a probabilidade de bloqueio.

A classe de maior prioridade é beneficiada em todos os cenários nas duas topologias apresentadas, sem prejudicar as demais classes, principalmente a classe de menor prioridade. Com isso, o valor do tempo de ajuste encontrado através de uma distribuição exponencial minimiza a probabilidade de bloqueio para a classe de maior prioridade, resultando em melhores níveis de desempenho para as redes OBS.

Vale ressaltar que os fluxos de rajadas de menor prioridade também são beneficiados sem prejudicar as demais classes, já que existe um isolamento entre as classes de serviço proporcionado pelo mecanismo de controle de admissão adotado. Logo, também é possível diminuir a probabilidade de bloqueio de rajadas de classe de baixa prioridade sem causar dano às classes prioritárias.

O atraso total, outra métrica importante para análise, é calculado através da soma do tempo de ajuste com os atrasos de propagação dos enlaces que a rajada irá percorrer na rede OBS. Foram realizadas novas simulações para analisar o atraso total em cada uma das topologias apresentadas, Figura 3 e Figura 4 para os quatro cenários, aplicando os quatro cálculos, apresentados na Figura 13 e na Figura 14.

Na Figura 7 são apresentados os resultados da média do atraso total, obtido na topologia 1, para cada alternativa de cálculo do tempo de ajuste apresentada na Tabela 2.

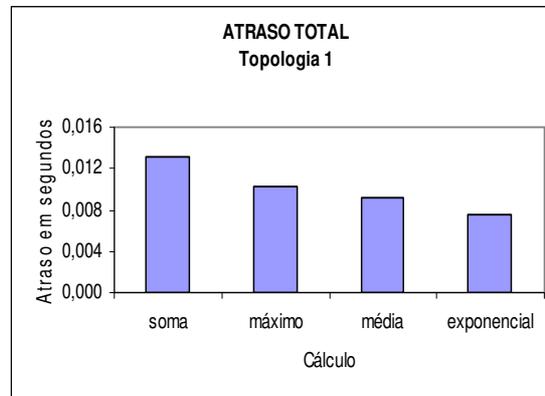


Figura 7. Atraso total na topologia 1.

Através da análise do gráfico percebe-se que a média do atraso total é menor quando o valor atribuído para o tempo de ajuste é encontrado através de uma distribuição exponencial. O cálculo do tempo de ajuste através da soma dos atrasos, por ser o maior valor atribuído para o tempo de ajuste, apresenta um maior atraso.

Na Figura 8 tem-se a média do atraso total encontrado para a topologia 2 aplicando os quatros cálculos para encontrar o tempo de ajuste apresentados na Tabela 2.

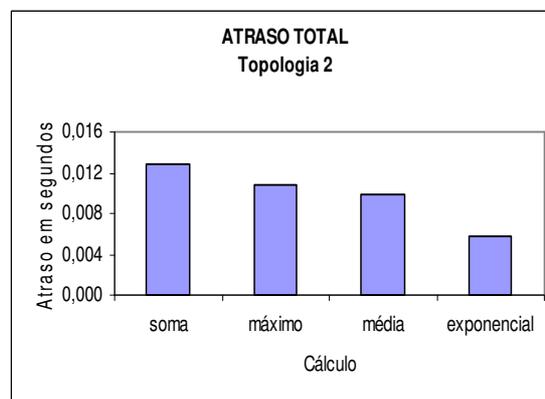


Figura 8. Atraso total na topologia 2.

Os resultados demonstram que o atraso é diretamente proporcional ao tempo de ajuste, ou seja, quanto menor o tempo de ajuste menor será o atraso. Portanto o tempo de ajuste para redes OBS calculado através de uma distribuição exponencial garante um menor atraso total.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste artigo foram propostas quatro alternativas para calcular o tempo de ajuste em redes de comutação de rajadas ópticas (OBS). O principal objetivo foi minimizar a probabilidade de bloqueio das classes de serviço em cenários diferentes para duas topologias.

A estimativa do tempo de ajuste é um ponto importante no desempenho das redes OBS. Portanto vale ressaltar que um valor incorreto do tempo de ajuste pode acarretar no bloqueio de uma rajada.

A partir dos resultados das simulações com o uso do tempo de ajuste calculado estatisticamente, observa-se que a probabilidade de bloqueio das rajadas foi reduzida e há uma melhora na utilização de recursos da rede, conseqüentemente o tempo de ajuste maior ocupa os recursos da rede por um longo período de tempo, o que aumenta a probabilidade de uma rajada ser bloqueada.

Nos resultados obtidos verificamos também que os serviços oferecidos para as rajadas de maior prioridade são atendidos, assim como as de menor prioridade também são beneficiadas sem prejudicar as demais classes, ou seja, a probabilidade de bloqueio das rajadas de classe de baixa prioridade é minimizada sem causar dano às classes prioritárias.

De forma geral observa-se, nos cenários analisados, que o valor do tempo de ajuste encontrado através de uma distribuição exponencial oferece a melhor alternativa para minimizar a probabilidade de bloqueio, melhorando o desempenho das classes de serviço. Em todos os cenários estudados, a proposta do artigo conseguiu atingir seu objetivo de minimizar a probabilidade de bloqueio em redes OBS e o atraso através do tempo de ajuste calculado, para que se tenha um maior ganho na qualidade de serviço mesmo em ambiente que utiliza as técnicas de qualidade de serviço.

Outra contribuição desta proposta é o desenvolvimento de extensões para a plataforma de simulação NS-2.

Como trabalhos futuros, pretende-se analisar o impacto da aplicação dos diferentes cálculos do tempo de ajuste para o protocolo de reserva de recursos JIT analisando a probabilidade de bloqueio e o atraso, e, além disso, definir outras métricas para os cálculos apresentados.

Referências

- Baldine, I., et al, JumpStart: A Just-in-Time Signaling Architecture for WDM Burst-Switched Networks. IEEE Communications Magazine, Fevereiro 2002.
- Chaskar, H. M., Verma, S. Ravikanth R., Optical burst switching: a viable solution for terabit IP backbone, IEEE Network, pp.48-53, Nov./Dec. 2000
- Chen, Y., Hamdi, M., Tsang, D. Qiao, C., Proportional QoS over OBS networks, Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom' 01), San Antonio, Nov 2001.
- Coutelen, T., Elbiaz H.; Jaumard, B., An Efficient Adaptive Offset Mechanism to Reduce Burst Losses in OBS Networks IEEE Globecom 2005. 2052-2056.

- Dolzer, K., Gauger, C, Spith, J., Bodamer, S., Evaluation of Reservation Mechanisms for Optical Burst Switching, *AEU International Journal of Electronics and Communications*, vol. 55, No. 1, Jan. 2001.
- Dutta, K. A.; Dutta, N. K.; Fujiwara, M., *WDM Technologies: Optical Networks*, Elsevier Academic Press. Volume 3, Elsevier, 2004.
- Esteves, R. P., et al, Qualidade de Serviço Absoluta em Redes OBS baseadas no GMPLS. 25º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2007), Vol. 1, pp. 577-590, Belém, Pará, Brasil. Maio, 2007.
- Fonseca, J., Martins, G., *Curso de estatística. Atlas: São Paulo*, 1992.
- Izal, M e Aracil, J., On the Influence of Self-similarity on Optical Burst Switching Traffic. *IEEE* 2308 a 2312, 2002.
- Joon-Pyo Park et al, Simultaneous Burst and Burst Control Packet Transmission Protocol for Optical Burst Switching Ring Networks. *ETRI Journal*, Volume 29, Number 1, February 2007
- Jue, J. P., Vokkarane, V. M., *Optical Burst Switched Networks. Optical Networks Series*, 2005.
- Kaheel, A.; Khattab, T.; Mohamed, A., Alnuweiri, H., Quality-of-service Mechanisms in IP-Over-WDM Networks. *IEEE Communications Magazine*, vol.40, no.12, pp. 38-43, Dezembro de 2002.
- Long, K.; Tucker, R.; Wang, C., A New Framework and Burst Assembly for IP DiffServ over Optical Burst Switching Networks, *GLOBECOM 2003 - IEEE Global Telecommunications Conference*, vol. 22, no. 1, Dec 2003 pp. 3159-3164.
- QIAO, C. e YOO, M., Choices, Features and Issues in Optical Burst Switching (OBS), *Optical Net. Mag.*, vol.1 no. 2, pp. 36-44. Abril, 2000.
- Qiao, C., Yoo, M., Optical Burst Switching (OBS)—A New Paradigm for an Optical Internet, *Journal of High Speed Networks (JHSN)*. Vol. 8, No. 1, pp. 69-84, August, 1999.
- RNP. Rede Nacional de Ensino. Disponível em: <http://www.rnp.br/backbone/> Acessado em: novembro de 2007.
- So, W. So; C.; Roh, S., Kim, Y., Offset Time Decision Algoritmo for Guaranteeing the Requested QoS of High Priority Traffic in OBS Networks, *Proc. Of SPIE Asia-Pacific Optical Commun*, Beijing, China, Nov. 2001.
- Souto, D. P., Baldeón, R. A., Russo, S. L., *Estudo dos Modelos Exponenciais na Previsão. Sistemas e Informática*, 2006.
- Tan, C. W., et al., Achieving Multi-Class Service Differentiation in WDM Optical Burst Switching Networks: A Probabilistic Preemptive Burst Segmentation Scheme. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 24, N°. 12, pp 106-119, December 2006.
- Verma, S., Chaskar, H., Ravikanth, R., Optical Burst Switching: A Viable Solution for Terabit IP Backbone. *IEEE Network*. December de 2000.

- VINT Project, The. Virtual InterNetwork Testbed. A Collaboration among USC/ISI, Xerox PARC, LBNL, and UCB. Url: <http://www.isi.edu/nsnam/vint/index.html>. Acessado em: Julho de 2007.
- Vokkarane, V., Zhang, Q., Jue, J., Chen, B., Generalized Burst Assembly and Scheduling Techniques for QoS Support to Optical Burst-Switched Networks. Em IEEE GLOBECOM'2002 (Novembro de 2002), vol. 3, pág. 2747–2751.
- Wan, J., Zhou, Y., Sun, X, Zhang, M., Guaranteeing Quality of Service in Optical Burst Switching Networks Based on Dynamic Wavelength Routing. Optics Communications, 220 (2003)85-95.
- Yang, Li e Rouskas, George N., Adaptive Path Selection in OBS Networks. Journal of Lightwave Technology, vol. 24, no. 8, august 2006.
- Yoo, M., Qiao, C.; Dixit, S., QoS performance of optical burst Switching in IP-over-WDM networks, IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 18, No. 10, pp. 2062-2070, October. 2000.
- Yoo, M.; Qiao, C.; Dixit, S., Optical Burst Switching for Service Differentiation in the Next-Generation Optical Internet. IEEE Communications Magazine, february 2001, pp. 98-104.
- Zhang, Q.; Vokkarane, V. M.; Jue, J. P., Chen, B., Absolute QoS Differentiation in Optical Burst-Switched Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), november 2004, pp. 2062-2071