

# Montagem de Rajadas com Suavização de Tráfego em Redes Ópticas em Rajadas

Gustavo B. Figueiredo<sup>1</sup>, Nelson L. S. da Fonseca<sup>1</sup>, Cesar A. V. Melo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)  
Caixa Postal 6176 – 13.084-971 – Campinas – SP – Brasil

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Amazonas  
Manaus-AM Brasil - 69048-660

{gustavo, nfonseca}@ic.unicamp.br, cavmelo@uea.edu.br

**Abstract.** *Burst assembly at the edge of an Optical Burst Switching network determines the statistical characteristics of the traffic to be injected into the network core. Eventual traffic smoothing can imply on a decrease of burst losses due to the decrease in contention of resources. In this paper, burst assembly policies are proposed. These policies can transform a multifractal ingress flow into a monofractal one, decreasing resource demands. Moreover, a numerical method is introduced for the identification of the cut-off scale of multifractal flows which is used by the assembly policy.*

**Resumo.** *O processo de montagem de rajadas determina as características do tráfego injetado no núcleo de uma rede de comutação de rajadas ópticas. Dessa forma, eventuais suavizações do tráfego ingresso geradas pelos montadores de rajadas podem diminuir as perdas de rajadas devido a contenção de recursos no núcleo da rede. Neste artigo, são propostos algoritmos de montagem de rajadas capazes de produzir tráfego monofractal a ser injetado no núcleo da rede a partir de tráfego ingresso multifractal, reduzindo, assim, a demanda de recursos. Além disso, o artigo apresenta um método numérico para avaliação da escala limitante de fluxos multifractais, que é utilizado no processo de montagem de rajadas em redes OBS.*

## 1. Introdução

O processo de reserva em uma via elimina o *overhead* de sinalização presente nas redes ópticas comutadas por circuitos, dotando, assim, a rede OBS com a flexibilidade necessária para o transporte de tráfego com grandes flutuações, como é o caso do tráfego IP. Entretanto, para oferecer serviço de transmissão eficiente que dê garantias de QoS às aplicações emergentes, a rede OBS precisa estar bem dimensionada e seus mecanismos de controle em sintonia com as propriedades do tráfego transportado.

No que tange ao tráfego Internet, um dos principais aspectos para o seu dimensionamento é a caracterização adequada das estatísticas do tráfego a ser transportado e, em especial, caracterização da explosividade do tráfego em diferentes escalas do tempo, já que esta última pode ser considerada um indicador da quantidade de recursos necessários para transmitir o tráfego.

Além disso, especificamente em redes OBS, o tráfego IP é transmitido em rajadas, resultado da agregação de diferentes fontes IP que injetam seu tráfego em um nó

de ingresso. Assim, ao passar por um nó de ingresso da rede OBS, suas propriedades estatísticas podem ser alteradas, impactando, assim, o escalonamento de rajadas durante períodos de contenção. Adicionalmente, estatísticas com dependências de longa duração existentes no tráfego IP influenciam a duração dos períodos de contenção.

Em [Ge et al. 2000, Izal and Aracil 2002, Hu et al. 2003] a relação entre o tráfego monofractal e os mecanismos de montagem de rajadas da rede OBS foi investigada. Em [Figueiredo et al. 2007, Figueiredo et al. 2006] a relação dos mecanismos de montagem de rajadas das redes OBS e o tráfego multifractal foi investigada. Em [Figueiredo et al. 2006] verificou-se que um fluxo IP multifractal pode ter suas propriedades estatísticas alteradas dependendo dos parâmetros de montagem utilizados. Percebeu-se que a montagem de rajadas pode transformar um fluxo com características multifractais em um fluxo com características monofractais.

Em [Figueiredo et al. 2007], os autores mostram que a escolha adequada dos parâmetros de montagem em função das estatísticas do tráfego pode ser crucial para o bom desempenho da rede em termos de taxa de perdas. Mais especificamente, foi observado que a transformação de um fluxo multifractal para um fluxo monofractal devido ao processo de montagem de rajadas pode reduzir a demanda por recursos na rede, diminuindo assim a probabilidade de bloqueio experimentada nas redes OBS com tráfego multifractal. Dessa forma, o projeto de algoritmos de montagem de rajadas que alteram as características multiescala (multifractal) do tráfego de ingresso é de fundamental importância para as redes OBS dado que a ação desses algoritmos reduz substancialmente a demanda por recursos no núcleo da rede implicando finalmente na diminuição dos níveis de perda experimentados.

Entretanto, para que o tráfego multifractal seja transformado, é necessário que o valor da escala limitante do fluxo multifractal que alimenta a rede OBS seja conhecido. Usualmente, a detecção da escala limitante é realizada de modo visual, não permitindo, assim, que seja empregada de maneira prática em redes operacionais.

Este artigo apresenta um método não visual para detecção da escala limitante de um fluxo multifractal. O método possui complexidade linear e pode ser usado para fornecer indicação sobre a escala limitante aos algoritmos de montagem, permitindo, assim, que os mesmos ajustem seus parâmetros de acordo com as informações obtidas, para realizarem a transformação do tráfego multifractal para monofractal. Propõe-se, ainda, no presente trabalho, algoritmos de montagem capazes de induzir a transformação do tráfego, usando como parâmetro a escala limitante do fluxo multifractal.

O resto desse artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve o processo de montagem de rajadas em redes OBS. A Seção 3 descreve a estimação da medida de multifractalidade. A Seção 4 discorre sobre o método de detecção da escala limitante de fluxos multifractais. A Seção 5 descreve a montagem de rajadas com moldagem de tráfego. A Seção 6 apresenta a análise do desempenho dos mecanismos propostos, e por fim a Seção 7 apresenta as conclusões.

## **2. Montagem de Rajadas de Pacotes**

Nos nós de borda em redes OBS, existe um conjunto de filas para armazenar pacotes a serem montados em rajadas. O número de filas depende dos critérios adotados para a

montagem de rajadas. O montador de rajadas localizado no nó de borda monitora cada fila. Quando o critério de montagem adotado é satisfeito, o montador cria a rajada correspondente e a transmite. Cada rajada é associada a um pacote de controle que especifica o nó de origem, o nó de destino e a duração da rajada. Uma vez que a rajada é selecionada para transmissão, o pacote de controle é transmitido e, um intervalo de tempo depois, a rajada é transmitida.

Diferentes critérios podem ser utilizados para montagem de rajadas. Entretanto, janelas de tempo [Ge et al. 2000] e volume de tráfego [Yu et al. 2002] são os dois critérios mais utilizados. Nos algoritmos baseados em janelas de tempo, quando o primeiro pacote chega à fila de montagem, um temporizador é ligado. Se o temporizador alcança um limiar pré-definido ( $\delta$ ), uma rajada é criada contendo todos os pacotes residente na fila de montagem. Os algoritmos baseados em volume de tráfego controlam o volume de dados através de um contador de bytes (ou pacotes) em cada fila de entrada. O contador é atualizado à medida que novos pacotes vão sendo adicionados à fila e quando o valor limiar pré-determinado é atingido, a rajada é montada e transmitida.

### 3. Estimativa da Característica Multifractal

O tráfego IP pode apresentar comportamento diferente a depender da magnitude da escala de tempo em que é observado. Em escalas de tempo da ordem de centenas de milisegundos e acima, o tráfego IP apresenta comportamento auto-similar que é modelado com precisão por processos monofractais [Abry et al. 2002]. Já em escalas de tempo menores, o tráfego IP pode apresentar comportamento *multi-scaling* não capturado completamente por processos monofractais, sendo melhor caracterizado por processos multifractais [Abry et al. 2002]. Tal comportamento pode ser observado através da análise visual do gráfico log-log do processo incremento agregado  $X_{\Delta}(i)$  em função do intervalo de agregação  $\Delta$ .

Seja  $X(t)$  o processo de chegadas do tráfego no intervalo  $[0, t]$ . Associado a este processo tem-se o processo incremento agregado  $X_{\Delta}(i)$  definido por:

$$X_{\Delta}(i) = X(i\Delta) - X((i-1)\Delta) \quad (1)$$

Os momentos estatísticos do processo incremento comportam-se como:

$$\sum_i X_{\Delta}(i)^q \sim c(q)\Delta^{-\tau(q)} \quad \Delta \rightarrow 0 \quad (2)$$

quando  $\tau(q)$  é linear em  $q$ , o comportamento *scaling* do tráfego é monofractal. Caso contrário é multifractal. Considere o processo de chegada  $X(i)$ ,  $1 \leq i \leq N$  no intervalo  $[0, T]$  em uma escala  $\delta = T/N$ . Define-se soma partição como:

$$\sum_i X_{\Delta}(i)^q = \sum_{k=1}^{N/\Delta} (X_k^{\Delta})^q \quad (3)$$

onde

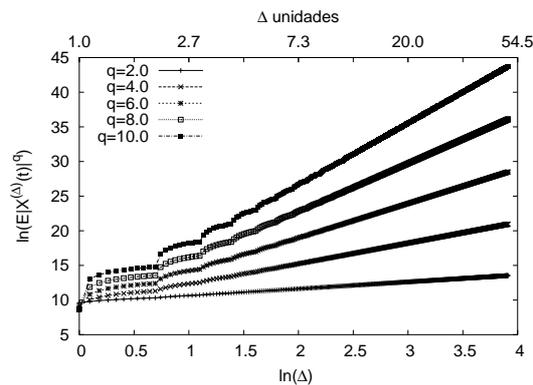
$$X_k^{\Delta} = \sum_{l=1}^{\Delta} X(k-1)\Delta + l \quad (4)$$

é o processo original observado em uma escala de agregação  $\delta = T\Delta/N$ . Para um dado valor de  $q_i$  o processo  $X(i)$  é agregado em uma série de escalas variando-se  $\Delta$ , obtendo-se, assim, um conjunto de pontos no plano  $\log(\Delta) \times \log(\sum_i X_\Delta(i)^q)$  [Vieira 2006]. A partir deste conjunto de pontos, pode-se obter o coeficiente angular  $\tau(q_i)$ , traçando-se uma reta com os pontos obtidos e  $c(q_i)$  correspondente ao ponto de intersecção entre a reta obtida e o eixo  $y$ . Tomando-se o logaritmo da Equação 3, chega-se à equação:

$$\log\left(\sum_i X_\Delta(i)^q\right) \approx \tau(q_i) \log(\Delta) + \log(c(q_i)) \quad (5)$$

Dessa forma, os valores de  $\tau(q_i)$  e  $c(q_i)$  podem ser relacionados. Após obtidos  $\tau(q_i)$  e  $c(q_i)$  para diferentes valores de  $q_i$  as funções  $\tau(q)$  e  $c(q)$  podem ser obtidas. Finalmente, se a função  $\tau(q)$  for linear, o processo é monofractal.

Como a função  $\tau(q)$  é formada pela interpolação dos valores  $\tau(q_i)$  em diferentes momentos estatísticos, para que  $\tau(q)$  seja linear, é necessário que  $\tau(q_i)$  seja constante em  $q_i$ , fazendo com que os pontos no plano  $\log(\Delta) \times \log(\sum_i X_\Delta(i)^q)$  formem uma reta. Caso os pontos não formem uma reta, a função  $\tau(q)$  não será linear, denotando assim um processo multifractal.



**Figura 1.** A escala de tempo limite: Medida multifractal

Na Figura 1, mostra-se os resultados obtidos quando se avalia a relação entre os momentos estatísticos e as escalas de tempo de uma medida multifractal. Esta medida é uma cascata multiplicativa binomial com os multiplicadores distribuídos conforme uma função Beta simétrica de parâmetro  $p = 1.6$ . Na avaliação realizada, as escalas de tempo  $\Delta$  indicam o número de realizações do processo original  $X(t)$  que é usado para gerar uma realização do processo agregado  $\sum_i X_\Delta(i)^q$ . As curvas da 1 apresentam dois comportamentos: o primeiro é o comportamento não-linear das curvas, principalmente quando a escala de tempo ( $\Delta$ ) é inferior a 3 (três) unidades. O segundo comportamento verificado é a não convergência das curvas para um valor específico e uma mudança brusca no comportamento das curvas a partir da escala de tempo  $\Delta = 3$ . A não linearidade das curvas é destacada pela ocorrência da escala limitante (do inglês *cutoff scale*), conforme definição em [Erramilli et al. 2001], com uma mudança brusca no comportamento das curvas. A escala limitante pode então ser definida a grosso modo como a escala de agregação além da qual o processo é considerado monofractal

#### 4. Detecção da escala limitante de fluxos multifractais

Como mencionado, a detecção da escala limitante é feita através de inspeção visual do diagrama log-log do processo incremento agregado  $X_{\Delta}(i)$  em função do intervalo de agregação  $\Delta$ . Esta análise por vezes resulta em erro já que a derivada da função  $\tau(q)$  pode variar muito pouco levando o gráfico a parecer quase linear. Nesta seção, é apresentado um método baseado no modelo de regressão linear dos mínimos quadrados para obtenção da escala limitante de um fluxo multifractal.

Como dito anteriormente, tal escala determina a escala de agregação a partir da qual o fluxo apresenta estatísticas monofractais. Isto implica que, a partir da escala limitante, o conjunto de pontos  $(x_i, y_i)$ ;  $x_i = \log(\Delta)$  e  $y_i = \log(\sum_i X_{\Delta}(i)^q)$ , se dispõem linearmente.

Dado um conjunto de  $n$  pontos  $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ , a qualidade do modelo de uma regressão linear simples é definida pelo coeficiente de determinação,  $R^2$ . Ele é uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra, assim em uma correlação perfeita,  $R^2 = 1$ . O coeficiente de determinação é dado pela seguinte expressão:

$$R^2 = \frac{\left( \left( \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) - n\bar{y}^2 \right) - \sum_{i=1}^n y_i^2 - b_0 \sum_{i=1}^n y_i - b_1 \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\left( \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) - n\bar{y}^2} \quad (6)$$

com  $b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$  e  $b_1 = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n(\bar{x})^2}$ .

Considere o conjunto de pares ordenados  $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ . Sabe-se que existe um alinhamento entre os pontos  $\{(x_{\Delta}, y_{\Delta}), \dots, (x_n, y_n)\}$ , onde  $(x_{\Delta}, y_{\Delta})$  representa o ponto da escala limitante. Além disso, sabe-se que a função formada pelos pontos  $\{(x_1, y_1), \dots, (x_{\Delta-1}, y_{\Delta-1})\}$  apresenta comportamento não-linear. O método proposto para detecção da escala limitante consiste na observação do comportamento da função formada pelos diferentes valores assumidos pelo coeficiente de determinação à medida que novos pontos  $(x_i, y_i)$  são adicionados à regressão.

Partindo do ponto  $(x_n, y_n)$  o método incrementalmente re-calcula o valor do coeficiente de determinação ao adicionar mais pontos ao conjunto. Como os pontos de  $\{(x_{\Delta}, y_{\Delta}), \dots, (x_n, y_n)\}$  possuem alinhamento, é esperado que o valor de  $R^2$  seja próximo de um, já que a qualidade da regressão linear será boa. Por outro lado, à medida que os pontos pertencentes à região de não linearidade vão sendo adicionados ao conjunto de pontos, o valor de  $R^2$  se deteriora. O método é apresentado no Algoritmo 1.

O algoritmo recebe, para cada momento estatístico  $q$  ( $q_{max}$  que corresponde ao maior valor que  $q$  pode assumir), um conjunto,  $S$ , de  $n$  pontos (correspondente ao número de escalas de agregações a que o processo  $X(t)$  foi submetido) e retorna o valor aproximado da escala limitante  $\Delta$ .

O valor de  $R^2$  é calculado sobre um conjunto de pontos contidos em  $S$ . Aumenta-se  $S$  incrementalmente, adicionando-se novos pontos.  $R^2$  é re-calculado até que esteja abaixo de um limiar pré-determinado,  $\delta$ , que pode ser usado para ajustar o nível de precisão do método. Se o valor de  $\delta$  for escolhido próximo a um, isto significa que os pontos

**Algoritmo 1** calcula  $\Delta$ **ENTRADA**Conjunto de  $n$  pares ordenados**SAÍDA**Escala limitante  $\Delta$ .**Calcula  $\Delta$** 

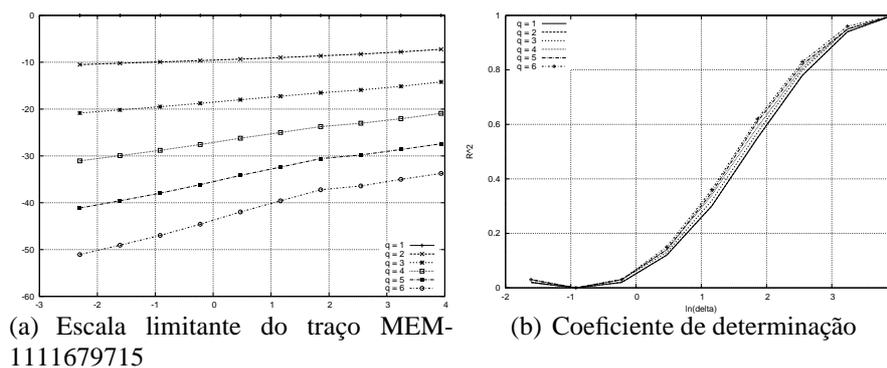
```

1:  $M \leftarrow 0$ 
2: for all ( $q_{min} \leq q \leq q_{max}$ ): do
3:    $S \leftarrow \{\}$ 
4:    $i \leftarrow n$ 
5:    $S \leftarrow \cup\{(x_i, y_i)\}$ 
6:   Calcule  $R^2$  sobre os pontos de  $S$ 
7:   while ( $(i \geq 1) \wedge (R^2 \geq \delta)$ ) do
8:      $i \leftarrow (i - 1)$ 
9:      $S \leftarrow \cup\{(x_i, y_i)\}$ 
10:    Calcule  $R^2$  sobre os pontos de  $S$ 
11:    if ( $R^2 < \delta$ ) then
12:      if ( $i \geq M$ ) then
13:         $M \leftarrow i$ 
14:  $\Delta \leftarrow M$ 
15: Retorne  $\Delta$ 

```

de  $S$  devem estar alinhados precisamente.

O algoritmo ainda mantém a variável  $M$ , que armazena o valor máximo, (entre todos os momentos estatísticos  $q$ ) da escala de tempo em que a regressão linear deixa de ser aceitável, correspondendo assim à escala limitante.



**Figura 2. Detecção da escala limitante**

A Figura 2 (a) apresenta a escala limitante de um fluxo multifractal encontrado no traço de tráfego MEM-1111679715. Percebe-se que a escala limitante é encontrada quando  $\ln(\Delta) \approx 2.5$ , já que a função soma partição apresenta comportamento linear em todos os momentos estatísticos. A Figura 2 (b) mostra o coeficiente de determinação da regressão linear em função das escalas em que o processo original foi agregado. É possível observar que  $R^2 \approx 0.8$  no ponto da escala limitante tendo uma queda brusca a partir desse ponto.

O algoritmo calcula $\Delta$  pode ser utilizado para fornecer aos algoritmos de montagem de uma rede OBS informações sobre a escala limitante de um fluxo multifractal que alimenta a rede OBS. Assim, é importante salientar, que se no exemplo proposto, o valor escolhido para  $\delta$  for maior que 0.8, o método fornecerá ao algoritmo de montagem uma escala de agregação superior à escala limitante. Entretanto, ao montar as rajadas em escalas acima da escala limitante, o algoritmo continuará produzindo tráfego monofractal [Figueiredo et al. 2006].

#### 4.1. Complexidade computacional do método

A detecção da escala limitante implica antes de mais nada na agregação do tráfego em diversas escalas de tempo. Dessa forma, a complexidade da detecção da escala limitante depende também da complexidade de agregação do tráfego.

Seja  $X(t)$  o processo de chegadas de pacotes no intervalo  $[0, t]$ . A agregação do tráfego em escalas de tempo corresponde a calcular a função soma partição apresentada pela Equação 3 para cada momento estatístico  $q_{min} \leq q \leq q_{max}$ , variando-se a escala de agregação  $\Delta$  no intervalo  $[\Delta_{min}, \Delta_{max}]$ . Seja  $T(n)$  o tempo de execução do algoritmo de agregação, o Teorema 1 vale:

**Teorema 1** *O tempo de execução do algoritmo de agregação é linear em  $n$ , onde  $n$  é o número de pontos do processo  $X(t)$ .*

**Prova** Para valores fixos de  $\Delta$  e  $q$ , a função soma partição é calculada. Para calcular a Equação 3 são necessárias  $N/\Delta$  iterações. E para cada iteração da Equação 3 são realizadas  $\Delta$  iterações no processo original  $X(t)$ , o que corresponde a um total de  $\frac{N\Delta}{\Delta}$  iterações. Seja  $|M|$  o número de momentos estatísticos e  $|E|$  o número de escalas de agregação, a agregação é realizada

$$(|M|) \cdot (|E|) \cdot n = O(n)$$

vezes, fazendo com que, assintoticamente, o tempo de execução do método de agregação seja linear. ■

Após agregado o processo  $X(t)$ , o algoritmo calcula $\Delta$  é executado. Seja  $S = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$  o conjunto de pontos resultantes do processo de agregação do tráfego, onde  $x_i = \log(\Delta)$  e  $y_i = \log(\sum_i X_\Delta(i)^q)$ . O Teorema 2 vale:

**Teorema 2** *O tempo de execução do algoritmo calcula $\Delta$  é linear em  $n$ , onde  $n$  é o número de pontos do conjunto  $S$ .*

**Prova** O algoritmo inicia sua execução sobre um conjunto com um único ponto e progressivamente vai adicionando novos pontos ao conjunto até que o mesmo contenha  $n$  pontos ou o valor do coeficiente de determinação seja menor do que o limiar pré-determinado,  $\delta$ . No pior caso, todos os  $n$  pontos são adicionados ao conjunto. Mantendo armazenados os valores das somas parciais de  $y_i$  e  $x_i$  para um conjunto  $S'$  com  $j$  pontos, é possível calcular a Equação 6 para um conjunto  $S''$  com  $j + 1$  pontos usando os valores das somas parciais. Assim, para cada novo ponto adicionado ao conjunto  $S$  apenas a atualização das somas parciais é realizada, resultando num total de  $n$  atualizações para um conjunto com  $n$  pontos. O algoritmo calcula $\Delta$  é executado para cada momento estatístico  $q$ . Assim, tem-se um tempo de execução total de

$$(|M|) \cdot n = O(n)$$

, onde  $|M|$  é o número de momentos estatísticos. ■

## 5. Montagem de rajadas com moldagem de tráfego

Em [Figueiredo et al. 2006] mostra-se que as propriedades estatísticas do tráfego podem ser alteradas dependendo dos parâmetros utilizados no processo de montagem de rajadas em uma rede OBS.

Verificou-se que o tráfego é:

$$\text{monofractal} \quad , \text{ se } t \geq \Delta ; \quad (7a)$$

$$\text{multifractal} \quad , \text{ se } t \leq \Delta \quad (7b)$$

onde  $t$  é o tempo de montagem das rajadas e  $\Delta$  é a escala limitante do tráfego multifractal.

Seja  $b$  o limiar do tamanho das rajadas usado pelo montador baseado em volume de tráfego e  $\lambda$  a taxa média de chegadas de pacotes (expressa em bytes por segundo), sabe-se também que:

$$b = t \cdot \lambda \quad (8)$$

. De 7a e 8 conclui-se que se:

$$\frac{b}{\lambda} > \Delta \quad (9)$$

o tráfego tem suas características multifractais alteradas para monofractais. Os resultados da Equação (9) são usados quando o montador de rajadas baseado em volume de tráfego é empregado.

Ainda, em [Figueiredo et al. 2006, Figueiredo et al. 2007] mostra-se que além de mudanças nas características *scaling* do tráfego, o processo de montagem provoca suavização do tráfego cujo impacto é a redução de até 4% na probabilidade de bloqueio experimentada pela rede, quando o tráfego é transformado para monofractal.

Dessa forma, a montagem da rajada pode ser realizada ajustando-se os parâmetros  $t$  ou  $b$  de acordo com os valores calculados de  $\Delta$  e  $\lambda$ , garantindo-se, assim, a transformação do tráfego para monofractal. Para o cálculo de  $\Delta$ , o método calcula $\Delta$  descrito pelo Algoritmo 1 pode ser utilizado. A taxa de transmissão das fontes pode ser obtida através de acordos de nível de serviço (do inglês SLA - *Service Level Agreement*).

### 5.1. Algoritmos de montagem de rajadas usando técnicas *composite*

O problema de montagem de rajadas passa a ser mais desafiador quando restrições temporais são introduzidas no processo de montagem, ou seja, se obrigatoriamente o tempo de montagem das rajadas tiver que ser menor do que a escala limitante. Dessa forma, o simples ajuste de  $t$  ou  $b$  para acima da escala limitante, pode causar um efeito negativo nas aplicações cujo tráfego está sendo transportado. Este cenário pode ser comum quando a rede deve transportar tráfego com requisitos de QoS.

Considere um conjunto de  $N$  classes de serviço. Cada uma das classes possui um requisito temporal  $D_i$  que é o atraso máximo fim-a-fim permitido para que os pacotes pertencentes à classe  $i$  sejam adequadamente entregues ao destino.

Em uma rede OBS,  $D_i$  pode ser expresso da seguinte forma:

$$D_i = \alpha_i + T_i + d_i(b) \quad (10)$$

onde  $T_i$  é o tempo de ajuste usado na classe  $i$ ,  $d_i$  é o fator que considera o tempo de propagação e transmissão de uma rajada de tamanho  $b$  da classe  $i$  e  $\alpha_i$  é o tempo máximo gasto no processo de montagem. Seja  $t_i$  o tempo de montagem,  $b_i$  o limiar de bytes e  $\lambda_i$  a taxa média de chegadas de pacotes (expressa em bytes por segundo) da classe  $i$ . Tem-se a seguinte relação  $\alpha_i = t_i$  ou  $\alpha_i = \frac{b_i}{\lambda_i}$  dependendo do montador utilizado.

Novamente, se  $\forall_i, \alpha_i > \Delta$  o montador pode ajustar  $t_i$  ou  $b_i$  para a produção das rajadas com tráfego monofractal. Entretanto, se  $\exists_i, \alpha_i < \Delta$  então a transformação do tráfego só é possível através do envio de rajadas mistas (contendo pacotes de diferentes classes).

Considerando uma rede OBS cujas rajadas possuem um tamanho mínimo  $s$  e um tamanho máximo  $S$ . É possível, determinar através da Equação 9, para valores fixos de  $\lambda_i$  e  $\Delta$  qual o tamanho  $\beta$ , ( $s \leq \beta \leq S$ ) que as rajadas devem possuir de forma que haja transformação no tráfego.

Seja  $N$  o conjunto das classes de serviço,  $N'$  um subconjunto de  $N$  contendo classes que possuem pacotes nas filas de transmissão, e seja  $p_i$  a prioridade da classe  $i$  de forma que  $p_0 > p_1 > \dots > p_n$ . Seja, também,  $Q_i$  a fila de pacotes da classe  $i$  e  $|R|$  o tamanho da rajada sendo montada. Assume-se que a escala limitante do fluxo multifractal ( $\Delta$ ) e a taxa média de chegadas de pacotes da classe  $i$ ,  $\lambda_i$ , são conhecidos. A partir daí,  $\beta$  é determinado.

Uma forma de criar rajadas mistas seria através de uma política de escalonamento *round-robin* para preenchimento do tamanho da rajada. Assim, quando um limiar ( $t_i$  ou  $b_i$ ) da classe  $i$  é alcançado, cria-se uma rajada contendo todos os pacotes da classe  $i$ . Caso o tamanho seja inferior a  $\beta$  os pacotes disponíveis da classe  $i + 1$  são adicionados, e assim sucessivamente até que a rajada tenha tamanho pelo menos igual a  $\beta$ . Detalha-se o processo de montagem no Algoritmo 2.

---

#### **Algoritmo 2** Round-Robin (RR)

---

##### **ENTRADA**

Escala limitante  $\Delta$ ,  $t_i$  (ou  $b_i$ ) e  $\lambda_i$

##### **SAÍDA**

Rajada de dados com tamanho  $\beta$

##### **Round-Robin**

- 1: Calcule  $\beta$ , a partir da expressão 9
  - 2: **while**  $Q_i$  **do**
  - 3:      $R \leftarrow R \cup \text{head}(Q_i)$
  - 4: **if**  $|R| < \beta$  **then**
  - 5:      $j \leftarrow (i + 1) \bmod N'$
  - 6:     **while**  $|R| < \beta$  **do**
  - 7:         **while**  $Q_j$  **do**
  - 8:              $R \leftarrow R \cup \text{head}(Q_j)$
  - 9:          $j \leftarrow (i + 1) \bmod N'$
- 

O escalonamento *round-robin* pode não priorizar o atendimento de classes com

mais alta prioridade. Dessa forma, ao colocar os pacotes da classe  $i + 1$  após os pacotes da classe  $i$ , a classe de mais alta prioridade pode ser prejudicada. Para contornar essa situação, as classes de mais alta prioridade devem ser servidas prioritariamente. Para tal, é introduzido um algoritmo, doravante denominado *High Priority First (HPF)*, que opera da seguinte forma: quando um limiar ( $t_i$  ou  $b_i$ ) da classe  $i$  é alcançado, a rajada é criada contendo todos os pacotes da classe  $i$ . Caso o tamanho da rajada seja inferior a  $\beta$ , a mesma é completada com os pacotes disponíveis da classe de mais alta prioridade, e assim sucessivamente até que a rajada tenha tamanho pelo menos igual a  $\beta$ .

Se o tráfego oriundo das classes de mais alta prioridade for sempre intenso, as classes de mais baixa prioridade podem simplesmente não ser atendidas pelo HPF. No terceiro algoritmo, denominado *Proportional (PP)* esse problema é resolvido da seguinte forma: quando um limiar ( $t_i$  ou  $b_i$ ) da classe  $i$  é alcançado, a rajada é criada contendo todos os pacotes da classe  $i$ . Caso o tamanho da rajada seja inferior a  $\beta$  a rajada é completada com pacotes de todas as classes que possuem pacotes em suas filas de montagem até que a rajada alcance tamanho pelo menos igual a  $\beta$ . O número de pacotes em cada classe é proporcional a ocupação da classe na fila.

Introduz-se, também, um algoritmo denominado *Fully Proportional (FPP)* que opera da seguinte forma: quando um limiar ( $t_i$  ou  $b_i$ ) da classe  $i$  é alcançado, a rajada de tamanho maior do que  $\beta$  é criada contendo, pacotes de todas as classes que possuem pacotes em suas filas de montagem em proporção a sua ocupação na fila. A operação do algoritmo FPP é detalhada no Algoritmo 3.

---

### Algoritmo 3 Fully proportional (FPP)

---

#### ENTRADA

Escala limitante  $\Delta$ ,  $t_i$  (ou  $b_i$ ) e  $\lambda_i$

#### SAÍDA

Rajada de dados com tamanho  $\beta$

#### Fully proportional

- 1: Calcule  $\beta$ , a partir da expressão 9
  - 2:  $F \leftarrow \lceil \beta / (N') \rceil$
  - 3: **while**  $Q_i$  **do**
  - 4:      $R \leftarrow R \cup \text{head}(Q_i)$
  - 5: **if**  $|R| < \beta$  **then**
  - 6:      $X \leftarrow (\beta - |R|)$
  - 7:      $F' \leftarrow \lceil X / (N' - 1) \rceil$
  - 8:      $j \leftarrow \text{max}_u \text{nused}(N)$
  - 9:      $l \leftarrow 0$
  - 10:    **while**  $|R| < \beta$  **do**
  - 11:       **while**  $(Q_j) \wedge (l < F)$  **do**
  - 12:            $R \leftarrow R \cup \text{head}(Q_j)$
  - 13:            $l++$
  - 14:        $l \leftarrow 0$
  - 15:      $j \leftarrow \text{max}_u \text{nused}(N)$
-

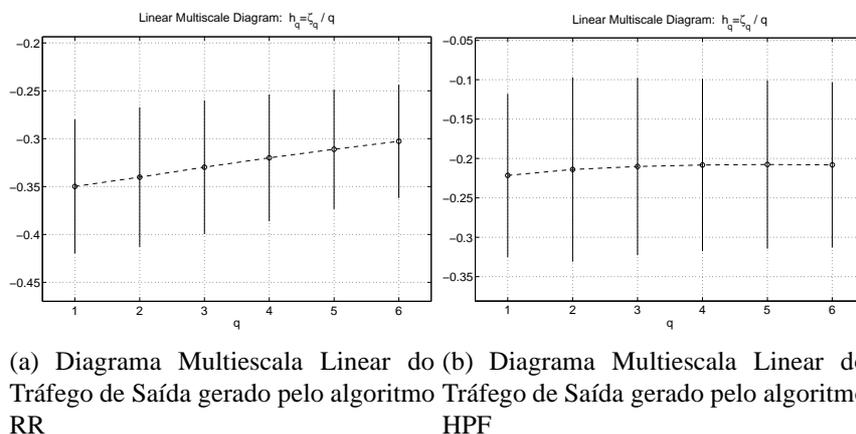
## 6. Análise de Mudança de Escala

A fim de avaliar os mecanismos propostos e verificar a ocorrência de mudanças nas propriedades estatísticas do tráfego, experimentos de simulação foram realizados usando o simulador NS-2. Nos experimentos, um nó OBS de borda é alimentado com tráfego IP multifractal. A geração do tráfego é realizada através de traços de tráfego real que tiveram a ocorrência de multifractalidade verificada através dos métodos diagrama multiescala e diagrama multiescala linear. Os traços de tráfego são idênticos aos usados nos experimentos descritos em [Figueiredo et al. 2006, Figueiredo et al. 2007]. Os resultados apresentados aqui são referentes ao traço MEM-1111679715.

**Tabela 1. Expoente de Holder do tráfego multifractal**

Trace	Media	Var	I.C.
MEM-1111247410	0.695	0.0085	0.01
MEM-1111679715	0.758	0.008	0.031
MEM-1112013766	0.72	0.009	0.005
ANL-1111548257	0.726	0.03	0.007
TXS-1113503155	0.89	0.0408	0.03

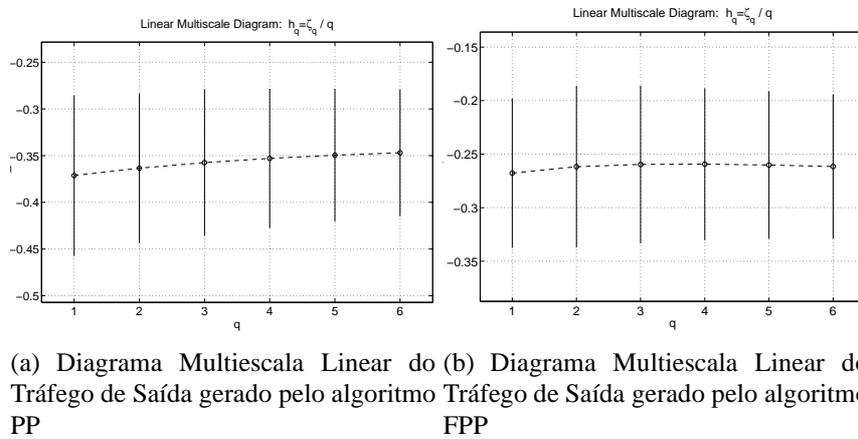
O expoente de Holder para os traços foram calculados de acordo com o procedimento apresentado em [Cavanaugh et al. 2003]. A Tabela 1 mostra a média e a variância do expoente de Holder, bem como o intervalo de confiança usado para o cálculo da média. Estes valores serão usados como referência na comparação com os valores do expoente de Holder encontrados no tráfego de saída do montador.



**Figura 3.** Diagrama Multiescala Linear do Traço de saída produzidos pelos algoritmos RR e HPF

As Figuras 3 e 4 mostram o diagrama multiescala linear para os algoritmos RR, HPF, PP e FPP, respectivamente. Percebe-se pelo alinhamento horizontal do diagrama que todos os algoritmos avaliados são capazes de provocar alterações nas propriedades estatísticas do tráfego.

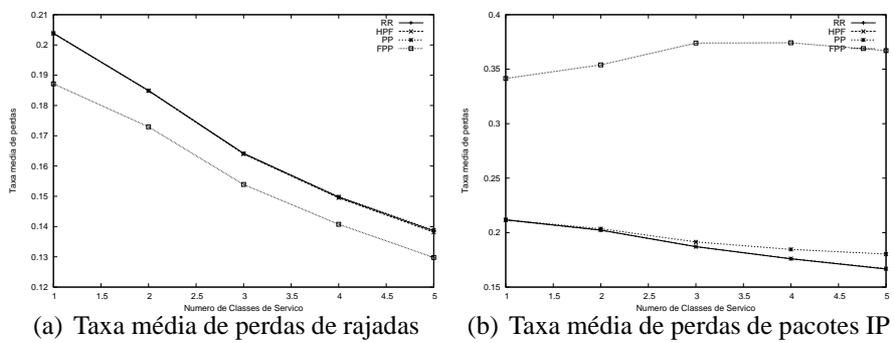
A Tabela 2 apresenta os valores do parâmetro de Hurst do tráfego monofractal de saída. Percebe-se através da comparação entre as Tabelas 1 e 2 que todos os algoritmos provocam suavização do tráfego.



**Figura 4.** Diagrama Multiescala Linear do Traço de saída produzidos pelos algoritmos PP e FPP

**Tabela 2.** Parâmetro de Hurst do Tráfego Monofractal de Saída

Algoritmo	Hurst
RR	0.685
HPF	0.638
PP	0.641
FPP	0.781

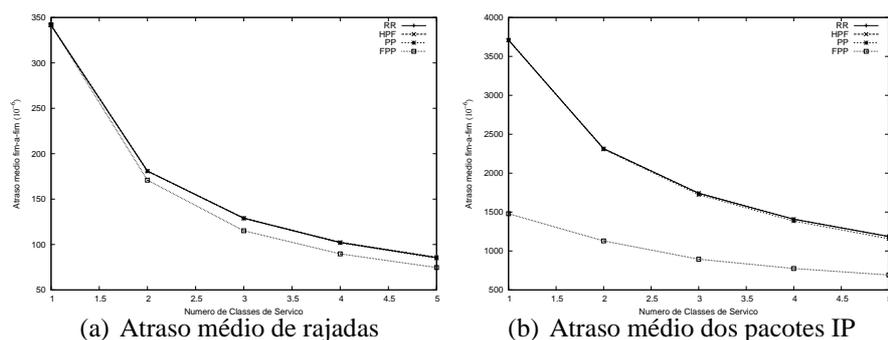


**Figura 5.** Taxa de perda média agregada

A Figura 5 apresenta a taxa média de perdas de rajadas (a) e a taxa de perdas de pacotes IP (b), em função do número de classes de serviço. A taxa média de perdas indica como o algoritmo de montagem impacta conjuntamente em todas as classes de serviço. Assim, ela é calculada para um dado algoritmo de montagem como a soma das perdas ocorridas em todas as classes, dividida pelo número de classes de serviço.

Dois pontos destacam-se na análise da Figura 5: o primeiro ponto é que os algoritmos RR, HPF e PP produzem taxas de perdas, tanto de pacotes quanto de rajadas, estatisticamente equivalentes. O segundo ponto, é que o algoritmo FPP produz taxa de perdas de rajada levemente inferior à produzida pelos demais algoritmos quando se avalia a perda de rajadas e superior aos demais algoritmos quando se avalia taxa de perdas de pacotes. Isto acontece pois o algoritmo FPP produz rajadas contendo um número maior de pacotes IP.

Percebe-se na Figura 5 (a), que a medida que aumenta-se o número de classes, a taxa de perdas de rajadas é reduzida. Isto pode ser explicado pelo fato de que à medida em que novas classes de serviço são introduzidas, aumenta-se o tamanho médio das rajadas, fazendo com que o tráfego de rajadas no núcleo da rede seja menor. O comportamento quase constante na Figura 5 (b) mostra que o número de pacotes transmitidos não se altera.



**Figura 6. Atraso médio agregado**

A Figura 6 apresenta o atraso médio produzido pelos algoritmos em questão. A Figura 6 (a) apresenta o atraso médio das rajadas dentro da rede OBS. Percebe-se que o algoritmo FPP produz um atraso médio inferior aos demais, indicando assim que o período de montagem de rajadas no algoritmo FPP é menor do que os demais, o que se reflete no atraso médio dos pacotes IP (Figura 6 (b)).

A Figura 7 mostra a vazão produzida pelos algoritmos em questão. Por produzir rajadas com tamanho maior, um número menor de rajadas é produzido pelo algoritmo FPP, o que é refletido numa menor vazão em rajadas (Figura( 7(a))). Além disso, a vazão de pacotes IP (Figura( 7(b))) produzida pelo algoritmo FPP é também inferior aos demais, dado que seu volume de perdas de pacotes IP é maior.

## 7. Conclusões

A tecnologia de redes OBS é considerada como uma das principais candidatas a ser usada para a efetivação de uma Internet puramente óptica. Entretanto, para que o transporte do tráfego IP seja realizado com sucesso, os mecanismos da rede devem estar ajustados às características do tráfego transportado.

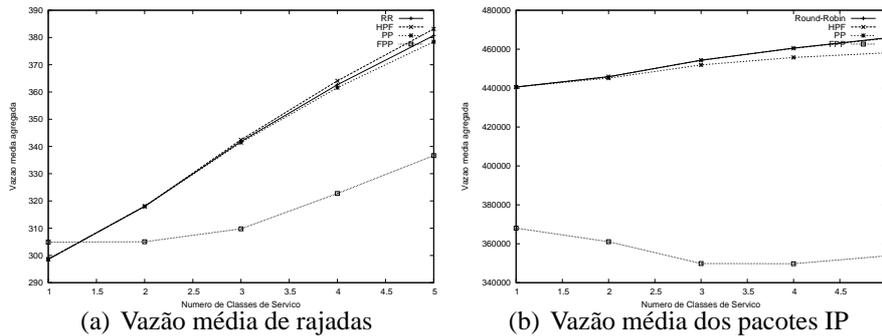


Figura 7. Vazão média agregada

Neste artigo introduziu um método numérico para identificação da escala limitante de fluxos multifractais. Tal escala pode ser usada para ajustar os montadores de rajadas das redes OBS, de forma que o tráfego produzido seja monofractal. Além disso, algoritmos de montagem de rajadas capazes de suavizar o tráfego foram também apresentados.

Como trabalhos futuros, sugere-se a análise da capacidade dos algoritmos propostos de garantir a qualidade de serviço das aplicações.

## Referências

- Abry, P., Baraniuk, R., Flandrin, P., Riedi, R., and Veitch, D. (2002). The multiscale nature of network traffic: Discovery, analysis, and modelling. *IEEE Signal Processing Magazine*, 19:28–46.
- Cavanaugh, J. E., Wang, Y., and Davis, J. W. (2003). Self-similar processes and their wavelet analysis. *Handbook of Statistics 21: Stochastic Processes*, Elsevier.
- Erramilli, A., Narayan, O., Neidhart, A., and Sanjeev, I. (2001). Multi-scaling models of TCP/IP and sub-frame VBR video traffic. *Journal of Communications and Networks*, 3:383–395.
- Figueiredo, G. B., Melo, C. A. V., Fonseca, N. L. S., and Salvador, M. R. (2006). On the transformation of multifractal traffic at ingress optical burst switches. In *IEEE ICC*, pages 1040–1045.
- Figueiredo, G. B., Melo, C. A. V., Fonseca, N. L. S., and Salvador, M. R. (2007). Transformação de tráfego em redes Ópticas em rajadas. In *XXV SBRC*.
- Ge, A., Callegati, F., and Tamil, L. S. (2000). On optical burst switching and self-similar traffic. *IEEE Communications Letters*, 4:98–100.
- Hu, G., Dolzer, K., and Gauger, C. (2003). Does burst assembly really reduce the self-similarity? In *Optical Fiber Communications Conference (OFC)*, pages 124–126.
- Izal, M. and Aracil, J. (2002). On the influence of self-similarity on optical burst switching traffic. In *GLOBECOM*, volume 3, pages 2308–2312.
- Vieira, F. H. T. (2006). *Contribuições ao cálculo da banda e probabilidade de perda para tráfego multifractal em redes*. PhD thesis, UNICAMP.
- Yu, X., Chen, Y., and Qiao, C. (2002). Study of traffic statistics of assembled burst traffic in optical burst switched networks. In *Opticomm*, pages 149–159.