

O Impacto do Algoritmo de Montagem de Rajadas Baseado em Janelas de Tempo no Tráfego Multifractal

Gustavo B. Figueiredo, Cesar A. V. Melo, Nelson L. S. da Fonseca e Marcos R. Salvador

Resumo—Este artigo apresenta estudos mostrando o impacto dos mecanismos de montagem de rajadas presentes nas redes OBS, nas propriedades estatísticas do tráfego. Verifica-se que tais características podem ser alteradas em função dos valores escolhidos para o tempo de montagem das rajadas.

Palavras-Chave—Redes OBS, multifractalidade, algoritmos de montagem de rajadas.

Abstract—This paper presents a study showing the impact of burst assembly mechanisms of the OBS networks on the statistical properties of the network traffic. It is shown that such statistics can be changed depending on which values are chosen to the burst assembly timer.

Keywords—OBS Networks, multifractality, burst assembly algorithms

I. INTRODUÇÃO

A demanda cada vez maior por largura de banda tem levado a implantação de uma Internet de nova geração, com *backbones* com alta capacidade de transmissão baseados em WDM (*Wavelength Division Multiplexing*).

Para explorar de forma eficaz as altas taxas de transmissão disponibilizadas pela tecnologia WDM na Internet, é necessário o uso de um paradigma de transmissão flexível capaz de se adequar às flutuações do tráfego da rede e assim, usar de forma eficiente os recursos da rede. Nesse sentido, a melhor escolha seria a utilização de *Optical Packet Switching* (OPS), o que não é viável devido a sua imaturidade tecnológica. Por outro lado, a comutação de circuitos ópticos pode apresentar uma utilização ineficiente dos recursos da rede, sobretudo em redes de tráfego com natureza em rajada como é o caso da Internet.

Dessa forma, as escolhas recaem na comutação de rajadas ópticas (*Optical Burst Switching* (OBS)). Nas redes OBS, os pacotes IP são agrupados em unidades de transmissão maiores denominadas rajadas que são transmitidas precedidas de um pacote de controle que sinaliza, entre outras coisas, o momento em que os recursos devem ser reservados. O processo de reserva de recursos é feito em uma via, o que indica que o transmissor não necessita aguardar confirmação por parte do receptor antes de enviar as rajadas. Se não houver recursos disponíveis no momento da transmissão, a rajada é sumariamente descartada.

Gustavo B. Figueiredo, Cesar A. V. Melo e Nelson Luis Saldanha da Fonseca, Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, E-mails: gustavo@ic.unicamp.br, cavneto@ic.unicamp.br, nfonseca@ic.unicamp.br. Marcos R. Salvador, CPqD, E-mail: marcosrs@cpqd.com.br

O fato de o transmissor não esperar confirmação por parte do receptor para a transmissão das rajadas, implica na necessidade de um dimensionamento adequado da rede, sob pena de alta probabilidade de bloqueio de rajadas. Assim, um dos parâmetros de maior interesse no dimensionamento de redes OBS é a quantidade de canais por fibra, o que se reflete em última instância em maior capacidade de oferecimento de garantias de QoS.

Usualmente [1], [2], é assumido que o processo de chegada de rajadas é Poisson e a distribuição do tamanho das rajadas é exponencial negativa ou hipergeométrica. Dessa forma, a utilização dos nós pode ser modelada como um processo de nascimento-e-morte e expressões para o dimensionamento da rede podem ser obtidas através da bem conhecida fórmula de Erlang. Contudo, o tráfego Internet traz dependências de longa duração, o que torna a premissa de que o processo de chegadas segue a distribuição de Poisson pouco realista.

Recentemente, alguns trabalhos investigando a interação mútua entre auto-similaridade do tráfego e as redes OBS foram publicados [3], [4], [5] considerando características monofractais do tráfego. Entretanto, pesquisas recentes mostram que apesar do tráfego Internet apresentar tais características monofractais em grandes escalas de tempo, em pequenas escalas de tempo ele apresenta características multifractais que não foram levadas em consideração nos estudos realizados.

Além disso, o uso de um modelo monofractal na caracterização de um tráfego multifractal, pode provocar uma subutilização dos recursos da rede, já que modelos de tráfego baseados em processos monofractais tendem a superestimar o comportamento do tráfego multifractal. Isto acontece porque numa modelagem monofractal, a explosividade do tráfego é determinada pelo parâmetro de Hurst, que tem valor constante nas escalas de tempo em que o tráfego é avaliado. Contudo, o parâmetro de Hurst é uma medida de explosividade global que desconsidera o comportamento local do tráfego, em especial do tráfego com estatísticas multifractais [6].

Desde que em redes OBS os pacotes IP são agrupados em rajadas e que obviamente todos os pacotes pertencentes a uma mesma rajada são transmitidos juntos, é possível que haja mudanças nas estatísticas do tráfego nas mais diversas escalas de tempo, tornando possível uma mudança de comportamento de tal tráfego.

Assim, a verificação e o entendimento da natureza dessas mudanças é de fundamental importância para que modelos de tráfego adequados sejam adotados no dimensionamento de redes OBS, evitando o super/subdimensionamento dos recursos

das mesmas. Neste sentido, o presente trabalho apresenta sua principal contribuição que é a análise do impacto das redes OBS na multifractalidade, mais especificamente do processo de montagem de rajadas nas estatísticas do tráfego Internet.

O algoritmo de montagem de rajadas considerado nos estudos é o baseado em temporização. Foram realizados estudos para verificar o impacto do uso de um tempo de montagem abaixo da escala de tempo limite do tráfego, que é a escala de tempo em que o tráfego deixa de apresentar características multifractais e passa a apresentar características monofractais, no tráfego da rede. No estudo, constatou-se que o processo de montagem de rajadas produz mudanças no comportamento estatístico do tráfego a depender do tempo de montagem de rajadas utilizado e do tipo de tráfego a que a rede está sendo submetida.

O trabalho está organizado da seguinte forma. A seção II apresenta o processo de montagem de rajadas nas redes OBS. A seção III apresenta uma definição de multifractalidade e como essas características podem ser observadas. A seção IV investiga o impacto causado no tráfego Internet multifractal pelo processo de montagem de rajadas das redes OBS e a seção V traz as conclusões e considerações finais.

II. PROCESSO DE MONTAGEM DAS RAJADAS NAS REDES OBS

Uma rede OBS é dividida em nós de núcleo e nós de borda. Enquanto os nós de borda são responsáveis apenas pela reserva dos recursos e escalonamento dos canais para as rajadas, os nós de borda são responsáveis também pela montagem e escalonamento das rajadas.

Cada nó mantém filas onde os pacotes IP provindos das portas de entrada são armazenados. A quantidade de filas mantida em cada nó depende dos critérios adotados para a montagem das rajadas. Um nó pode, por exemplo, usar uma fila para cada classe de serviço ou uma fila para cada destino da rede. A Figura 1 ilustra a arquitetura básica de uma rede OBS, enfatizando um nó de borda com duas filas.

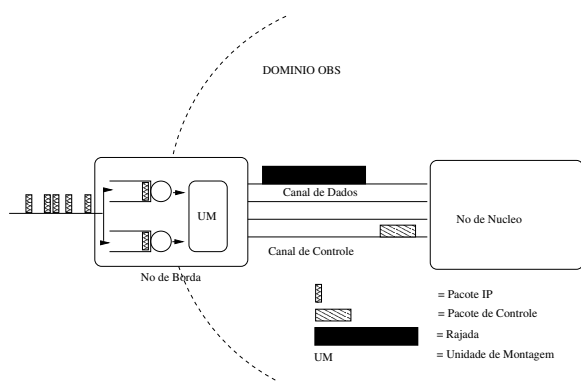


Fig. 1. Domínio OBS.

Quando uma determinada condição é satisfeita, uma rajada é montada e transmitida após um pacote de controle associado com a mesma.

TABELA I
PARÂMETROS SUGERIDOS POR [7] PARA A UNIDADE DE MONTAGEM DE RAJADAS

Classe de Serviço	Tam. min	Tam. Max	δ
EF	5KB	5KB	4.8ms
AF	30KB	50KB	55ms
BE	125KB	125KB	600ms

A. Algoritmos de Montagem de Rajadas

A montagem das rajadas pode obedecer diversos critérios. Em [7], o critério de montagem das rajadas depende da classe de serviço dos pacotes, do tamanho máximo permitido de cada rajada e do tempo máximo de montagem de cada uma. Já em [8] uma rajada é criada contendo pacotes de várias classes de serviço. Os pacotes são posicionados na rajada em ordem decrescente de prioridade, dessa forma, na iminência de uma colisão, a parte de menor prioridade pode ser descartada sem que haja perda completa da rajada. Nesse caso, o critério de montagem das rajadas depende do número de classes em questão, da quantidade máxima de pacotes de cada classe que pode ser colocada em uma rajada, e tempo de montagem das rajadas.

Apesar da possibilidade de uso de diferentes critérios na montagem das rajadas, dois critérios podem ser considerados como peças fundamentais da maioria dos algoritmos de montagem de rajadas que são o tempo máximo de montagem das rajadas [3] e o tamanho máximo permitido de cada rajada [9].

No primeiro algoritmo, denominado aqui de algoritmo baseado em janelas de tempo, pacotes IP provindos das portas de entrada são colocados em diferentes filas à espera da montagem da rajada. Quando o primeiro pacote de uma dada fila é armazenado, um temporizador é iniciado. Quando o temporizador expira após um tempo δ , uma rajada é criada e enviada. Em redes operacionais, o tempo de montagem de rajadas depende dos requisitos temporais de QoS das classes de tráfego envolvidas. Obviamente, quanto mais restrito o requisito temporal menor será o tempo de montagem de rajadas, evitando assim que pacotes sofram grandes retardos no processo de montagem. Os valores típicos costumam variar de 1ms [10] a 600ms [7]. Os parâmetros da unidade de montagem de rajadas sugeridos por [7] são apresentados na Tabela I.

No segundo algoritmo, um contador de pacotes é mantido para cada fila. Quando o número de pacotes alcança um limite pré-estabelecido, a rajada é criada e enviada. A utilização do primeiro critério implica na possibilidade de existência de rajadas de tamanho variável. Já com o segundo critério, somente rajadas de tamanho fixo são permitidas.

III. A NATUREZA MULTIFRACTAL DE TRAÇOS DE TRÁFEGO IP

Um processo auto-similar(monofractal) $X(t)$ de ordem q apresenta momentos estatísticos definidos por[12]:

$$E|X(t)|^q = E|X(1)|^q \cdot |t|^{qH} \tag{1}$$

onde, H é o parâmetro Hurst. Esta definição dos momentos estatísticos de um processo monofractal $X(t)$ impõe a

restrição de uniformidade nas variações (explosividade) de $X(t)$ em diferentes instantes de tempo, ou seja, assume-se que o processo possui explosividade uniforme, medida por H , em diferentes instantes de tempo. Um processo multifractal não apresenta a restrição de uniformidade nas suas variações e tem seus momentos estatísticos definidos por [12]:

$$E|X(t)|^q = E|X(1)|^q \cdot |t|^{\zeta(q)} \quad (2)$$

onde, $\zeta(q)$ é a função cascadeamento. Esta função apresenta um comportamento não-linear para os diferentes momentos q , o que caracteriza a ocorrência de multifractalidade.

No domínio wavelet, a relação estabelecida na Equação 2, é definida da seguinte forma:

$$E|d_X(j, k)|^q \approx 2^{j\zeta(q)} \quad j \rightarrow -\infty \quad (3)$$

onde, $d_X(j, k)$ é a série de incrementos (detalhes) obtidos pela decomposição do processo $X(t)$ usando a transformada wavelet discreta. A função cascadeamento $\zeta(q)$ é definida por:

$$\zeta(q) = \alpha_q - \frac{q}{2} \quad (4)$$

onde, α_q é chamado de expoente de cascadeamento (do inglês *scaling exponent*). Este expoente tem o seu valor relacionado à explosividade do tráfego, que no caso de processos multifractais varia para os diferentes momentos estatísticos q .

Em [12], descreve-se um método, chamado de diagrama multiescala (do inglês *Multiscale Diagram-MD*), para se determinar a ocorrência de multifractalidade em um processo. Este método consiste em verificar o comportamento da função $\zeta(q)$ em relação aos momentos estatísticos q . Caso a função $\zeta(q)$ apresente um comportamento não-linear tem-se, então, constatada a ocorrência de multifractalidade no processo avaliado.

A estimativa dos valores da função $\zeta(q)$ requer a determinação do expoente de cascadeamento α_q , conforme definido pela Equação 4. A estimativa de α_q é realizada através do método diagrama logescala (do inglês *Logscale Diagram-LD*) do q -ésimo momento. Neste método, α_q é definido pela inclinação de uma reta que se aproxima da curva gerada pela relação entre μ_j e 2^j em um escala logarítmica. O valor de μ_j é dado por:

$$\mu_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} |d_X(j, k)|^q \approx E|d_X(j, k)|^q$$

onde, n_j é número de detalhes $d_X(j, \cdot)$, na escala de tempo j , gerados pela decomposição de $X(t)$, usando-se uma transformada wavelet discreta.

A. Avaliação Experimental da Multifractalidade de Fluxos IP

Os traços de tráfego real usados nos experimentos de simulação realizados neste artigo tiveram a ocorrência de multifractalidade verificada através dos métodos diagrama multiescala. Os traços usados nessa avaliação são de domínio público e contêm o registro do tráfego de redes operacionais no período de 2003 a 2005. Esses traços foram obtidos no sítio NLANR (www.nlanr.net) e registraram o tráfego em pontos de

TABELA II
TRAÇOS DE TRÁFEGO REAL UTILIZADOS

Traço	Data	Pacotes	Ponto de Agregação
MEM-1053844177	24/05/2003 23:54	220904	Univ. de Memphis
MEM-1054459191	01/06/2003 2:54	266708	Univ. de Memphis
MEM-1111247410	19/03/2005 07:56	75122	Univ. de Memphis
MEM-1111679715	22/03/2005 14:10	156327	Univ. de Memphis
MEM-1112013766	28/03/2005 04:49	70259	Univ. de Memphis
ANL-1111548257	22/03/2005 20:11	42420	Lab. Nac. Argone
TXS-1113503155	14/04/2005 2:54	266708	Univ. do Texas

agregação das redes vBNS e Internet2 ABILENE. A Tabela II mostra as características desses traços com o registro do tráfego tendo sido realizado com a precisão de microssegundos.

As Figuras 2 e 3 mostram os resultados das análises realizadas para identificar a presença de multifractalidade nos traços descritos na Tabela II. Nestas figuras, mostra-se o comportamento da função cascadeamento definida a partir de uma análise multifractal. O tráfego nos traços MEM-1053844177 e MEM-1054459191 foi agregado em intervalos γ de 1ms, gerando-se as séries que foram avaliadas em escalas de tempo j , definida no intervalo [1, 4]. A análise multifractal do tráfego nos traços MEM-1053844177 e MEM-1054459191 mostra o comportamento não-linear da função $\zeta(q)$ caracterizando a sua natureza multifractal.

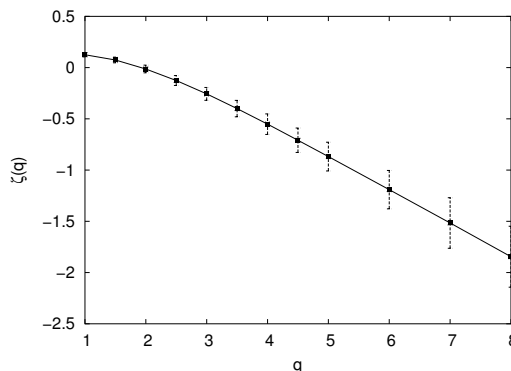


Fig. 2. Traços da NLANR (MEM-1053844177)

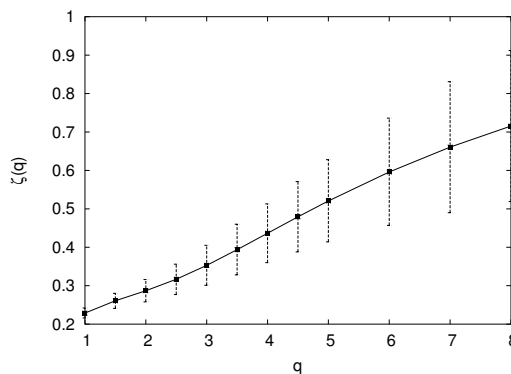


Fig. 3. Traços da NLANR (MEM-1054459191)

B. Quando a Natureza Multifractal do Tráfego se Manifesta

Nesta seção, mostra-se os resultados de um estudo realizado para identificar as escalas de tempo onde uma modelagem multifractal é pertinente. Uma medida (processo) apresenta estatísticas multifractais, especificamente explosividade não-uniforme, se suas variações não são dominadas por uma constante, o parâmetro Hurst. Dessa forma, em uma escala logarítmica, a curva obtida ao se observar a relação entre os momentos estatísticos e as escalas de tempo (Δ), definida a partir da Equação 2, deve apresentar um comportamento não-linear, se o processo apresentar explosividade não-uniforme.

Nas Figuras 4 e 5 mostram-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 Δ indicam o número de realizações do processo original $X(t)$ que é usado para gerar uma realização do processo agregado $X^{(\Delta)}(t)$. Podem-se destacar dois comportamentos ao se observar as curvas na Figura 4. O primeiro é o comportamento não-linear das curvas, principalmente quando a escala de tempo (Δ) 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 $\Delta = 3$.

Na Figura 5 mostram-se os resultados obtidos com a análise realizada no traço MEM-1053844177. Verifica-se que as curvas apresentam comportamento similar ao verificado na análise realizada com a medida multifractal, ou seja, as curvas não apresentam convergência para um valor específico e, principalmente, têm um comportamento não-linear. A não linearidade das curvas é destacada pela ocorrência da escala limitante (do inglês *cutoff scale*), conforme definição em [11], com uma mudança brusca no comportamento das curvas. Na análise do traço de tráfego MEM-1053844177 a escala limitante é igual a 6ms. Uma modelagem multifractal é então pertinente somente em escalas de tempo menores que a escala limitante, onde se verifica uma não linearidade das curvas, o que caracteriza a ocorrência de multifractalidade.

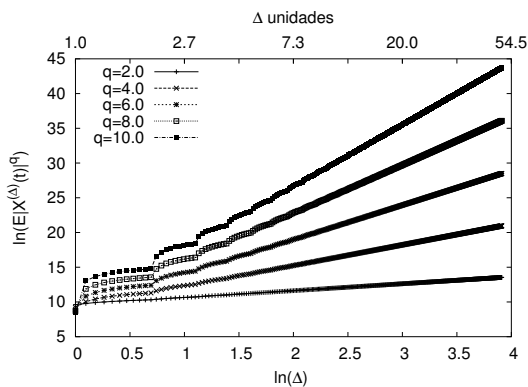


Fig. 4. A escala de tempo limite: Medida multifractal

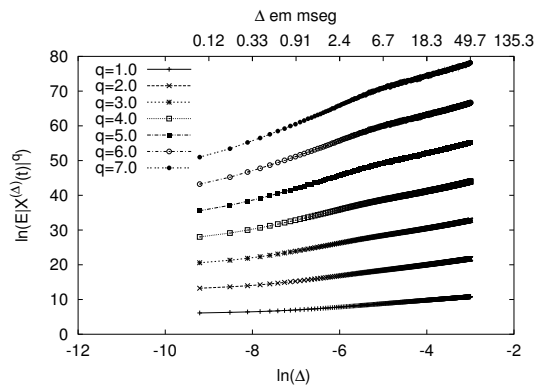


Fig. 5. A escala de tempo limite do traço MEM-1053844177

TABELA III
TRAÇOS DE TRÁFEGO REAL USADOS NAS SIMULAÇÕES

Traço	Agregação	Δ	$\delta > \Delta$	$\delta < \Delta$
MEM-1111247410	0.1ms	3.3ms	4ms	1ms
MEM-1111679715	0.1ms	5.4ms	6ms	3ms
MEM-1112013766	0.1ms	3.0 ms	4ms	1ms
ANL-1111548257	0.1ms	2.7ms	3ms	1ms
TXS-1113503155	0.02ms	1.3ms	2ms	1ms

IV. ANÁLISE DO TRÁFEGO

Para avaliar o impacto do processo de montagem de rajadas sobre a multifractalidade do tráfego, foram realizadas simulações usando o simulador NS-2. Nos experimentos de simulação, investigou-se o impacto do algoritmo de montagem de rajadas baseado em janelas de tempo [3] nas estatísticas do tráfego.

Nas simulações, um nó OBS de borda é alimentado com tráfego IP multifractal. Após o período (janela) de montagem δ , o nó OBS empacota as rajadas e transmite pela rede. O ponto de coleta das rajadas é nas portas de saída do nó OBS. Dessa forma, o efeito do processo de montagem das rajadas pode ser isolado e analisado.

Os cenários de simulação definidos para avaliar o impacto do processo de montagem das rajadas, são caracterizados pelo valor (δ) que se atribui à janela de montagem das rajadas. No primeiro cenário, o valor de δ é menor que o valor da escala de tempo limite (Δ) identificada nos traços de tráfego avaliados enquanto que, no segundo cenário, o valor de δ é maior que o valor de Δ .

Com estes cenários, pretende-se verificar a hipótese de que a montagem das rajadas em escalas de tempo inferiores ou superiores às escalas de tempo limite dos traços produz, na realidade, uma agregação do tráfego nessas escalas, causando assim mudança do comportamento do tráfego de saída em relação ao tráfego de entrada.

A Tabela III apresenta os traços utilizados nas simulações¹. O tráfego nos traços MEM-1111247410 e MEM-1111679715 foi agregado em intervalos γ de 0.1ms, gerando-se as séries utilizadas nas simulações, ao passo que o traço TXS-1113503155 foi agregado em intervalos γ de 0.02ms. A escala

¹Por limitação de espaço serão apresentados apenas os resultados dos traços MEM-1111247410, MEM-1111679715 e TXS-1113503155

de tempo limite (Δ) dos traços MEM-1111247410, MEM-1111679715 e TXS-1113503155 é de 3.3ms, 5.4ms e 1.3ms respectivamente.

A. Cenário 1: $\delta > \Delta$

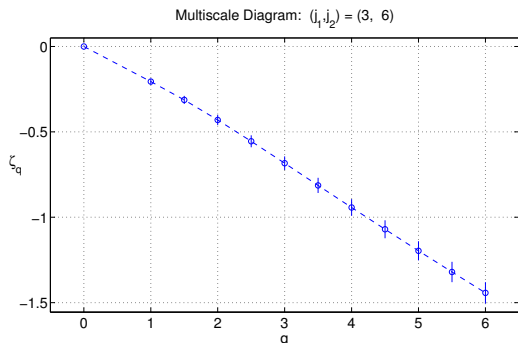


Fig. 6. Análise do traço MEM-1111247410

Na Figura 6 são apresentados os resultados da análise realizada no cenário de rede em que os valores definidos para a janela de montagem δ são maiores que o valor da escala de tempo limite identificada nos traços MEM-1111247410 (Figura 6), MEM-1111679715 (Figura 7) e TXS-1113503155 (Figura 8). Verifica-se comportamento similar em todos os gráficos, ou seja, a função cascatação ($\zeta(q)$) apresenta um comportamento linear para os diferentes momentos estatísticos q . Esse comportamento de $\zeta(q)$ caracteriza a ocorrência de estatísticas monofractais no tráfego. Disso conclui-se que a montagem das rajadas em escalas superiores à escala de tempo limite (Δ) de um tráfego multifractal produz uma mudança nas características estatísticas do tráfego resultante, com o mesmo apresentando características monofractais.

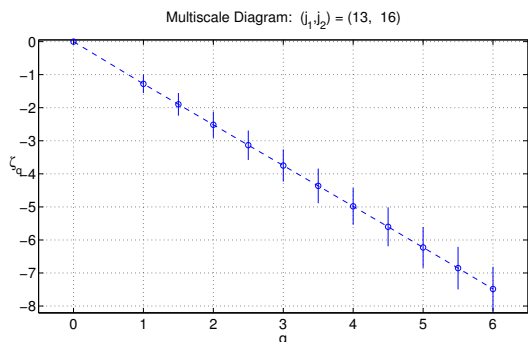


Fig. 7. Análise do traço MEM-1111679715

B. Cenário 2: $\delta < \Delta$

As Figuras 9, 10 e 11 mostram o resultado da análise do tráfego resultante da montagem das rajadas com δ menor que o valor da escala de tempo limite dos traços. Novamente, verifica-se que as curvas apresentam comportamento similar ao verificado na análise realizada com a medida multifractal, ou seja, as curvas não apresentam convergência para um valor específico e, principalmente, têm um comportamento não-linear, o que indica presença de multifractalidade. Pode-se

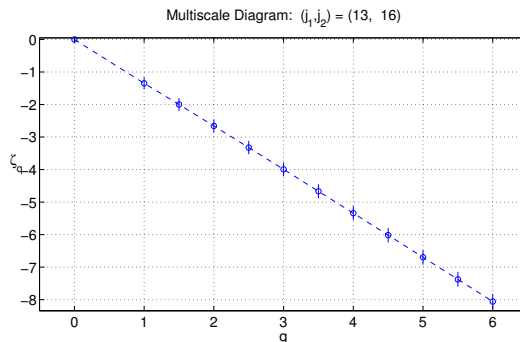


Fig. 8. Análise do traço TXS-1113503155

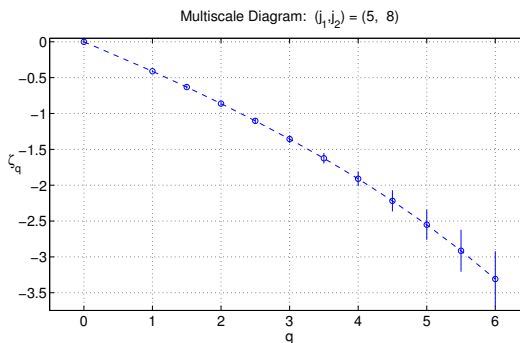


Fig. 9. Análise do traço MEM-1111247410 com tempo de montagem abaixo da escala de tempo limite

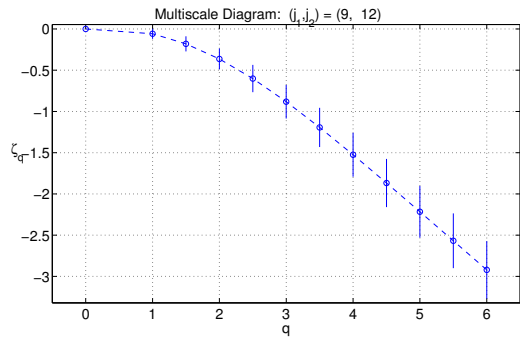


Fig. 10. Análise do traço MEM-1111679715 com tempo de montagem abaixo da escala de tempo limite

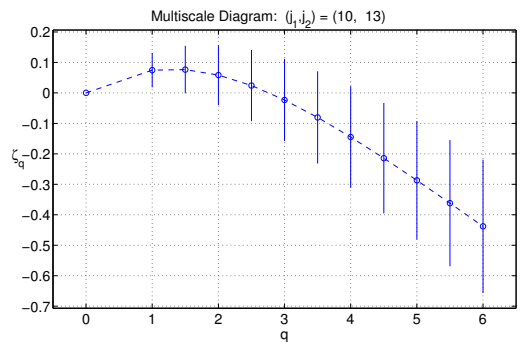


Fig. 11. Análise do traço TXS-1113503155 com tempo de montagem abaixo da escala de tempo limite

observar que a utilização de um δ menor que a escala de tempo limite (Δ) do tráfego produz um tráfego resultante com as mesmas propriedades estatísticas do original.

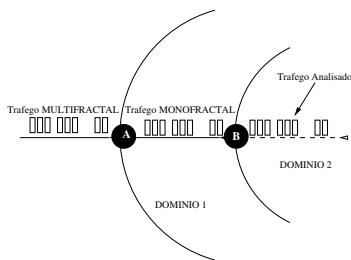


Fig. 12. Cenário de tráfego inter-domínios

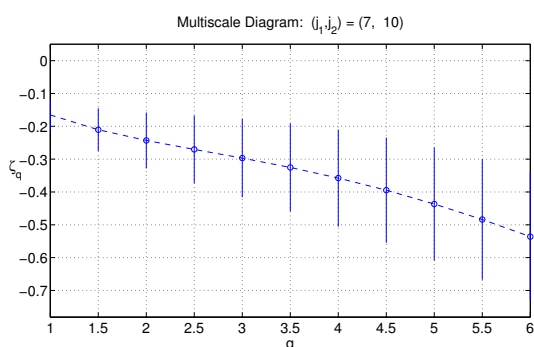


Fig. 13. Análise do traço MEM-1111247410 agregado em escala monofractal e tempo de montagem abaixo da escala de tempo limite

C. O impacto da montagem de rajadas no tráfego monofractal

Como visto no resultado da análise dos traços apresentados nas Figuras 6, 7 e 8 o uso de tempo de montagem maior que o valor da escala de tempo limite dos traços corresponde à agregação do tráfego multifractal em escalas em que o tráfego possui características monofractais, uma questão importante que dever ser respondida é: A agregação em escala menor que a escala de tempo limite (Δ) de um tráfego monofractal devido ao processo de montagem de rajadas produziria novamente um tráfego multifractal?

Para tentar responder a esta pergunta, utilizou-se o caso particular de um tráfego multifractal, transformado em monofractal pelo processo de montagem de rajadas com tempo δ maior a Δ .

A Figura 12 apresenta o cenário descrito na pergunta formulada anteriormente. Nesse cenário, um nó OBS "B" opera com uma janela de tempo de montagem de rajadas (δ) menor que o valor da escala de tempo limite do tráfego de entrada (Δ). O fluxo de tráfego que alimenta "B" apresenta estatísticas monofractais e é, um fluxo resultante do processo de montagem de rajadas em um outro nó OBS, dito "A", quando δ é maior que Δ .

A Figura 13 mostra o resultado da análise realizada quando o traço MEM-1111247410 alimenta o nó OBS "B", após ter sido transmitido pelo nó OBS "A", como descrito anteriormente. O comportamento não-linear da função castejamento ζ_q indica a presença de multifractalidade no tráfego analisado.

V. CONCLUSÕES

A verificação e o entendimento das mudanças causadas pelos mecanismos de montagem de rajadas das redes OBS é de fundamental importância na definição de modelos de tráfego que proporcionem o dimensionamento adequado dessa rede.

Este trabalho apresentou os resultados de avaliações realizadas para determinar o impacto nas estatísticas do tráfego causado pelo mecanismo de montagem de rajadas baseado em janelas de tempo [3] de redes OBS.

Mostrou-se que as alterações nas estatísticas do tráfego dependem do valor atribuído à janela de montagem das rajadas definida na rede OBS. Em outras palavras, se o tamanho da janela de montagem de rajadas for menor que o valor da escala de tempo limite verificada no tráfego, não ocorrerão modificações nas estatísticas do tráfego. Por outro lado, essas estatísticas são alteradas se o tamanho da janela de tempo de montagem for maior que a escala de tempo limite identificada no tráfego. Tomando-se os valores da janela de tempo de montagem de rajadas (δ), Tabela I, e os valores da escala de tempo limite (Δ), Tabela III, constata-se mudanças nas estatísticas do tráfego, que passam a apresentar natureza monofractal se a classe de serviço EF tivesse um padrão de tráfego similar ao apresentado pelo traço TXS-1113503155. Nesse sentido, o presente trabalho evidencia tal mudança de comportamento do tráfego, e as razões pelas quais esse fenômeno acontece.

Como trabalhos futuros, sugere-se a investigação do impacto de outros algoritmos de montagem de rajadas no comportamento do tráfego, bem como a interação com outros mecanismos presentes nas redes OBS como escalonadores de rajadas e políticas de QoS.

REFERÊNCIAS

- [1] K. Dolzer and C. Gauger and J. Spath and S. Bodamer, Evaluation of reservation mechanisms for optical burst switching, *Journal of High-Speed Networks*, v. 8, 1999.
- [2] M. Yoo and C. Qiao and S. Dixit, QoS performance of optical burst switching in ip over WDM networks, *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, v. 18, p. 2062-2071, Outubro, 2000.
- [3] A. Ge and F. Callegati and L. S. Tamil, On Optical Burst Switching and Self-Similar Traffic, *IEEE Communications Letters*, v. 4, p. 98-100, 2000.
- [4] M. Izal and J. Aracil, On the influence of self-similarity on optical burst switching traffic, *ver.*
- [5] G. Hu and K. Dolzer and C. Gauger, Does burst assembly really reduce the self-similarity?, *Anais do OFC 2003*.
- [6] C. A. V. Melo and N. L. S. da Fonseca, Envelope Process and Computation of the Equivalent Bandwidth of Multifractal Flows, *Computer Networks*, v. 48, p. 351-375, 2005.
- [7] K. Long and R. S. Tucker and C. Wang, A New Framework and Burst Assembly for IP Diffserv over Optical Burst Switching Networks, *Anais do GLOBECOM 2003*, p. 3159-3164, 2003.
- [8] V. Vokkarane and Q. Zhang and J. P. Jue and B. Chen, Generalized burst assembly and scheduling techniques for QoS support to optical burst-switched networks, *Anais do GLOBECOM 2002*.
- [9] X. Yu and Y. Chen and C. Qiao, Study of traffic statistics of assembled burst traffic in optical burst switched networks, *Anais do Opticomm 2002*, p. 149-159, 2002.
- [10] S. Gowda and R. K. Shenai and K. M. Sivalingam and H. C. Cankaya, Performance Evaluation of TCP Over Optical Burst-Switched (OBS) WDM Networks, *Em Anais do ICC 2003*, v. 2 p. 1433-1437, 2003.
- [11] A. Erramilli and O. Narayan and A. Neidhart and I. Sanjeev, Multi-scaling Models of TCP/IP and Sub-Frame VBR Video Traffic, *Journal of Communications and Networks*, v. 3, p. 383-395, Dezembro 2001.
- [12] P. Abry and R. Baraniuk and P. Flandrin and R. Riedi and D. Veitch, The Multiscale Nature of Network Traffic Discovery, Analysis, and Modeling, *IEEE Signal Processing Magazine*, v. 19 p. 28-46, Maio 2002.