

Verificação Experimental da Natureza “Scaling” de Tráfego IP

Larissa O. Ostrowsky, Nelson Luis S. da Fonseca e César Augusto Viana Melo

Resumo—A natureza *scaling* do tráfego IP tem sido alvo de polêmica recente na literatura. Este artigo tenta elucidar a questão de se o tráfego IP é monofractal ou multifractal. Investiga-se também o impacto dos protocolos TCP e UDP na natureza do tráfego IP.

Palavras-Chave—*Scaling*, multifractalidade, tráfego UDP, análise wavelet.

Abstract—The scaling nature of IP traffic has been the focus of attention, recently. This paper tries to shed light on the question of whether IP traffic is monofractal or multifractal. Moreover, the impact of traffic generated by both TCP and UDP on IP traffic is evaluated.

Keywords—*Scaling*, multifractality, UDP traffic, wavelet analysis.

I. INTRODUÇÃO

O descobrimento da existência de dependências de longa duração (Long Range Dependence - LRD) em fluxo de dados de redes LANs [1] foi seguido por estudos que mostraram evidências de comportamento multifractal no tráfego em redes WANs [2][3].

Existe na literatura uma vertente que advoga que o tráfego em redes IP deve ser modelado por processos multifractal [4]-[7]. Outros estudos, porém, concluem que o tráfego em redes deve ser modelado por processos monofractal [8]-[10].

Como a discussão sobre a multifractalidade do tráfego IP tem sido polêmica, este artigo tem como objetivo verificar e revisar a existência de padrões multifractal no tráfego IP, ou seja, clarificar se o tráfego IP é monofractal ou multifractal. Almeja-se, também, verificar o impacto do tráfego gerado pelos protocolos de transporte TCP e UDP nos padrões do tráfego IP.

As contribuições deste artigo são, portanto, as constatações realizadas experimentalmente. Através da análise de traços de redes operacionais, observa-se a presença dos dois tipos de padrão de tráfego em diferentes escalas de tempo nas redes IP's: monofractal e multifractal. Verifica-se que a hipótese de que o mecanismo de reconhecimento do TCP necessariamente gera multifractalidade não é verdadeira. Constata-se, também, que o tráfego UDP é multifractal mesmo quando o agregado IP é monofractal e que o *scaling* do tráfego IP é determinado predominantemente pelo protocolo TCP.

Larissa O. Ostrowsky, Nelson Luis S. da Fonseca e César Augusto Viana Melo, Instituto de Computação, Faculdade de Ciência da Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, E-mails: larissa.ostrowsky@ic.unicamp.br, nfonseca@ic.unicamp.br, cavneto@ic.unicamp.br. [Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPESP (03/05460-8) e CNPq (305076/2003-5)].

O artigo está organizado da seguinte forma. A seção II revê o conceito de *scaling*. A seção III comenta alguns trabalhos relacionados ao assunto deste artigo. A seção IV introduz uma métrica de comparação de tráfego multifractal. A seção V investiga a natureza do tráfego IP e a seção VI tece as conclusões.

II. MONOFRAGMENTALIDADE E MULTIFRAGMENTALIDADE

Estudos pioneiros [1] mostraram que os intervalos entre chegadas dos pacotes em fluxos de redes LANs diferem drasticamente da distribuição exponencial. O tráfego nestas redes podem ser modelados por processos auto-similares [1], com explosividade (“burstiness”) e correlação em várias escalas de tempo. Uma aproximação de um modelo de tráfego monofractal (auto-similar) foi proposto por Norros [11].

Pesquisas recentes revelaram que o tráfego WAN apresenta características estatísticas complexas em pequenas escalas de tempo, em adição ao tão conhecido padrão monofractal (auto-similar) em grandes escalas de tempo. As características do tráfego em pequenas escalas de tempo são diferentes das observadas nas grandes escalas de tempo e podem ter um impacto significativo no desempenho dos enlaces de uma rede [12].

A seguir, introduz-se uma formalização dos conceitos de processos monofractal e multifractal. Denota-se o processo do número total de chegadas de pacotes ou bytes em um enlace até o instante de tempo t como $Y = Y(t) : 0 \leq t \leq 1$. Seja o processo de taxa (rate process) $Y((K_n + 1)2^{-n}) - Y(K_n 2^{-n})$, $n > 0$, $K_n = 0, 1, 2, \dots, 2^n - 1$, então, o número total de pacotes ou bytes que chegam no enlace durante intervalos não sobrepostos é definido em intervalos do tipo $[k_n 2^{-n}, (k_n + 1)2^{-n}]$. Pode-se afirmar que o tráfego possui um expoente de escala local $\alpha(t_0)$ no instante de tempo t_0 se o processo de taxa de tráfego comporta-se segundo a função $(2^{-n})^{\alpha(t_0)}$, quando $k_n 2^{-n} \rightarrow t_0 (n \rightarrow \infty)$. Valores de $\alpha(t_0)$ maiores que 1 correspondem aos instantes de tempo com baixos níveis de intensidade ou pequenas variações locais no processo de taxa (Y possui derivada nula em t_0), enquanto que $\alpha(t_0) < 1$ corresponde a regiões de alto nível de variação ou de irregularidades locais no processo de taxa. Denomina-se o tráfego que possui o mesmo expoente de escala $\alpha(t_0)$ para todos os instantes de tempo t_0 como monofractal (incluindo o tráfego exatamente auto-similar para o qual $\alpha(t_0) = H$, para todos os valores de t_0), enquanto o tráfego com expoentes de escala $\alpha(t_0)$ variável no tempo como multifractal.

Uma vez que o processo de taxa Y possui incrementos positivos $\alpha(t)$ pode se dizer que:

$$\alpha(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} (\alpha_n(t)). \quad (1)$$

Assumindo-se que o limite existe, para $t \in [k_n 2^{-n}, (k_n + 1) 2^{-n})$, tem-se:

$$\alpha_n(t) = \alpha_{k_n}^n = -\frac{1}{n} \log_2 |Y((K_n + 1) 2^{-n}) - Y(K_n 2^{-n})|. \quad (2)$$

Desta forma, o objetivo da análise multifractal do tráfego de rede é prover informações sobre as variações destes expoentes de escala, resultando em uma descrição compacta do comportamento das singularidades do tráfego em termos estatísticos. Na próxima seção, são descritos trabalhos relacionados com o estudo deste artigo.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Estudos anteriores examinaram se os traços da rede LAN *Bellcore Ethernet* eram monofractal ou multifractal [8]. Usando diagramas *multiscale* no domínio do tempo, concluiu-se que o tráfego era monofractal em grandes escalas de tempo. Abaixo destas grandes escalas de tempo, escalas de aproximadamente 100 ms, um comportamento diferente foi encontrado, porém não foi estudado.

Um comportamento auto-similar em grandes escalas de tempo (acima de 1s) foi observado em uma variedade de tráfegos de rede [1][13][14].

Em [2] foi publicado o primeiro relatório a respeito da descoberta de comportamento multifractal em tráfego TCP/IP. Os traços foram coletados em *gateways* de redes LANs. A multifractalidade foi encontrada nas seqüências de tamanhos de pacotes e nos intervalos de tempo de tempo entre chegadas em todas as escalas de tempo. Em [15] os mesmos autores discutiram parte desses resultados, enfatizando o fato que modelos multifractais captam essencialmente as 'altas frequências' dos componentes de dados, enquanto dependência de longa duração (LRD) está relacionado às 'baixas frequências'.

Em [4] foi apontado que evidência de comportamento em tráfego TCP/IP pode ser identificado em dois regimes separados, um em 'pequenas escalas de tempo' e outro em 'grandes escalas de tempo'. Estes dois regimes foram definidos empiricamente por uma mudança visual no espectro *wavelet*, encontrado em escalas de aproximadamente 100 ms nos traços examinados. A conclusão da análise baseada em *wavelet* foi comportamento multifractal em pequenas escalas de tempo e LRD em escalas maiores de tempo.

A introdução de um modelo de cascatas multiplicativas foi a principal contribuição em [16] e a observação da existência de um duplo regime foi também confirmada para diferentes traços. Um ponto de mudança foi encontrado em uma escala aproximada de 10 ms e foi argumentado que o tráfego WAN é multifractal em escalas abaixo deste ponto de mudança.

Em [5], novos conjuntos de traços provenientes de ISPs foram examinados e uma análise similar a [16] foi realizada. As mesmas conclusões foram alcançadas, mas foi também dito que o comportamento do tráfego em pequenas escalas de tempo é complexo e pode afetar vários fatores, incluindo características da rede tal como gargalos. Em [17] o termo

biscaling foi sugerido para referenciar a presença do duplo padrão de escalas, novamente usando o ponto de mudança de comportamento no espectro *wavelet* para separá-los em dois. Resultados similares a [4] foram encontrados em traços TCP/IP recentemente coletados de pontos de acesso da Internet da Universidade de Auckland.

Os resultados em [18] foram consistentes com LRD em grandes escalas e multifractalidade em pequenas escalas. No entanto, foi observado que a qualidade das medidas e intervalos de confiança era tal que a conclusão de monofractalidade quase podia ser aceita em pequenas escalas de tempo.

Em [19], é apresentado um modelo monofractal e não auto-similar, que promete ser flexível o bastante para capturar comportamento *scaling* quando comparado com modelos auto-similares. O estudo ainda afirma que modelos multifractais são complexos e desnecessários.

Um dos artigos mais recentes [10] concluiu que o tráfego agregado em bytes é monofractal em pequenas escalas de tempo. A discrepância com a literatura anterior foi explicada pela observação que em *backbones* os níveis de agregação são muito maiores, resultando em processos Gaussianos.

Em [20], investigou-se a origem das características do tráfego em pequenas escalas de tempo, de fluxos TCP de uma variedade de traços. Foi levantada a questão de que o uso indevido das ferramentas de estimação podem levar a conclusões incorretas, tal como multifractalidade de tráfegos que são na realidade monofractais.

IV. IMPACTO DA MULTIFRACTALIDADE EM SISTEMAS DE FILAS

Processos multifractais são usualmente caracterizados por amostras que apresentam alta variabilidade. Este comportamento irregular pode ser analisado usando o expoente local de Hölder, que é uma generalização do parâmetro de Hurst [23]. Para os processos multifractais o expoente de Hölder não é constante, pelo contrário, é bastante variável e irregular entre um tempo e outro. O cálculo do valor do expoente de Hölder é crucial para a caracterização do tráfego multifractal [24].

Em [12], uma expressão para o tamanho de uma fila alimentada por um processo multifractal foi apresentada, bem como uma expressão para o cálculo do tempo t^* no qual uma fila atinge seu tamanho máximo. O valor de t^* é computado usando a média, a variância e os valores específicos da função de Hölder da amostra. O valor t^* pode ser usado para calcular a probabilidade de perda, bem como, para determinar a banda passante equivalente de um fluxo multifractal.

Concluiu-se através de diversos experimentos que o processo de enfileiramento é influenciado pelos valores do expoente de Hölder. A medida mais relevante identificada no estudo foi o valor médio do expoente de Hölder até a escala de tempo de interesse:

$$\zeta = \frac{\int_0^{t^*} H(x) dx}{t^*}, \quad (3)$$

ou seja, ζ é a média dos valores da função de Hölder até o instante máximo de interesse t^* .

ζ não é a única métrica que influencia o processo de enfileiramento. Para traços com um valor de ζ maior e com uma variância maior obteve-se um ganho maior. O valor de ζ pode ser usado como uma medida do impacto da multifractalidade de um fluxo em um sistema de filas. Note que como o expoente de Hölder é variável no tempo, deve-se procurar medidas do “grau de multifractalidade” de um fluxo. Tal dificuldade não existe quando se lida com processos monofractais, descritos por um valor constante (parâmetro de Hurst).

V. A NATUREZA SCALING DO TRÁFEGO IP

Nesta seção, tenta-se responder a pergunta central deste trabalho: se o tráfego IP é monofractal ou multifractal. Investiga-se, também, o impacto dos tráfegos TCP e UDP na dinâmica do tráfego IP. Para tal, foram utilizados traços de dados reais obtidos do projeto de pesquisa PMA (The NLNR Passive Measurement and Analysis Project), que disponibiliza em seu WEB *site* dezenas de traços por dia, provenientes de pontos de coleta de diversas partes do mundo [25]. Para garantir a generalidade do estudo, foram escolhidos aleatoriamente oito traços recentes de quatro sites diversos (Tabela I). Os traços brutos foram processados com a Ferramenta CAIDA Coralreef [26] e com programas em C++ desenvolvidos pelos autores, permitindo a extração do horário de chegada (com precisão em microssegundos), protocolo IP e tamanho (em bytes) de cada pacote do traço. O fluxo UDP e o fluxo TCP de cada traço IP selecionado para este estudo foram isolados e constituíram dois novos traços.

Deve-se observar que a média da percentagem típica do volume de tráfego UDP nos traços analisados é de 10%. O tráfego TCP corresponde em média a 90% dos pacotes, sendo que a maioria dos pacotes pertencem a aplicações que utilizam portas altas (not well known).

Evidências de comportamento do tráfego IP podem ser encontrados em dois regimes separados: um em pequenas escalas de tempo e outro em grandes escalas de tempo. Estes dois regimes são definidos empiricamente no ponto de mudança Δ^* do comportamento visual do gráfico log-log dos momentos do processo incremento agregado, $\sum_i X_{\Delta}(i)^q$, como função do tamanho do intervalo de agregação Δ [27]. X_{Δ} é medido como fração do total de bytes do traço inteiro. Há uma mudança visível nas inclinações das curvas de todos os momentos em Δ^* . Na análise dos traços da Tabela I, o valor de Δ^* foi em média igual a $\sim 5ms$.

A Figura 1, que apresenta o gráfico log-log dos momentos estatísticos q 's do processo incremento agregado, mostra os vários momentos do tráfego IP do traço ANL-1111548257. Cada curva do gráfico representa um momento estatístico q , $q = [1, 2, 3, 4, 5, 6]$. O valor de Δ^* é definido pela escala de tempo na qual ocorre a mudança de comportamento das curvas dos momentos. Como observado na Figura 1, para o fluxo IP do traço ANL-1111548257 as curvas correspondentes a cada momento estatístico q possuem uma mudança no comportamento do gráfico quando $\ln(\Delta)$ é aproximadamente 1,1, valor destacado pela reta vertical do gráfico. Os três fluxos, IP, TCP e UDP do traço ANL-1111548257 tiveram $\ln(\Delta^*) \sim 1,1$ e portanto $\Delta^* \sim 3ms$, mas por limitação de espaço somente

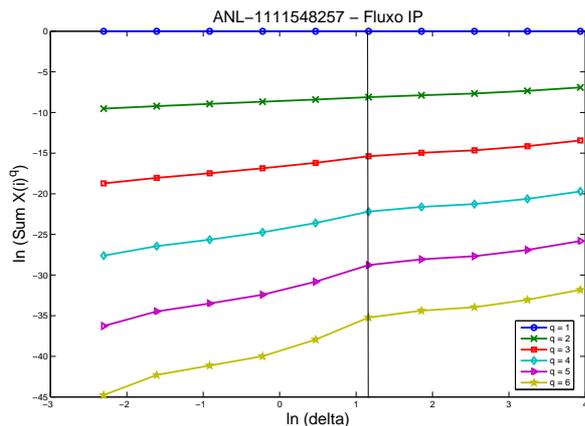


Fig. 1. Log-log plot dos momentos estatísticos do processo incremento agregado do fluxo IP do traço ANL-1111548257.

o gráfico do fluxo IP é apresentado. Tipicamente todas as escalas abaixo de Δ^* estão no regime de pequenas escalas e fazem parte das escalas de interesse deste estudo. Os traços foram agregados em 0, 1ms, ou seja, em uma escala de tempo bem menor que Δ^* pois quando forem multiplicados pelas escalas de agregação da análise *scaling* devem permanecer no conjunto de pequenas escalas de tempo.

Escolheu-se o traço ANL-1111548257 para ilustrar como exemplo das relações encontradas. Este traço é representativo dos demais que não são mostrados devido a limitação de espaço.

Para identificar as propriedades *scaling* do tráfego, usou-se o software apresentado em [9] e disponível em [21] para realizar a análise estatística de segunda ordem e de ordens superiores. Os procedimentos seguem a metodologia apresentada em [22].

Na análise do tráfego, investiga-se as propriedades estatísticas globais das séries temporais vistas em cada nível de resolução ou escala. A energia média na escala j é a média da soma dos coeficientes *wavelet* elevado ao quadrado,

$$S_2(j) = \frac{1}{n_j} \sum_k |d_X(j, k)|^2, \quad (4)$$

onde n_j é o número de coeficientes *wavelet* $d_X(j, k)$ disponíveis no octavo j . Define-se um octavo j como o logaritmo da escala a na base 2, ou seja, escala $a = 2^j$. Examina-se a energia média contida em cada escala e como estas quantidades mudam na medida que se vai de escalas maiores para escalas menores. O gráfico do logaritmo destas estimativas versus j é o chamado Diagrama *Logscale* (LD): $\log_2 S_2(j)$ vs $\log_2 a = j$.

Pode-se generalizar o Diagrama *Logscale* em Diagramas *Logscale* de q -ésimas-ordens, para $q \in \mathbf{R}$, usando as estimativas da função partição:

$$S_q(j) = \frac{1}{n_j} \sum_k |d_X(j, k)|^q. \quad (5)$$

Os gráficos de $S_q(j)$ versus j representam os Diagramas *Logscale* de q -ésimas-ordens (q -LD): $\log_2 S_q(j)$ vs $\log_2 a = j$.

TABELA I
DESCRIÇÃO DOS TRAÇOS.

Arquivo contendo traço	Data e Horário	Quant. pacotes IP	% TCP	% TCP	Local
TXS-1111527905.tsh	22/03/2005 14:10	156327	99,2	0,67	Texas universities
COS-1069211539-1.tsh	18/11/2003 19:50	1733491	81,6	8,65	Colorado State Univ.
COS-1094074322-1.tsh	01/09/2004 15:33	3404049	93,9	5,45	Colorado State Univ.
COS-1094580942-1.tsh	07/09/2004 12:14	2852756	92,7	6,42	Colorado State Univ.
ANL-1111548257-1.tsh	22/03/2005 20:11	42420	91,0	6,36	Argonne National Lab.
MEM-1111247410-1.tsh	19/03/2005 07:56	75122	83,5	14,21	University of Memphis
MEM-1112013766-1.tsh	28/03/2005 04:49	70259	64,4	31,86	University of Memphis
TXS-1113503155.tsh	14/04/2005 11:31	16895	75,0	18,94	Texas universities

Esta generalização é fundamental para o estudo da multifractalidade de um tráfego, pois um processo multifractal não pode ser descrito por um único expoente, tal como o parâmetro de Hurst H , e momentos de ordem superior também precisam ser analisados, fazendo-se necessário obter um conjunto de expoentes α_q .

O objetivo da análise do padrão em diferentes escalas é coletar informação característica sobre os picos e a localização dos vários expoentes α_q . Para um q fixo, um padrão é visto como uma linha reta no Diagrama Logscale de q -ésima ordem, com pelo menos quatro octavos de comprimento, e a medida de sua inclinação (*slope*) é a estimativa do expoente *scaling* α_q correspondente. Se para cada q , uma linha reta é encontrada no q -LD sobre a mesma faixa de escalas, então há presença de *scaling*. O intervalo de valores usado foi $q \in [0, 6]$. Este intervalo foi escolhido através de uma escolha conservadora baseada no estudo feito em [28].

Para exemplificação, os Diagramas *Logscale* de q -ésimas ordens resultantes da análise do fluxo IP do traço ANL-1111548257 são mostrados na Figura 2. O valor de Q , exibido no canto superior direito de cada diagrama, corresponde ao valor de linearidade retornado no teste de regressão para a reta contida no intervalo $[j_1, j_2]$ e deve ser necessariamente maior que 0.05. Os altos valores de Q na Figura 2 indicam linearidade e portanto revelam a presença de *scaling* no intervalo testado $[j_1, j_2] = (1, 4)$. Os Diagramas *Logscale* de q -ésimas ordens dos fluxos TCP e UDP do traço ANL-1111548257 foram semelhantes aos do fluxo IP, mas devido a limitação de espaço não são apresentados neste artigo.

Para testar se um processo é multifractal em um intervalo $[j_1, j_2]$, dois parâmetros são introduzidos: $\zeta_q = \alpha_q - q/2$ e $h_q = \zeta_q/q$. O Diagrama *Multiscale* (MD) mostra no eixo vertical os expoentes ζ_q e no eixo horizontal os valores de q . O Diagrama *Multiscale* Linear (LMD) mostra no eixo vertical os expoentes h_q e no eixo horizontal os valores de q . Uma linearidade no Diagrama *Multiscale* e uma horizontalidade no Diagrama *Multiscale* Linear descrevem processos monofractais, enquanto que uma não-linearidade no Diagrama *Multiscale* e uma não-horizontalidade no Diagrama *Multiscale* Linear descrevem processos multifractais. Um ponto essencial no uso da ferramenta é que o conceito de alinhamento é relativo aos intervalos de confiança, e não ao alinhamento próximo dos expoentes ζ_q em si. Os intervalos de confiança dos expoentes aumentam monotonicamente com o aumento do valor de j para escalas cada vez maiores.

Estimou-se para cada Diagrama *Logscale* a inclinação da

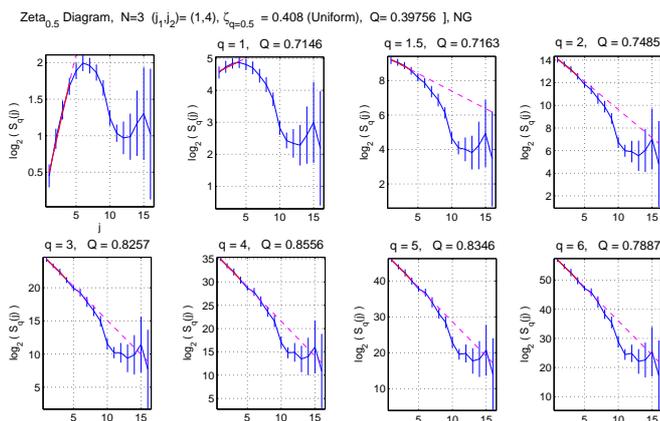


Fig. 2. Diagramas *Logscale* de q -ésima ordem do fluxo IP do traço ANL-1111548257.

reta encontrada nas pequenas escalas de tempo. As conclusões sobre a natureza *scaling* dos traços podem ser observadas na segunda coluna da Tabela II.

A partir das inclinações estimadas, finalmente, obteve-se os Diagramas *Multiscale* (MD) e os Diagramas *Multiscale* Lineares (LMD) para o fluxo IP, TCP e UDP de cada traço. Verificando-se, cuidadosamente, os intervalos de confiança, sobre o regime de pequenas escalas de tempo, observa-se que a hipótese de monofractalidade não pode ser rejeitada para alguns traços, enquanto que para outros traços a hipótese de multifractalidade é que não pode ser rejeitada. Como por exemplo, os diagramas MD e LMD dos fluxos IP (Figura 3(a)), TCP (Figura 3(b)) e UDP (Figura 3(c)) do traço ANL-1111548257 apresentaram respectivamente não-linearidade e não-horizontalidade, indicando evidências de multifractalidade, enquanto que os diagramas MD e LMD dos fluxos IP (Figura 4(a)) e TCP (Figura 4(b)) do traço TXS-1111527905 apresentaram respectivamente linearidade e horizontalidade, indicando evidências de monofractalidade.

Observa-se que os diagramas MD e LMD do fluxo UDP (Figura 4(c)) do traço TXS-1111527905 apresentaram respectivamente não-linearidade e não-horizontalidade, indicando multifractalidade, diferindo da monofractalidade encontrada nos fluxos TCP e IP. Esta é uma constatação ainda não revelada na literatura: o tráfego UDP é multifractal enquanto a natureza monofractal ou multifractal do tráfego IP é ditada pela natureza do tráfego TCP. Este fato pode ser atribuído ao

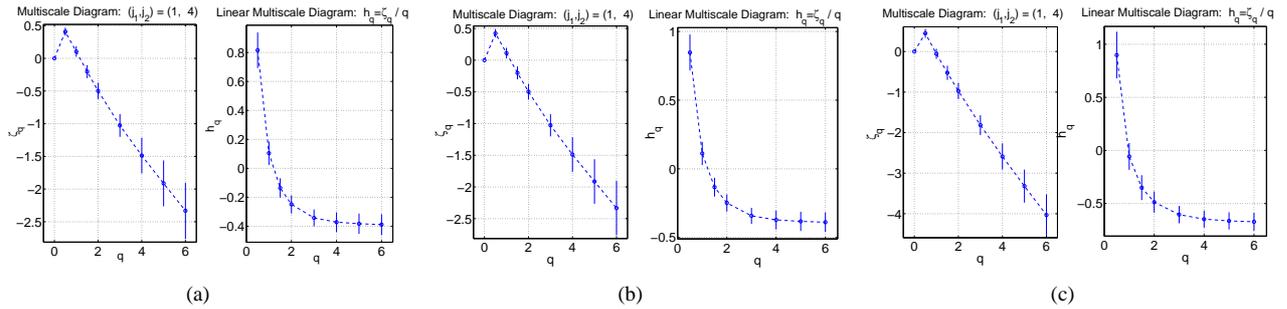


Fig. 3. Diagrama Multiscale e Diagrama Multiscale Linear do fluxo IP (a), TCP (b) e UDP (c) do traço ANL-1111548257.

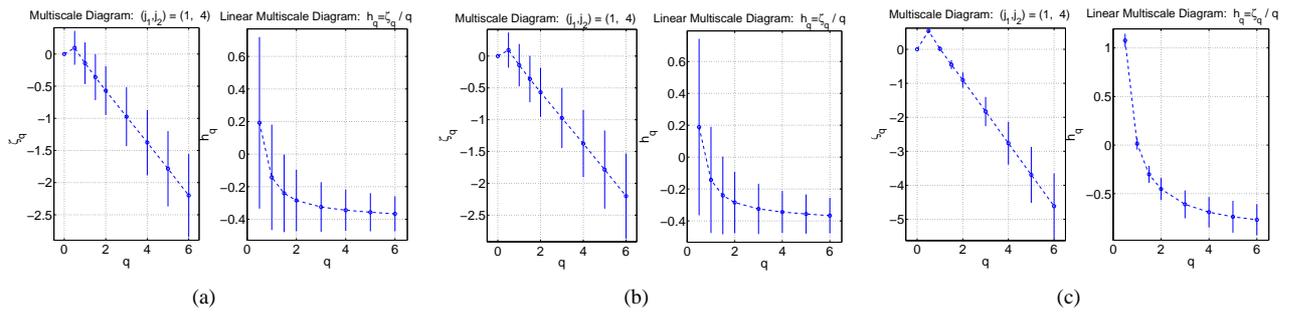


Fig. 4. Diagrama Multiscale e Diagrama Multiscale Linear do fluxo IP (a), TCP (b) e UDP (c) do traço TXS-1111527905.

maior volume de bytes gerados pelo TCP, ou seja, aproximadamente 90% do tráfego é oriundo do protocolo TCP. Em outras palavras, ao se agregar o volume do tráfego em intervalos não sobrepostos, o volume em cada intervalo é majoritariamente oriundo do TCP, assim, o valor do expoente $\alpha(t)$ vai ser influenciado fortemente pelo maior volume de bytes oriundos do TCP nos intervalos. Note na Tabela II que todos os tráfegos UDP são multifractais, indicado pela ausência de coluna H_{UDP} para traços IP monofractal. O fato dos traços TCP possuírem natureza ora monofractal ora multifractal derruba a hipótese existente na literatura de que o mecanismo de reconhecimento do TCP determina a multifractalidade do mesmo. No entanto, nada se pode afirmar se é este o mecanismo que determina a natureza *scaling* do tráfego TCP.

A Tabela II apresenta o valor de Hurst para os traços monofractais e o valor de ζ para os traços multifractais. Não se listou os valores do parâmetro de Hurst para tráfego UDP pois estes são todos multifractais.

Nota-se que o valor do parâmetro de Hurst do fluxo TCP é tipicamente menor que o valor do parâmetro de Hurst do fluxo IP, de no máximo 0,01, o que evidencia a influência do fluxo TCP no agregado IP. O maior valor de H do fluxo IP pode ser atribuído a contribuição do volume dada pelo tráfego UDP.

As figuras 5 e 6 mostram o comportamento da função de Hölder descrita em função do tempo, em milissegundos, para os fluxos multifractais IP, TCP e UDP dos traços TXS-1113503155 e MEM-1111247410. As funções de Hölder dos fluxos IP e TCP possuem comportamentos muito semelhantes, enquanto que a função de Hölder para o fluxo UDP possui um comportamento ligeiramente diferente. Observe que, coe-

rentemente, os valores de ζ_{IP} e ζ_{TCP} , observados na Tabela II, também são muito parecidos e os valores de ζ_{UDP} são um pouco menores. Nas simulações das filas com buffer infinito foram testados valores de utilização iguais a 1,0 e 0,8, com ζ se comportando de maneira semelhante em todos os casos. Pode-se notar pelos valores de ζ 's que o tráfego UDP tem um grande impacto na dinâmica das filas quando o tráfego IP é multifractal. Apesar de em proporção menor, o tráfego UDP possui impacto semelhante ao tráfego TCP. Este padrão foi observado para diferentes valores de utilização do sistema de filas.

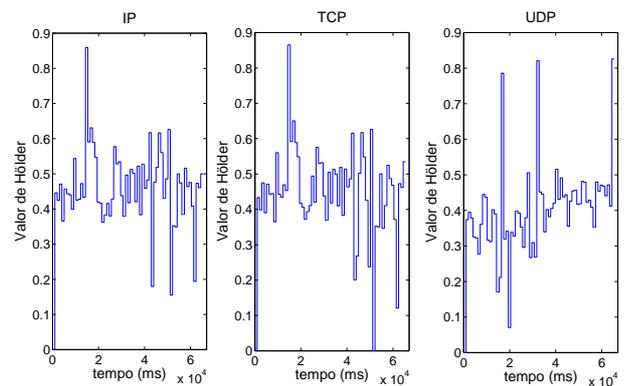


Fig. 5. Plot da função de Hölder do traço TXS-1113503155.

VI. CONCLUSÕES

A natureza do tráfego IP tem sido discutida intensamente na literatura nos últimos anos. O motivo por este interesse deve-se ao fato do dimensionamento de enlaces ser influenciado

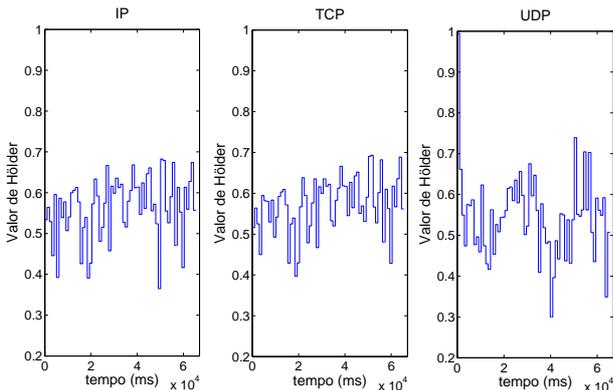


Fig. 6. Plot da função de Hölder do traço MEM-1111247410.

TABELA II
CONCLUSÕES DO SCALING EM PEQUENAS ESCALAS DE TEMPO.

Traço	Tipo	H_{IP}	H_{TCP}	ζ_{IP}	ζ_{TCP}	ζ_{UDP}
TXS-1111527905	MONO	0,961	0,961			*
COS-1069211539	MONO	0,750	0,745			*
COS-1094074322	MONO	0,921	0,912			*
COS-1094580942	MONO	0,790	0,785			*
ANL-1111548257	MULTI			0,5720	0,5729	0,4454
MEM-1111247410	MULTI			0,5543	0,5586	0,5452
MEM-1112013766	MULTI			0,5674	0,5688	0,5565
TXS-1113503155	MULTI			0,4459	0,4461	0,3311

fortemente pela natureza monofractal ou multifractal deste tráfego. Além disto, tenta-se identificar quais protocolos e quais mecanismos destes protocolos determinam mais definitivamente a natureza do tráfego IP.

Este artigo contribuiu para elucidar a polêmica sobre a natureza do tráfego IP apontando que não se pode generalizar que traços IP são de um tipo ou de outro. Além disto, mostrou-se também que não é possível afirmar que o mecanismo de reconhecimento do TCP gera multifractalidade.

Constatou-se, também, que todos os traços UDP apresentam características multifractais e que a natureza do agregado IP é determinada pelo tráfego gerado pelo protocolo TCP dado que este é responsável por aproximadamente 90% do tráfego agregado.

Como trabalho futuro, sugere-se a investigação dos achados em um número maior de traços, bem como a determinação de um valor limiar no qual o volume gerado pelo TCP influencia o agregado IP. A investigação de se o mecanismo de reconhecimento do TCP é o responsável pela natureza deste tráfego é também uma questão em aberto.

REFERÊNCIAS

[1] W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger e D. V. Wilson, "On the self-similar nature of Ethernet traffic", IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 2, no. 1, pp. 1-15, Fevereiro 1994.
 [2] R. H. Riedi e J. L. Véhel, "IP traffic is multifractal: a numerical study", Tech. Rep. 3129, INRIA Rocquencourt, Março 1997.
 [3] A. Erramilli, O. Narayan, A. Neidhardt e I. Sanjeev, "Performance impacts of multi-scaling in wide area TCP/IP traffic", in Proceedings of IEEE Infocom'2000, Tel Aviv, Israel, pp. 352-359, Março 2000.
 [4] A. Feldmann, A. Gilbert, W. Williamson e T. Kurtz, "The Changing Nature of Network Traffic: Scaling Phenomena", ACM Computer Communication Review, vol. 28, No. 2, pp. 5-26, Abril 1998.

[5] A. Feldmann, A. Gilbert, P. Huang e W. Willinger, "Dynamics of IP traffic: A Study of the Role of Variability and the Impact of Control", Proceedings of the 1999 ACM SIGCOMM Conference, Cambridge, MA, pp. 301-313, Agosto 1999.
 [6] R. Riedi, M. S. Crouse, V. Ribeiro e G. Baraniuk, "A multifractal wavelet model with application to TCP network traffic", IEEE Trans. Info. Theory, Special issue on multiscale statistical signal analysis and its applications, vol. 45, pp. 992-1018, Abril 1999.
 [7] Kant, "On aggregate traffic generation with multifractal properties", in Global Telecommunications Conference, GLOBECOM '99, pp. 1179-1183, 1999.
 [8] M. S. Taqqu, V. Teverovsky e W. Willinger, "Is network traffic self-similar or multifractal?", Fractals, no. 5, pp. 63-73, 1997.
 [9] P. Abry e D. Veitch, "Wavelet analysis of long-range dependent traffic", IEEE Trans. on Information Theory, vol. 44, no. 1, pp. 2-15, Jan. 1998.
 [10] Z. L. Zhang, V. Ribeiro, S. Moon e C. Diot, "Small-Time Scaling behavior of internet backbone traffic", Computer Networks, vol. 48, no. 3, pp. 315-334, 2005.
 [11] I. Norros, "On the Use of Fractional Brownian Motion in the Theory of Connectionless Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 13, No. 6, pp. 953-962, Agosto 1995.
 [12] C. A. V. Melo e N. L. S. da Fonseca, "Envelope Process and Computation of the Equivalent Bandwidth of Multifractal Flows", Computer Networks, vol. 48, no. 3, pp. 351-375, 2005.
 [13] V. Paxton e S. Floyd, "Wide-area traffic: The failure of Poisson modeling", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 3, pp. 226-244, Junho 1995.
 [14] M. Crovella e A. Bestavros, "Self-similarity in World Wide Web traffic. Evidence and possible causes", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 5, pp. 835-846, Dezembro 1997.
 [15] J. Vehel e R. Riedi, "Fractional Brownian motion and data traffic modeling: The other end of the spectrum", Fractals in Engineering, pp. 185-202, Janeiro 1997.
 [16] A. Feldmann, A. C. Gilbert e W. Willinger, "Data networks as cascades: Investigating the multifractal nature of Internet WAN traffic", Proc. ACM/SIGCOMM 98, vol.28, pp.42-55, 1998.
 [17] D. Veitch, P. Abry, P. Flandrin e P. Chainais, "Infinitely divisible cascade analysis of network traffic data", Proceedings of ICASSP 2000, Istanbul, Turkey, Junho 2000.
 [18] S. Roux, D. Veitch, P. Abry, L. Huang, P. Flandrin e J. Mischeel, "Statistical scaling analysis of TCP/IP data", ICASSP 2001, Special Session, Network Inference and Traffic Modeling, Salt Lake City, Utah, Maio 2001.
 [19] S. Molnár e G. Terdik, "A general fractal model of Internet traffic", IEEE Local Computer Networks (LCN) 2001, Tampa, Florida, USA, Novembro 2001.
 [20] N. Hohn, D. Veitch e P. Abry, "Cluster processes, a natural language for network traffic", IEEE Transactions on Signal Processing, special issue on "Signal Processing in Networking", vol. 51, no. 8, pp. 2229-2244, Agosto 2003.
 [21] Web site http://www.cubinlab.ee.mu.oz.au/~darryl/MS_code.html
 [22] P. Abry, P. Flandrin, M. S. Taqqu e D. Veitch, "Wavelets for the analysis, estimation and synthesis of scaling data", Trans. Info. Theory, vol.44, no.1, pp. 2-15, 1998.
 [23] P. Abry, R. Baraniuk, P. Flandrin, R. Riedi e D. Veitch, "The multiscale nature of network traffic: Discovery, analysis and modeling", IEEE Signal Processing Magazine, vol. 19, no. 3, pp. 28-46, Maio 2002.
 [24] J.E.Cavanaugh, Y.Wang e J.W.Davis, Handbook of Statistics 21: Stochastic Processes: Modeling and Simulation, volume 21, capítulo Self-similar processes and their wavelet analysis, Elsevier Science, 2003.
 [25] Web site do projeto PMA do grupo NLANR, <http://pma.nlanr.net/Traces>, outubro 2004.
 [26] Web site da ferramenta Coralreef, <http://www.caida.org/tools/measurement/coralreef>, agosto 2004
 [27] A. Erramilli, O. Narayan e I. Sanjeev, "Multi-scaling models of TCP/IP and subframe VBR video traffic", Journal of Communications and Networks", vol. 3, no. 4, pp. 383-395, Dezembro 2001.
 [28] N. Hohn, D. Veitch, P. Abry, "Multifractality in TCP/IP Traffic: the Case Against", Computer Networks Journal, vol. 48, no. 3, pp. 293-313, 2005.