

# Auto-Similaridade em Redes IP: A Influência do Comportamento dos Usuários e do Perfil da Rede

Fernando Hwang, Gabriel Rocon Bianchi e Lee Luan Ling

**Resumo** — Este trabalho analisa o comportamento da auto-similaridade do tráfego em função de três dos mais expressivos protocolos de aplicações em redes IP (HTTP, FTP e SMTP). Os resultados das simulações realizadas mostram que as características intrínsecas aos protocolos de comunicação, ao perfil de seus usuários e ao perfil da rede afetam de forma distinta a característica auto-similar do tráfego.

**Palavras-Chave** — Auto-similaridade, TCP, HTTP, FTP, SMTP.

**Abstract**—This work analyzes traffic's self-similar behavior for the three most expressive application protocols used in IP networks (HTTP, FTP and SMTP). The simulation results show that the intrinsic characteristics of application protocols, and of user and network profiles affect the traffic self-similar characteristics in distinct ways.

**Index Terms**— Self-similarity, TCP, HTTP, FTP, SMTP.

## I. INTRODUÇÃO

A característica auto-similar do tráfego possui relevante influência em diversas áreas relativas às redes de comunicação. Diversos estudos identificaram a presença da auto-similaridade em tráfego de redes locais Ethernet [8], tráfego WWW [5], tráfego WAN [12] etc. A não consideração desta característica em áreas tais como projeto, gerência de redes e mecanismos de controle de admissão, pode fazer com que o comportamento esperado da rede seja bem aquém do comportamento real, acarretando principalmente na degradação do nível de qualidade de serviço oferecido.

Motivado principalmente pelo grande crescimento da Internet, as redes IP vêm convergindo para se tornar uma plataforma padrão de suporte às mais diferentes aplicações.

Uma das mais importantes conseqüências desta expansão da Internet está relacionada com o crescimento na complexidade do tráfego experimentado nestas redes. No intuito de suportar

efetivamente todas as aplicações da Internet, é importante entender e caracterizar as transações em nível de aplicação e também analisar as características da rede juntamente com os efeitos causados pelos mecanismos de controle de fluxo e congestionamento devido ao protocolo de transporte TCP em cada aplicação. Veremos que as particularidades de cada rede em relação ao atraso e perdas de pacotes influenciam diretamente no comportamento do usuário e conseqüentemente conduzem a diferentes impactos na característica do tráfego. A auto-similaridade encontra-se dentre as características do tráfego que sofrem mais fortemente a influência de tal diversidade de aplicações, perfis de usuário e de rede.

Na seção II, são exibidos conceitos relativos à auto-similaridade de tráfego e suas origens. Dada a diversidade de aplicações existentes nas redes IP atuais, em particular a Internet, e a dificuldade de se analisar todas estas aplicações, na seção III exibe-se o resultado de pesquisa bibliográfica indicando quais aplicações possuem maior participação na composição do tráfego IP. Na seção IV, são apresentados os modelos estatísticos descritores do comportamento das três aplicações analisadas, contemplando principalmente as funções de distribuição para o processo de chegada de requisições e o tamanho dos arquivos transferidos.

Na seção V são exibidos os resultados das simulações obtidos através da variação dos parâmetros relativos ao comportamento do usuário, assim como através da variação do estado da rede.

Finaliza-se o artigo mostrando quais características do comportamento do usuário, assim como qual das aplicações contribui mais fortemente para o aumento da característica auto-similar do tráfego. Baseado nos resultados de pesquisas como esta e nas tendências de evolução de tráfego apontadas por especialistas da área, pode ser possível fazer análises sobre a evolução do comportamento da característica auto-similar do tráfego nas futuras redes de comunicação.

## II. PROCESSOS ESTOCÁSTICOS AUTO-SIMILARES

Seja  $X(t)$  ( $t \in \mathbb{Z}_+$ ) um processo estocástico discreto no tempo. Define-se o processo agregado  $X^{(m)}$  do processo  $X(t)$  em um nível de agregação  $m$ , da seguinte forma:

$$X^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{t=m(i-1)+1}^{mi} X(t) \quad (1)$$

Em outras palavras,  $X(t)$  é dividido em blocos não sobrepostos de tamanho  $m$  e  $X^{(m)}$  é a média destes blocos. Analogamente  $\gamma^{(m)}$  é definida como a função de auto-covariância do processo  $X^{(m)}$ .

**Definição 1:** Uma função  $f(t)$  é dita auto-similar com parâmetro de auto-similaridade  $H$ , se para qualquer  $\alpha > 0$ :

$$f(t) = \alpha^H f(\alpha t) \quad (2)$$

Assim, baseado no conceito de agregação de um processo estocástico e na definição de um processo auto-similar, pode-se definir um processo estocástico auto-similar.

Dado  $X(t)$  um processo estocástico discreto no tempo e estacionário de segunda ordem com variância  $\sigma^2$ , seguem-se as seguintes definições:

**Definição 2:** O processo  $X(t)$  é exatamente auto-similar de segunda ordem com parâmetro Hurst ( $1/2 < H < 1$ ) se a função auto-correlação do processo  $X(t)$  é igual a:

$$\gamma(k) = \frac{\sigma^2}{2} ((k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H}) \quad (3)$$

para todo  $k \geq 1$ .

**Definição 3:** O processo  $X(t)$  é assintoticamente auto-similar de segunda ordem se:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \gamma^{(m)}(k) = \frac{\sigma^2}{2} ((k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H}) \quad (4)$$

Pode-se mostrar que (3) implica em  $\gamma(k) = \gamma^{(m)}(k)$  para todo  $m \geq 1$ . Assim, a auto-similaridade de segunda ordem captura a propriedade que a estrutura de correlação preserva, exatamente (3) ou assintoticamente (4), quando há agregação. Conseqüentemente, processos agregados  $X^{(m)}$  originados de processos auto-similares apresentam uma estrutura de correlação não degenerativa mesmo quando  $m \rightarrow \infty$ . A existência desta estrutura de correlação não degenerada, que conduz à manutenção dos surtos nos processos agregados,

contrasta fortemente com os modelos Markovianos de tráfego, os quais possuem a propriedade de que seus processos agregados tendem para um ruído puro de segunda ordem.

Em [10] mostra-se que transferências de arquivos cujas distribuições de tamanho apresentem “cauda pesada” (*heavy-tailed*) geram tráfego auto-similar mesmo quando as dinâmicas das redes reais, incluindo as limitações de recursos e as interações dos fluxos de tráfegos são levados em consideração. Dizer que o tamanho dos arquivos possui uma distribuição de cauda pesada quer dizer que ocorrem na rede, transferências de arquivos muito grandes com uma probabilidade não desprezível. Em redes reais pode-se estabelecer que quanto maior o peso da cauda da distribuição do tamanho dos arquivos transferidos, maior o grau da auto-similaridade do tráfego.

Uma distribuição possui cauda pesada se o complemento da função distribuição segue assintoticamente uma lei de potência:

$$\Pr\{X > x\} \sim x^{-\alpha} \text{ quando } x \rightarrow \infty, \text{ onde } 0 < \alpha < 2. \quad (5)$$

Uma das mais simples distribuições que possui cauda pesada é a distribuição de Pareto, e sua função densidade de probabilidade é dada por:

$$p(x) = \alpha k^\alpha x^{-\alpha-1} \quad (6)$$

para  $x \geq k$ , onde  $\alpha$  é o parâmetro de curvatura,  $k > 0$  é o parâmetro de localização.

Trabalho como de [10] e diversos outros também mostram que a auto-similaridade do tráfego na rede é modulada pelas características dos protocolos da camada de transporte.

## III. PARTICIPAÇÃO DAS APLICAÇÕES NA COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO INTERNET

A Internet hoje é caracterizada por um alto grau de heterogeneidade de aplicações e continua passando por significativas alterações ao longo do tempo. Estudos apresentados em [4] e [14] descrevem a porcentagem de participação dos protocolos de transporte e de cada aplicação na Internet. Estes trabalhos relatam que o TCP é o protocolo dominante na composição dos tráfegos, correspondendo em média a 95% dos bytes, 90% dos pacotes e 80% dos fluxos. Sendo que o protocolo UDP corresponde em média a 5% dos bytes, 10% dos pacotes e 18% dos fluxos. A Tabela 1 apresenta a participação em porcentagem de bytes, pacotes e fluxos para as principais aplicações na Internet.

Pode-se perceber que as três aplicações que apresentam as mais expressivas participações são o HTTP, o FTP e o SMTP, representando conjuntamente mais de 85% do volume de dados que trafega pela Internet. Assim, estas três aplicações são

selecionadas para a série de simulações realizadas neste trabalho.

TABELA 1  
DISTRIBUIÇÃO POR APLICAÇÃO

	%Bytes	%Pacotes	%Fluxos
HTTP	75	70	75
SMTP	5	5	2
FTP	5	3	1
NNTP	2	1	1
TELNET	1	1	1
DNS	1	3	18

#### IV. MODELOS ESTATÍSTICOS DESCRITORES DAS APLICAÇÕES

Com o objetivo de ajustar os parâmetros de simulação tomou-se como referência trabalhos que modelam o comportamento tráfego no nível da camada de aplicação. Neste contexto, o tráfego é descrito em termos de chegadas de sessões, durações de sessões, e tamanhos de sessões (volume em bytes). A seguir apresentamos trabalhos de modelagem para cada aplicação.

##### 1) Modelagem do HTTP

O HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) é um protocolo do tipo requisição/resposta projetado para transferir arquivos *Web*. Trabalhos como de [3], [5], [6] mostram que o tamanho do objeto HTTP transmitido obedecem a uma distribuição com cauda pesada. A distribuição Pareto tem sido a mais utilizada para representar os valores deste parâmetro.

Para o tempo entre requisições de sessões, os modelos probabilísticos apresentados na literatura mostram que pode obedecer a uma distribuição exponencial ou Pareto. Trabalhos como [7] e [13] utilizam em suas simulações a distribuição Pareto com parâmetro de curvatura  $\alpha$  próximo de 1,2 para o tamanho de arquivos e a distribuição exponencial para tempo entre requisições de objetos.

##### 2) Modelagem do FTP

A cópia de arquivos de uma máquina para outra é uma das operações mais frequentemente utilizadas. O serviço FTP (*File Transfer Protocol*) permite que a transferência de dados entre o cliente e o servidor seja em ambas as direções.

Trabalhos como [11] e [12] mostram que a distribuição do tamanho de arquivos transferidos segue uma distribuição Pareto com  $0,9 \leq \alpha \leq 1,1$ , e trabalhos como [2] e [15] entre outros, descrevem que o tempo entre chegadas das conexões FTP obedece a uma distribuição exponencial.

##### 3) Modelagem do SMTP

O envio de uma mensagem de e-mail envolve a transmissão de dados de um agente de correio para um servidor de correio local ou remoto normalmente utilizando o protocolo SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*).

No trabalho de [11] mostra-se que a distribuição do tamanho dos objetos transferidos segue a distribuição Lognormal, e em [15] descreve-se que o tempo entre requisições de objetos SMTP obedece à distribuição exponencial.

#### V. ESTUDOS EXPERIMENTAIS

No intuito de melhor reproduzir as características reais de uma rede, neste trabalho analisamos as propriedades do tráfego através de duas abordagens distintas, assim como foi realizado em [7], [16]. A primeira abordagem relaciona a característica auto-similar do tráfego com o comportamento dos usuários ou das sessões, refletido através de tamanho de arquivos transferidos e tempo entre requisições de arquivos. A segunda abordagem relaciona as características do tráfego com a variação do comportamento da rede, refletido através de atrasos e perda de pacotes.

Ao variar-se o tamanho dos arquivos transferidos busca-se reproduzir o comportamento do usuário no que se refere ao tipo de conteúdo visitado ou transferido. Variando-se o tempo médio entre requisições de arquivos busca-se reproduzir a frequência de visitação ou transferência de tais arquivos. De forma semelhante, ao variarmos o atraso e perdas de pacotes busca-se reproduzir o comportamento de uma rede real.

Neste trabalho utilizou-se o simulador OPNET Modeler 7.0 [9] para simular uma simples rede IP suportando os protocolos das aplicações HTTP, FTP e SMTP.

As Figuras 1 e 2 mostram as duas topologias utilizadas nas simulações. A primeira topologia (Figura 1) descreve a simulação executada com um servidor e um usuário. A segunda topologia (Figura 2) utiliza-se um conjunto de 40 usuários que são conectadas a 2 servidores. Nas duas topologias as estações e os servidores estão interligadas a roteadores que estão separadas por uma nuvem IP, na qual ajustamos os parâmetros atraso e perdas de pacotes. Os *links* que interligam os servidores e estações aos roteadores são de 100Mbps, enquanto os *links* que interligam o roteadores e a nuvem IP são de 45 Mbps.

Foram realizadas diversas simulações variando-se os parâmetros relativos ao comportamento dos usuários e da rede, correspondendo cada execução a um período de 10.800 segundos simulados. Nas simulações, foram utilizados valores entre 6.000 e 300.000 bytes para tamanho médio dos arquivos transferidos, e entre 15 e 300s para o tempo médio entre requisições. A Tabela 2 apresenta um exemplo de como os valores do parâmetro H são obtidos para os diferentes valores de tamanho de arquivos e de tempo entre requisições de

arquivos.

As funções de distribuição dos parâmetros tamanho e tempo entre requisições dos arquivos utilizados na simulação estão descritas na Tabela 3. Já os valores de ajuste do atraso médio e perdas na nuvem IP estão descritas na Tabela 4.

Para a estimação do parâmetro auto-similar agregou-se o tráfego em um intervalo de 10ms, correspondendo a 1.080.000 amostras de tráfego. Para ambas as topologias o tráfego é medido no enlace existente entre a nuvem IP e o roteador 2. Neste trabalho estimou-se o parâmetro H através da análise wavelet, utilizando-se técnicas de multiresolução na decomposição do sinal de dados, e avaliando-se o comportamento dos coeficientes wavelets obtidos [1].

TABELA 2  
EXEMPLO DE VALORES DE PARÂMETROS DE HURST OBTIDOS PARA A APLICAÇÃO WEB

Tam.Médio (bytes)	Distribuição Médio do Arquivo	Tempo entre cheg. exp (15s)	Tempo entre cheg. exp (30s)	Tempo entre cheg. exp (60s)	Tempo entre cheg. exp (120s)	Tempo entre cheg. exp (180s)	Tempo entre cheg. exp (300s)
6000	Pareto (1000,1,2)	0.5677	0.5647	0.5522	0.5550	0.8661	0.8390
12000	Pareto (2000,1,2)	0.6914	0.6766	0.6213	0.7987	0.7470	0.5725
20000	Pareto (3333.33,1,2)	0.6409	0.7130	0.6999	0.6578	0.6659	0.6778
30000	Pareto (5000,1,2)	0.6242	0.6214	0.6969	0.6317	0.6710	0.7317
40000	Pareto (6666.66,1,2)	0.6492	0.6843	0.7269	0.6483	0.7706	0.7321
50000	Pareto (8333.33,1,2)	0.6885	0.6990	0.7154	0.6662	0.6935	0.6756
100000	Pareto (16666.66,1,2)	0.6804	0.6758	0.7281	0.8441	0.7301	0.6534
150000	Pareto (25000,1,2)	0.7018	0.7230	0.7712	0.8015	0.7688	0.7071
200000	Pareto (33333.33,1,2)	0.7292	0.7317	0.7685	0.8016	0.7711	0.7479
300000	Pareto (50000,1,2)	0.7032	0.7154	0.8193	0.7766	0.7564	0.8040

TABELA 3  
DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DOS PARÂMETROS DE CADA APLICAÇÃO

Protocolo da Aplicação	Tamanho dos arquivos	Tempo entre requisições
HTTP	Pareto $\alpha=1.2$	Exponencial
FTP	Pareto $\alpha=1.1$	Exponencial
SMTP	Lognormal	Exponencial

TABELA 4  
VALORES DE ATRASO E PERDA DE PACOTES UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES

Atraso(ms)	Perda (%)
80	0
80	3
80	9
80	18
150	0
150	3
150	9
150	18

No final deste trabalho, são apresentados alguns gráficos, Figuras 3 a 5, selecionados com o objetivo de ilustrar o comportamento auto-similar do tráfego simulado para cada aplicação, medido ao variar-se o tempo médio entre requisições de arquivos das aplicações, tamanho médio dos arquivos transferidos e variando-se os valores de perdas de pacotes e

atraso na nuvem IP.

As retas apresentadas nestes gráficos são aproximações lineares obtidas através do método dos mínimos quadrados do conjunto de pontos obtidos nas diversas simulações realizadas variando-se tanto o tamanho médio dos objetos transferidos quanto o tempo médio entre requisições de tais objetos. Tais retas de aproximação foram utilizadas com o objetivo de se encontrar a tendência do comportamento do parâmetro H em função de cada aplicação analisada.

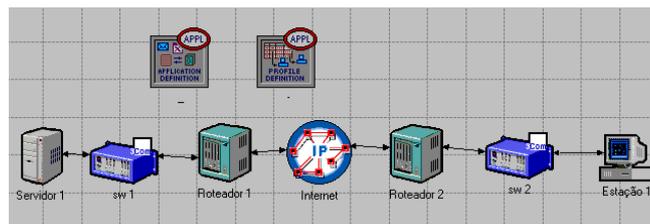


Fig. 1. Topologia 1: 1 Servidor e 1 Usuário

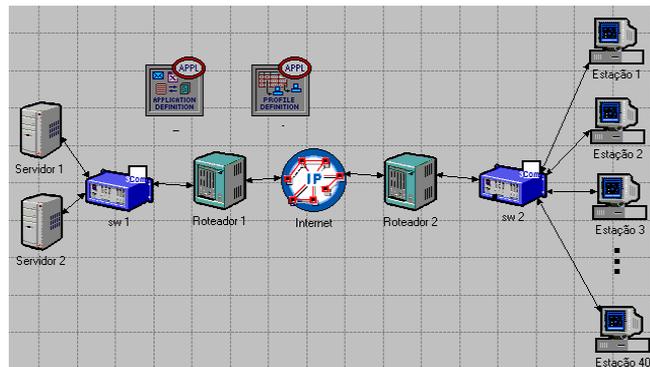


Fig.2. Topologia 2: 2 Servidores e 40 Usuários

## VI. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Percebe-se através dos gráficos apresentados nas Figuras 3(a) e 4 (a), (b) e (c) na qual está sendo utilizado apenas um usuário, que para as três aplicações analisadas há um crescimento do parâmetro auto-similar quando se eleva o tamanho médio dos objetos transferidos. Tal crescimento pode ser explicado utilizando-se como argumento o aumento da carga no enlace onde se estimou a auto-similaridade.

Desde as primeiras pesquisas na área de auto-similaridade, é sabido que o aumento da utilização dos enlaces de transmissão, provocado pelo aumento da carga nas estações tributárias deste enlace, modula a característica auto-similar do tráfego de forma a aumentar o grau de auto-similaridade presente. Mantendo-se fixo o tempo médio entre requisições, o aumento do tamanho médio dos objetos transferidos leva ao aumento da carga média experimentada pelo enlace, elevando-se sua utilização.

A diferença encontrada entre os valores obtidos para as três aplicações analisadas, explica-se principalmente através da

distribuição de cauda pesada do tamanho dos arquivos/objetos transferidos. Como já foi mostrado, as distribuições que melhor modelam os tamanhos dos arquivos FTP e HTTP são as distribuições com cauda pesada. Uma vez que o grau de indução de auto-similaridade é diretamente proporcional ao peso da cauda da distribuição do tamanho dos objetos transferidos, e considerando-se que o tamanho dos arquivos SMTP transferidos é melhor modelado pela distribuição lognormal, sendo esta uma com decaimento rápido [11], justifica-se assim a diferença obtida entre os valores das retas apresentadas nos gráficos da Figura 3.

Podemos perceber através destes gráficos que o FTP aparece como a aplicação que mais induz auto-similaridade, já que as retas desta aplicação estão sempre acima das outras duas aplicações.

Já para os gráficos das Figuras 3(b) e (c) e 5 (a), (b) e (c), podemos perceber que, para as aplicações *Web* e FTP, quando se eleva o tamanho médio dos objetos/arquivos transferidos, a auto-similaridade decresce, situação contrária ao observado anteriormente. Isto se deve principalmente ao fato de que a geração e a transmissão de mensagens de resposta consomem recursos de processador, memória e disco do servidor.

O compartilhamento destes recursos do servidor por um número maior de pedidos simultâneos (agora realizados com 40 clientes), aliado às perdas e atrasos da rede (nuvem IP), resultam em um atraso muito maior na geração, na transmissão das mensagens de resposta e na satisfação do usuário.

As aplicações HTTP e FTP por serem interativas, anteriormente mais robustas devido ao menor atraso percebido, agora se tornam mais sensíveis. Com o grande aumento destes atrasos, os usuários insatisfeitos, pode aumentar o cancelamento de suas sessões. Isto acarreta o aumento do número de novas requisições ou pode aumentar o disparo de atualizações (*refresh*), ocasionando uma sobrecarga ainda maior no servidor. As novas requisições levam ao aumento de perdas de pacotes devido ao transbordo de seus *buffers*, tendo como consequência a diminuição da vazão devido ao aumento de pacotes retransmitidos ocasionados pelo controle de fluxo e congestionamento do TCP. A diminuição da vazão no enlace causa a diminuição do grau da auto-similaridade.

Podemos perceber através dos gráficos das Figuras 4 e 5, que em geral, a auto-similaridade decai com o aumento do atraso e com o aumento das perdas de pacotes na nuvem IP. Vimos que a auto-similaridade apresenta menores valores para o caso de perda de pacotes de 18%, seguido para o caso de perdas de 9%, 3 % e por último, para o caso de perdas de 0%. Isto pode ser explicado pelo fato de que, com o aumento dos atrasos fim a fim e com o aumento das perdas de pacotes, o fluxo do tráfego no enlace é dominado então pelos pacotes de retransmissões devido aos mecanismos de controle de fluxo e congestionamento do TCP. Estas retransmissões reduzem a

vazão da carga útil da aplicação e como consequência à diminuição do parâmetro auto-similar. Esta característica também é constatada no trabalho [13].

## VII. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi apresentar o comportamento da característica auto-similar do tráfego em função de cada aplicação. Verificaram-se as características relativas ao parâmetro H para cada aplicação, variando-se os valores dos tamanhos médios dos arquivos transferidos, tempo médio entre requisições, atraso e perdas de pacotes como forma de reproduzir o comportamento dos usuários e da rede. Pôde-se perceber que o perfil do usuário e da rede influenciam fortemente no valor da auto-similaridade, assim como o tipo de aplicação predominante na rede.

Como trabalho futuro serão analisadas aplicações tais como vídeo conferência, VoIP e outras aplicações multimídias, uma vez que a participação de tais aplicações na composição do tráfego Internet vem crescendo a cada dia.

## REFERÊNCIAS

- [1] P. Abry and D. Veitch, "Wavelet analysis of long-range-dependent traffic." *IEEE Trans. on Information Theory*, 44, 2-15, 1998.
- [2] Javier Aracil, Richard Edell and Pravin Varaiya, "An empirical Internet traffic study." 35th Allerton Conference, Urbana, IL, October 1997.
- [3] Guangwei Bai, Carey Williamson, "Workload Characterization in Web Caching Hierarchies", *Proceedings of IEEE/ACM MASCOTS*, Fort Worth, TX, pp. 13-22, October 2002
- [4] K. Claffy, G. Miller and K. Thompson, "The nature of the beast: recent traffic measurements from an Internet backbone" at <http://www.caida.org/Papers/Inet98>.
- [5] Mark E. Crovella and Azer Bestavros, "Self Similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes," in *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 5(6):835-846, December 1997.
- [6] Allen B. Downey, "Evidence for long-tailed distributions in the Internet" appeared at the ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop in November 2001.
- [7] A. Feldmann, A. Gilbert, P. Huang and W. Willinger, "Dynamics of IP traffic: A study of the role of variability and the impact of control", in *Proc. ACM SIGCOMM*, September 1999.
- [8] W.E. Leland, M.S. Taqqu, W. Willinger, and D.V. Wilson, "On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version)," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, pp. 1-15, February 1994.
- [9] OPNET Technologies, Inc - OPNET Modeler (version 7.0), [www.opnet.com](http://www.opnet.com).
- [10] K. Park, G. Kim, and M. Crovella, "On the relationship between file sizes, transport protocols and self-similar network traffic". In *Proc. International Conference on Network Protocols*, pages 171-180, October, 1996.
- [11] Vern Paxson, "Empirically-derived analytic models of wide-area TCP connections," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 2, no. 4, pp. 316336, August 1994.
- [12] V. Paxson and S. Floyd, "Wide-area traffic: The failure of Poisson modeling," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 3, pp. 226-244, June 1995.
- [13] P. Pruthi, A. K. Jena, A. Popescu; "HTTP Interactions with TCP" appeared at 11<sup>th</sup> ITC Specialist Seminar on Multimedia and Nomadic Communications, Yokohama, Oct-27-29 1999.

- [14] K. Thompson, G. Miller, and R. Wilder, "Wide area internet traffic patterns and characteristics," *IEEE Network*, vol. 11, pp. 10–23, Nov. 1997.
- [15] M. Yuksel, B. Sikdar, K.S. Vastola, and B. Szymanski, "Workload generation for ns simulations of Wide Area Networks and the Internet". Proceedings of Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference, part of SCS Western Multiconference, San Diego, CA, Jan.2000.
- [16] F. Hwang, "Análise dos efeitos gerados pelo comportamento das aplicações e pelo perfil das redes na característica auto-similar do tráfego internet". Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, 2004.

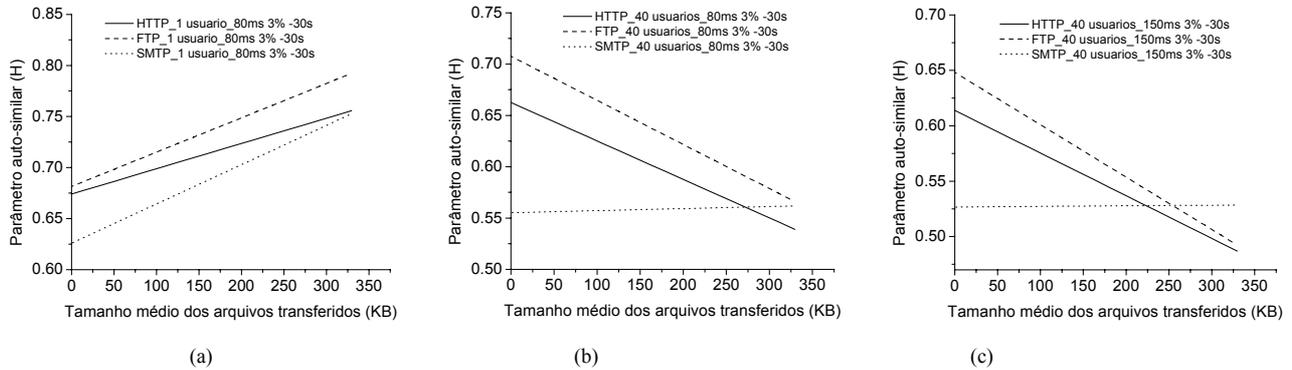


Fig. 3. Comparação do Parâmetro de Hurst estimado para diferentes tamanhos médios de arquivos transferidos executado para: (a) 1 usuário com atraso 80ms; (b) 40 usuários com atraso 80ms e (c) 40 usuários com atraso 150ms. Todos com perdas de pacotes 3%, e tempo médio entre requisições de arquivos 30s.

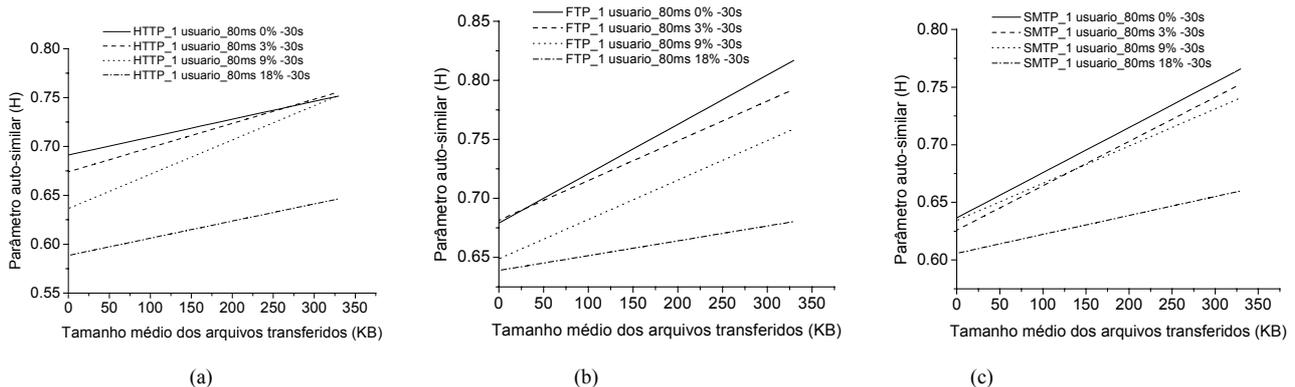


Fig. 4. Comparação do parâmetro de Hurst executado para 1 usuário, nuvem IP ajustado para atraso de 80ms, perdas de pacotes 0%, 3%, 9% e 18%, tempo médio entre requisições de arquivos 30s para as aplicações (a) Web, (b) FTP e (c) e-mail.

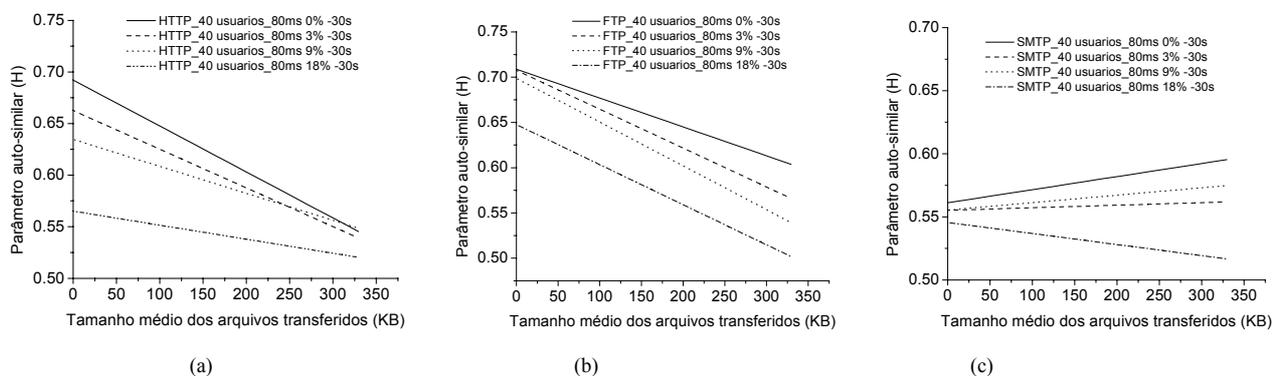


Fig. 5. Comparação do parâmetro de Hurst executado para 40 usuários, nuvem IP ajustado para atraso de 80ms, perdas de pacotes 0%, 3%, 9% e 18%, tempo médio entre requisições de arquivos 30s para as aplicações (a) Web, (b) FTP e (c) e-mail.