

# Controle de Admissão de Conexões de Vídeo com Dependência Temporal

Raniery Pontes\*

Rosângela Coelho<sup>†</sup>

Instituto Militar de Engenharia  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Praça General Tibúrcio, 80  
Rio de Janeiro 22290-270  
E-mail: coelho@ime.ub.br

## Resumo

Este artigo analisa o impacto da dependência temporal na determinação das regiões de admissão de conexões de vídeo. Foram considerados vários tamanhos de *buffer* e seqüências de vídeo apresentando diferentes níveis de dependência ou parâmetro de Hurst. Um resultado importante desta análise mostrou que fontes com dependência de longo e de curto alcance apresentaram regiões de admissão similares, para todas as classes de tráfego. Foram também obtidas regiões de admissão próximas ao limite superior fornecido pelo método de admissão Linear, mesmo para *buffers* longos. Para determinação do parâmetro de Hurst foram desenvolvidos três estimadores R/S, Higuchi e Abry-Veitch (*wavelet*).

## Abstract

Call admission control of time-dependent video connections is an important issue for network traffic engineering. The impact of this traffic dependence into video call acceptance region is examined in this article. We considered several buffer sizes and video sequences with different dependence degrees or Hurst parameter. One important result showed that long-range dependence present similar admission regions compared to short-range dependence for long buffer sizes and for all traffic classes. Moreover, these admission regions were close to the upper bound linear curve. The Hurst parameters of the video sequences were determined using R/S, Higuchi and Abry-Veitch (*wavelet*) estimators.

\*O autor é bolsista de mestrado pela CAPES.

<sup>†</sup>Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPERJ (processo E915664130/99) e pelo CNPq (processo 680072/95)

admissão foram próximas às curvas teóricas obtidas com o método Linear (limite superior). Resultados indicaram que a distribuição marginal das conexões provoca maior impacto na admissão do que a dependência de longo alcance (LRD).

## Referências

- [1] P. Abry and D. Veitch, "Wavelet Analysis of Long-Range Dependent Traffic," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 44, no. 1, pp. 2-15, 1998.
- [2] M. Barnsley et al, *The Science of Fractal Images*, Springer-Verlag New York Inc., USA, 1988.
- [3] J. Beran et al, "Long-Range Dependence in Variable Bit Rate Video Traffic," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 43, pp. 1566-1579, 1995.
- [4] R. Coelho and L. Decreusefond, "Statistical Performance of TV/HDTV Traffic over Broadband Digital Networks," in *Proceedings of GLOBECOM'98*, 1998.
- [5] R. Coelho, J. Monteiro, "Estudo Comparativo de Controles de Admissão para Redes Digitais de Serviços Integrados de Faixa Larga", *Anais do 10º Simpósio Brasileiro de Computadores*, Recife, p. 463-475, 1992.
- [6] R. Coelho and S. Tohmé, "A Generic Smoothing Algorithm for Real Time Variable Bit Rate Video Traffic," *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 2053-2066, 1998.
- [7] Z. Dziong, M. Juda and L. G. Mason, "A Framework for Bandwidth Management in ATM Networks - Aggregate Equivalent Bandwidth Estimation Approach," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 5, no. 1, pp. 134-147, 1997.
- [8] Z. Dziong and L. Mason, "Fair-Efficient Call Admission Control Policies for Broadband Networks - A Game Theoretic Framework", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 4, no. 1, pp. 123-136, 1996.
- [9] A. Elwalid and D. Mitra, "Effective bandwidth of general Markovian traffic sources and admission control of high speed networks," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 1, no. 3, pp. 329-343, 1993.
- [10] M. Grossglauser and D. Tse, "A Framework for Robust Measurement-Based Admission Control," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 7, no. 3, pp. 293-309, 1999.
- [11] R. Guérin, H. Ahmadi, M. Naghshineh, "Equivalent Capacity and Its Application to Bandwidth Allocation in High-Speed Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 9, no. 7, pp. 968-981, 1991.
- [12] F. P. Kelly, "Notes on Effective Bandwidths," in *Stochastic networks: Theory and Applications*, Royal Statistical Society Lecture Note Series 4, pp. 141-168. Oxford University Press, 1996.

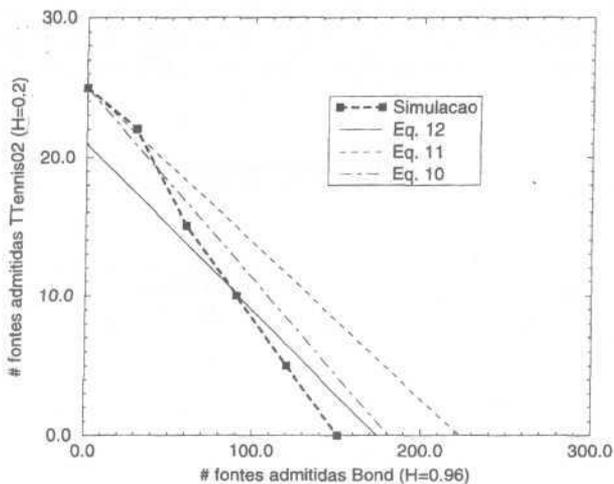


Figura 4: Regiões de Admissão para diferentes cálculos de banda efetiva (fontes  $TTennis02$ ,  $Bond$  e  $B = 10000$ )

- A região de admissão obtida por simulação sofreu maior influência da distribuição do processo de chegada do que do grau de dependência, mesmo considerando buffers longos. Neste caso, a distribuição marginal foi responsável pelo impacto no número de fontes admitidas. Nota-se uma diferença perceptível entre o número de fontes admitidas pelos métodos de CAC e os resultados de simulação. Esta diferença é inicialmente pequena quando o enlace contém apenas fontes com distribuição Gaussiana ( $TTennis$ ). A medida que o número de fontes  $Bond$  aumenta, os resultados de simulação passam a divergir cada vez mais dos resultados teóricos. A dificuldade em se obter a distribuição do processo de chegada acarreta na imprecisão do cálculo da banda efetiva. Logo, outros critérios tais como os baseados em medidas na rede devem ser investigados. Resultados de pesquisas envolvendo estes critérios serão apresentados em trabalhos futuros.

## 6 Conclusão

Neste trabalho foi examinado o desempenho de dois métodos de CAC para tráfego de vídeo com dependência temporal. Resultados de simulação demonstraram regiões de admissão similares para conexões de vídeo SRD e LRD, mesmo para buffers longos. Também verificou-se que para buffers longos (acima de 5000 células), as curvas de

Outra análise realizada, consistiu em avaliar o desempenho dos algoritmos de CAC para diferentes capacidades de transmissão. Esta análise equivale à inclusão de uma nova classe de fontes com taxa constante (CBR). A Figura 3 apresenta os resultados teóricos (método Linear) e de simulação para as fontes *TTennis05* e *TTennis08* com a inclusão de fontes CBR. Cada fonte CBR ocupa 10Mbps do link de transmissão.

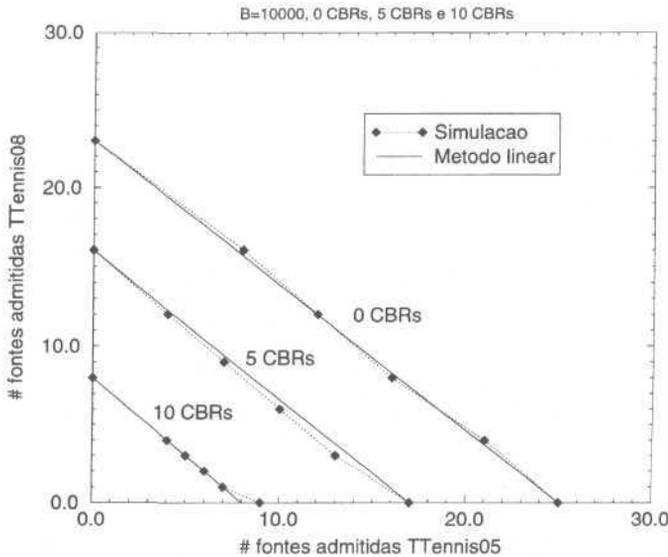


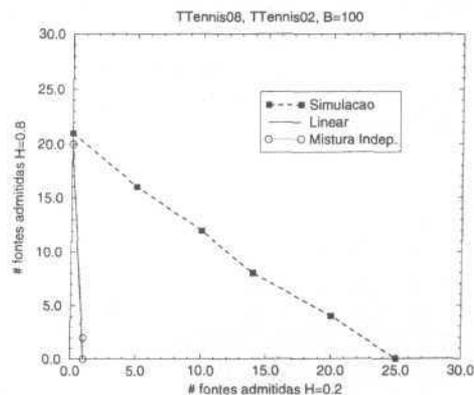
Figura 3: Regiões de Admissão com inclusão de fontes CBR

Percebe-se que os resultados do método Linear se mantiveram similares aos resultados de simulação nas três situações apresentadas (0, 5 e 10 fontes CBRs no enlace). Isto se deve ao fato das fontes *TTennis* terem sido modeladas através de um processo de chegada com características Gaussianas. Os resultados desta análise podem ser diferentes no caso de processos de chegada com outras distribuições e processos sem dependência [5].

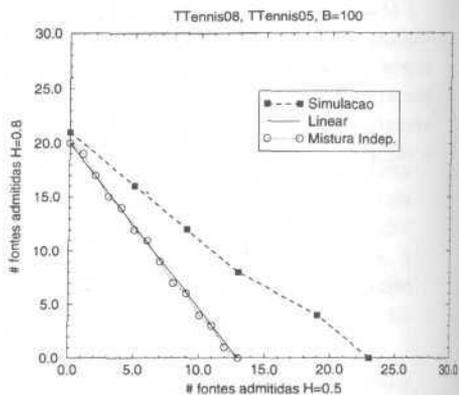
A Figura 4, apresenta as curvas teóricas (método Linear) e de simulação para diferentes cálculos de banda efetiva. O cálculo da banda efetiva foi realizado para fontes com dependência temporal (Eq. 10), fontes gaussianas e buffer não nulo (Eq. 11) e fontes gaussianas e buffer nulo (Eq. 12).

As curvas da Figura 4 foram determinadas para as fontes *TTennis02* e *Bond*,  $C = 155$  Mbps e  $B = 10000$ . Os principais resultados podem ser resumidos abaixo:

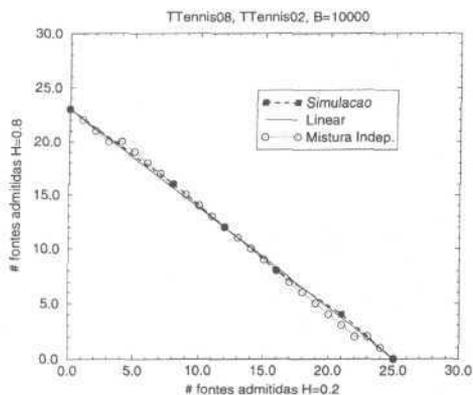
- A região teórica de admissão obtida com a aproximação para fontes gaussianas e buffer não nulo (Eq. 11) foi a mais otimista.



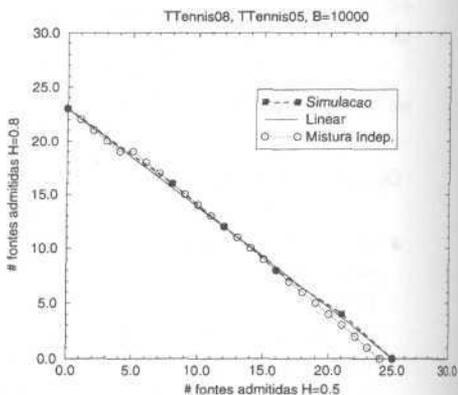
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2: Regiões de admissão, buffer=100 (a)(b) e buffer=10000 (c)(d).

Como indicado previamente nas Tabelas 2 e 3, os resultados teóricos das regiões de admissão são inconsistentes com as curvas de simulação no caso de buffers pequenos e  $H < 1/2$ . As Figuras 2.a e 2.b demonstram este fato, cuja explicação reside no cálculo incorreto da banda efetiva para as conexões. Em contrapartida, para buffers longos (Figuras 2.c e 2.d), os métodos Linear e Mistura Independente apresentam curvas muito próximas dos resultados de simulação. Este resultado difere do esperado (vide Figura 1). A "fragmentação" realizada pelo método Mistura Independente apenas reduziu a capacidade para cada fonte mas não teve influência na região de admissão. Neste caso, o uso do método Linear se mostra vantajoso visto que seu algoritmo é de fácil implementação (ainda que considerado otimista).

inicialmente obtidas regiões de admissão envolvendo as fontes *TTennis02*, *TTennis05* e *TTennis08*. Estas fontes diferem em seu grau de dependência, possuindo os mesmos valores de média e variância. As Tabelas 2 e 3 apresentam o número máximo de conexões admitidas em um enlace de capacidade  $C = 155$  Mbps, para diferentes tamanhos de buffer (em células). A Tabela 2 apresenta resultados teóricos, obtidos através da Eq. 10, enquanto a tabela 3 exibe resultados de simulação. Na Eq. 10, o valor de  $\epsilon$  foi aproximado pela *CLR*.

	B=100	B=500	B=1000	B=5000	B=10000
<i>TTennis02</i>	1	11	21	25	25
<i>TTennis05</i>	13	21	23	24	25
<i>TTennis08</i>	20	22	22	23	23

Tabela 2: Número de conexões admitidas a partir da Eq. 10

	B=100	B=500	B=1000	B=5000	B=10000
<i>TTennis02</i>	25	25	25	25	25
<i>TTennis05</i>	23	24	24	25	25
<i>TTennis08</i>	21	21	21	22	23

Tabela 3: Número de conexões admitidas por simulação

Os principais resultados mostrados nas tabelas 2 e 3 são:

- O cálculo de banda efetiva (Eq. 10) somente apresentou resultados válidos para buffers longos ( $B > 5000$ ) e valores de  $H > 1/2$ . Isto mostra que a Eq. 10 não deve ser aplicada para tráfego com dependência negativa ou sistemas com buffers pequenos. Este fato indica a necessidade de se investigar uma nova equação para banda efetiva que contemple todos os tipos de dependência temporal. O uso de buffers pequenos é requisito indispensável em aplicações de vídeo em tempo real. Além disto, indicações de dependência negativa tem sido encontradas em seqüências de vídeo controlado [4] e tráfego de dados [15], o que ressalta a importância de também considerar este tipo de tráfego na determinação da banda efetiva e nos métodos de CAC.
- O número de conexões admitidas por simulação para fontes LRD foi *similar* ao obtido para fontes SRD, mesmo para buffers longos. Isto confirma o resultado apresentado por Ryu [20], onde prova-se que tráfegos com LRD não possuem impacto significativo no desempenho de redes para cenários *realísticos* de CLR e tamanhos de buffer.

A Figura 2 apresenta os resultados das regiões de admissão obtidas através dos métodos Linear e Mistura Independente para diferentes tamanhos de buffers. Foram utilizadas as fontes *TTennis02*, *TTennis05* e *TTennis08*. Novamente, a capacidade do enlace de transmissão foi estipulada em 155 Mbps e os resultados teóricos baseiam-se na Eq. 10.

na seção 2. Estas seqüências diferenciam-se pelo seu grau de dependência temporal<sup>3</sup>, ou seja, foram geradas com diferentes valores de parâmetro de Hurst. As seqüências *TTennis02*, *TTennis05* e *TTennis08* possuem respectivamente  $H = 0.2$ ,  $H = 0.5$  e  $H = 0.8$ , representando três classes distintas de tráfego de vídeo.

A seqüência *Bond* foi codificada em MPEG1 com média  $m = 24308$  bits/quadro, desvio padrão  $a = 25694$  bits/quadro e taxa de amostragem de 25 quadros/seg. Esta seqüência foi convertida para representar o número de células por quadro (1 célula = 384 bits), resultando em uma nova seqüência com média  $m = 63.3$  cel/quadro e desvio padrão  $a = 66.9$  cel/quadro. Diferentemente das seqüências *TTennis*, a seqüência *Bond* possui uma distribuição marginal não-Gaussiana (aproximadamente exponencial). Esta escolha permitiu avaliar de forma mais precisa o impacto de diferentes distribuições na obtenção das regiões de admissão.

Foram realizadas simulações com base nas seqüências descritas acima. O objetivo foi a validação das regiões de admissão obtidas para os métodos de CAC segundo os cálculos teóricos de banda efetiva. Para determinar o número máximo de conexões que podem ser admitidas, as fontes foram multiplexadas em uma fila com buffer finito e serviço determinístico. Nas simulações, consideramos a taxa de perda<sup>4</sup> de células (CLR)  $CLR = 10^{-4}$ .

Na Tabela 1, são mostrados os resultados dos diferentes estimadores do grau de dependência para as seqüências investigadas.

	$\hat{H}$ (R/S)	$\hat{H}$ (Higuchi)	$\hat{H}$ (Abry-Veitch)
TTennis02	0.26	0.21	0.18
TTennis05	0.51	0.50	0.54
TTennis08	0.81	0.73	0.85
Bond	0.96	0.89	1.07

Tabela 1: Resultados para estimação do parâmetro de Hurst

Como notamos, os estimadores apresentaram bons resultados para as fontes geradas com o processo fBm. Já para a fonte *Bond*, os resultados apresentam uma certa discrepância. Isso é explicado pela condição não-Gaussiana desta fonte visto que os estimadores são mais apropriadas para processos com distribuição gaussiana.

O clássico e simples método R/S forneceu bons resultados em termos de precisão para as seqüências fBm. Portanto, pode ser ainda considerado um bom estimador para o parâmetro Hurst. Podemos também observar que os valores de  $H$  para a seqüência *Bond* indicam dependência de longo alcance ou persistência. Em particular, o valor estimado de  $H = 1.07$  para o estimador Abry-Veitch indica ausência de robustez deste estimador quando aplicado à seqüências com distribuição marginal não-Gaussiana.

Para avaliar o impacto do grau de dependência no processo de admissão, foram

<sup>3</sup>Os valores de média e desvio padrão foram mantidos com o objetivo de avaliar o impacto do grau de dependência nas regiões de admissão.

<sup>4</sup>Este valor de CLR foi escolhido devido a limitações de tempo de simulação.

dos. Assim, a região de admissão é obtida através do cálculo da banda efetiva para cada classe, considerada de forma individual. Denotando  $C_A^i(n)$  a banda requerida por  $n$  fontes da classe  $i$ , a região de admissão para o método da mistura independente é composta pelos valores de  $R = [n_1, n_2, \dots, n_N]$  tal que

$$\sum_{i=1}^N C_A^i(n_i) \leq C \quad (14)$$

Essa abordagem pode ser considerada pessimista, pois a multiplexação entre classes é ignorada.

No caso de duas classes, as regiões de admissão são bi-dimensionais e podem ser traçadas graficamente. A Figura 1 [5] mostra curvas limitantes típicas para regiões de admissão nos métodos Linear e Mistura Independente. Estas curvas representam os resultados esperados de acordo com a definição destes métodos.

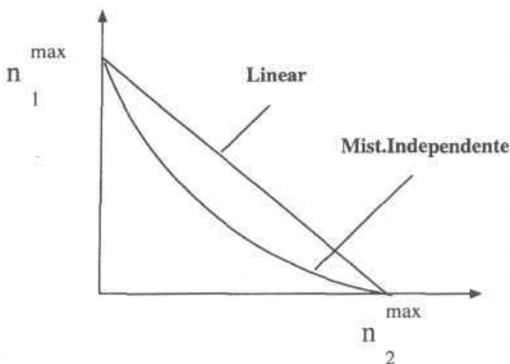


Figura 1: Regiões de admissão esperadas para os métodos Linear e Mistura Independente [5]

## 5 Resultados e Discussão

Para realização deste estudo, foi considerado o seguinte ambiente de análise. Foram escolhidas duas seqüências reais de vídeo: a seqüência *Table-Tennis*[6] e a seqüência *Bond* [19].

A seqüência *Table-Tennis* apresenta média  $m = 480$  cel/quadro, e desvio padrão  $cr = 96.7$  cel/quadro, com taxa de amostragem considerada igual a 30 quadros/seg. A partir dos parâmetros de média e variância desta seqüência, foram geradas novas seqüências *TTennis02*, *TTennis05* e *TTennis08*, modeladas pelo processo fBm. Estas seqüências foram geradas através do algoritmo *Midpoint displacement* apresentado

A segunda abordagem é mais conservativa e considera um sistema com serviço determinístico e buffer zero [11]. A banda  $C_A(n)$  para um agregado de  $n$  fontes pode então ser calculada como

$$C_A(n) = nm + \sqrt{n\sigma^2} \sqrt{-2 \ln(\epsilon) - \ln(2\pi)}. \quad (12)$$

Neste caso, o parâmetro de QoS,  $t$ , representa a probabilidade da taxa instantânea do processo de chegada ser superior a  $CA(n)$ .

Em ambos os casos, a regra de admissão permanece a mesma, ou seja, pode-se admitir  $n$  conexões em um enlace de capacidade  $C$  dado que  $C_A(n) < C$ .

## 4 Métodos de Controle de Admissão

Para analisar o controle de admissão para diferentes classes de tráfego de vídeo, foram considerados dois métodos de CAC, o método Linear e o método Mistura Independente [5]. Definindo  $n_i$  como o número de conexões pertencentes à classe  $i$ , e  $N$  o número total de classes, objetiva-se determinar os possíveis valores que o vetor  $R = [n_1, n_2, \dots, n_N]$  pode assumir tal que os requisitos de QoS das fontes não sejam violados. Este conjunto de valores de  $R$  é denominado região de admissão.

Em nosso estudo, cada classe de fontes é representada pelos respectivos parâmetros de média ( $m$ ), variância ( $a$ ) e parâmetro de Hurst ( $H$ ). Desta forma, o grau de dependência, representado pelo parâmetro de Hurst, é explicitamente incorporado ao método de admissão, permitindo analisar sua influência.

### 4.1 Método Linear

No método Linear, a região de admissão é obtida através de uma interpolação linear entre o máximo número de conexões  $n_i^{max}$  que pode ser admitido no enlace, para cada classe no caso homogêneo. Considerando  $C$  a capacidade do enlace e  $C_i = C/n_i^{max}$  a banda efetiva para cada conexão da classe  $i$ , a região de admissão para o método Linear pode ser expressa pelos possíveis valores de  $R = [n_1, n_2, \dots, n_N]$  tal que

$$\sum_{i=1}^N n_i C_i \leq C \quad (13)$$

onde  $N$  indica o número de classes de tráfego. Para uma dada capacidade  $C$ , o conjunto de valores  $n_i^{max}$  especifica completamente a região de admissão. O método Linear é considerado o mais otimista, visto que ignora a interferência entre classes. Este método apresenta um limite superior para a região de admissão.

### 4.2 Método da Mistura Independente

Neste método, a capacidade do enlace  $C$  é "fragmentada" entre as diferentes classes de tráfego. Os ganhos de multiplexação estatística entre classes não são considera-

Este estimador apresenta baixa complexidade computacional visto que a decomposição em *wavelets* pode ser realizada através de algoritmos rápidos. Uma explanação detalhada deste método pode ser encontrada em [1] e [22].

### 3 Determinação da Banda Efetiva

Existem na literatura várias definições para o termo banda efetiva ou banda equivalente [12][9]. A maioria destas definições não envolve o conceito de dependência temporal [11][9]. Para fontes com dependência temporal, Norros propôs uma aproximação para o cálculo da banda passante  $C_A(n)$  requerida por  $n$  fontes homogêneas em um sistema com serviço determinístico e buffer infinito  $Q$  [18].

Considere que cada conexão possui média  $m$ , parâmetro de variância  $a$  e parâmetro  $H$ . Se  $e = P(Q > b)$ , representa a probabilidade de que o buffer  $Q$  seja maior que um limite  $b$ , a banda  $CA(n)$  requerida pelo agregado de conexões é dada por

$$C_A(n) = nm + (\kappa(H)\sqrt{-2 \ln \epsilon})^{1/H} a^{1/(2H)} b^{-(1-H)(nm)^{1/(2H)}} \quad (10)$$

onde  $\kappa(H) = H^H(1-H)^{1-H}$ . A banda efetiva de cada conexão pode então ser calculada como  $C_{ej} = C_A(n)/n$ .

A cada solicitação de uma nova conexão e considerando-se  $n$  conexões admitidas em um enlace de capacidade  $C$ , a regra de admissão pode ser definida da seguinte maneira:

1. determina-se a banda ocupada pelo agregado de conexões incluindo a nova conexão  $C_A(n+1)$ , onde  $j = n + 1$ ;
2. a conexão só será aceita se  $C_A(n+1) < C$ . Neste caso, a banda efetiva individual vale  $C_{ej} = C_A(n+1)/(n+1)$  e portanto  $C_{ej} < C - C_A(n)$ . Caso contrário a conexão é rejeitada.

Deve-se notar que a banda efetiva é calculada para fontes homogêneas. Para determinar o número de conexões considerando-se fontes heterogêneas, utilizamos métodos de admissão, como os descritos na seção 4.

Para o estudo comparativo, foi também considerado o cálculo da banda efetiva envolvendo fontes sem dependência temporal [12][11]. Foram analisadas duas abordagens baseadas em fontes com distribuição marginal gaussiana.

A primeira abordagem considera um sistema com serviço determinístico e buffer infinito  $Q$ . A banda passante para um agregado de  $n$  fontes  $C_A(n)$  é dada por [12]

$$C_A(n) = nm - \frac{n\sigma^2}{2b} \epsilon \quad (11)$$

onde  $m$  e  $\sigma^2$  representam respectivamente a média e variância das fontes de tráfego e  $e = P(Q > b)$  é o parâmetro de QoS. Esta abordagem equivale a um caso particular da Eq. 10, para  $H = 1/2$  (SRD) e  $\sigma^2 = am$ .

$$2^{\text{TM}} = \{Y(m), r(m+k), Y(m+2k), \dots, Y(m + \lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor k)\}, \quad (7)$$

onde  $k = 1, 2, \dots, N$ ,  $m = 1, 2, \dots, k$ , e o operador  $\lfloor x \rfloor$  representa o maior inteiro inferior a  $x$ .

Para cada seqüência  $Z_k^m$ , calcula-se o comprimento normalizado da curva:

$$L_m(k) = \frac{N-1}{k^2 \lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor} \mathbf{E} \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor} |Y(m+ik) - Y(m+(i-1)k)| \quad (8)$$

e define-se o comprimento da curva para cada intervalo  $k$  como

$$L(k) = \frac{1}{k} \sum_{m=1}^k L_m(k). \quad (9)$$

Verifica-se que  $E[L(k)] \sim C_2 k^{-D}$  para  $k \rightarrow \infty$ , onde  $D = 2 - H$ . Novamente, o parâmetro  $H$  pode ser estimado através de regressão em um gráfico de  $\log L(k)$  por  $\log(k)$ .

### 2.1.3 Estimador Abry-Veitch

O estimador Abry-Veitch decompõe uma seqüência de amostras em coeficientes de aproximação (passa-baixa) e detalhe (passa-alta) através da transformada discreta de *wavelet* (DWT).

Estes coeficientes são obtidos através de filtros digitais especialmente projetados. Partindo de seqüência de amostras original, sucessivas seqüências de aproximação e detalhe são calculadas. Estas seqüências são obtidas aplicando-se filtragem digital de forma recursiva, ou seja, a saída de um estágio de filtragem é novamente aplicada ao estágio de filtragem e assim por diante. *Cada nova seqüência pertence a uma escala  $j$  e os coeficientes resultantes são indexados com relação à sua escala  $j$  e tempo  $k$ . Pode-se mostrar que os coeficientes de detalhe  $d(j,k)$  apresentam relação com o parâmetro de Hurst.*

O estimador pode ser descrito em três estágios:

1. Decomposição em *wavelets*: A transformada discreta de *wavelet* é aplicada nos dados, gerando os coeficientes de detalhe  $d(j,k)$ ;
2. Estimação da variância dos coeficientes de detalhe: Para cada escala  $j$ , obtém-se uma estimativa da variância dos coeficientes  $d(j,k)$  denominada  $\mu_j$ . Como estes coeficientes possuem média nula, tem-se  $\mu_j = (1/n_j) \sum_k d(j,k)^2$ , onde  $n_j$  indica o número de coeficientes obtidos na escala  $j$ . Pode-se mostrar que o valor de  $E[\mu_j]$  segue uma lei de potência em  $j$  com expoente  $a = 2H - 1$ .
3. Estimação do parâmetro  $H$ : Traça-se o gráfico de  $y_j = \log_2(\mu_j)$  por  $j$ . Através de regressão linear ponderada, obtém-se a inclinação  $a$  do gráfico e portanto, a estimativa do parâmetro  $H = (1 + \alpha)/2$ .

## 2.1 Estimadores do parâmetro de Hurst

Neste trabalho, foram desenvolvidas três abordagens para a estimação do grau de dependência ou parâmetro de Hurst : a estatística R/S (*Rescaled adjusted range*) [21], o método de Higuchi [21] e o estimador Abry-Veitch baseado em *wavelets* [1]. O objetivo foi a obtenção de uma maior precisão na estimação do grau de dependência.

### 2.1.1 Estatística R/S

A estatística R/S foi definida por Hurst (1951), para investigar e manter a regularização do fluxo do rio Nilo, através da construção de reservatórios de água. O estimador R/S consiste em um dos mais conhecidos e simples métodos para estimar o grau de dependência de uma seqüência amostrai.

A estatística R/S é calculada como segue. Considere uma seqüência de amostras aleatórias  $\{X_i\}$  com somas parciais  $Y(n) = \sum_{i=1}^n X_i$  e variância amostrai  $S^2(n) = (1/n) \sum_{i=1}^n X_i^2 - (1/n)^2 Y(n)^2$ . A estatística R/S é dada por

$$R(n)/S(n) = \frac{1}{S(n)} \left[ \max_{0 \leq t \leq n} (Y(t) - (t/n)Y(n)) - \min_{0 \leq t \leq n} (Y(t) - (t/n)Y(n)) \right], \quad (6)$$

Verifica-se que  $E[R(n)/S(n)] \sim C_1 n^H$  para  $n \rightarrow \infty$ , onde  $C_1$  é uma constante positiva.

Considerando-se uma seqüência de tamanho  $N$ , deve-se subdividi-la em  $K$  blocos de tamanho  $K/N$ . Para valores de  $n < K/N$  são obtidas  $K$  estimativas de  $R(n)/S(n)$  calculadas em cada bloco. Caso  $n$  seja maior que o tamanho do bloco ( $n > K/N$ ) obtém-se tantos valores de  $R(n)/S(n)$  quanto possível, partindo-se dos pontos iniciais de cada bloco. O valor do parâmetro  $H$  pode ser estimado através de regressão linear sobre os pontos obtidos, em um gráfico log-log de  $R(n)/S(n)$  versus  $n$ .

Neste processo deve-se escolher uma faixa de valores válidos para  $n$ , ou seja,  $n$  e  $[n_{inf}, n_{sup}]$ . Para  $n < n_{inf}$ , os resultados assintóticos para a estatística R/S ainda não se manifestam, sendo afetados por efeitos de dependência de curto prazo. Por outro lado, para  $n > n_{sup}$  existem poucos pontos disponíveis para obter estimativas razoáveis de  $E[R(n)/S(n)]$ .

### 2.1.2 Método de Higuchi

O método de Higuchi considera a dimensão fractal<sup>2</sup>  $D$  de uma série temporal. Considere uma seqüência de amostras aleatórias  $\{X_i\}$ ,  $i = 1, \dots, m$  com somas parciais  $Y(m) = X_1 + X_2 + \dots + X_m$ . Podemos obter as seguintes seqüências parciais de amostras

<sup>2</sup>O conceito de dimensão fractal inserido no escopo à Geometria Fractal, desenvolvida por Mandelbrot nos anos 70/80, vide [2].

Um conjunto de amostras  $X_H(t, T)$ , é considerado um processo estocástico fBm, para qualquer  $t_0$  e  $r > 0$ , se,

$$[X_H(t + \tau) - X_H(t)]_{\tau > 0} \stackrel{d}{=} r^{-H} [X_H(t + r\tau) - X_H(t)]_{\tau > 0} \quad (2)$$

onde os incrementos são estacionários e auto-similares,  $r$  é o re-escalamento do processo e  $s$  indica equivalência em distribuição.

Assumindo  $t_0 = 0$ , obtém-se

$$[X_H(r\tau)]_{\tau \geq 0} \stackrel{d}{=} [r^{-H} X_H(\tau)]_{\tau \geq 0} \quad (3)$$

Neste caso, as características do processo  $X_H(t)$  variam de acordo com a faixa de valores fornecidos pelo parâmetro  $H$ . Assim, definimos que para

- $\frac{1}{2} < H < 1$  : temos um processo de dependência de longo alcance (LRD) ou persistente.
- $H = \frac{1}{2}$  : temos um processo de dependência de curto alcance (SRD).
- $0 < H < \frac{1}{2}$  : temos um processo de dependência negativa ou anti-persistência<sup>1</sup>.

Para representar o processo de chegadas em um multiplexador estatístico, Norros [18] propôs uma variação para o processo fBm. Considerando-se que  $A(t)$  indica o número de células que chegam ao multiplexador até o instante  $t$ , temos

$$A(t) = mt + \sqrt{am} X_H(t) \quad (4)$$

onde  $m$  representa a taxa média do processo de chegada (em células por segundo) e  $a$  denota o parâmetro de variância. Em nossa análise, consideramos  $A(t)$  como o processo de chegadas representando cada conexão de vídeo.

Para a geração de amostras fBm, foi utilizado neste trabalho o método *Midpoint displacement* proposto em [2]. Neste método iterativo, a variância da diferença entre as amostras geradas é definida como

$$\text{Var}[X(t_n) - X(t_{n-1})] = |t_n - t_{n-1}|^{2H} \sigma^2 \quad (5)$$

Cada amostra  $X(t_n)$  possui distribuição Gaussiana com média zero e variância  $\sigma^2$ .

Para a determinação do grau de dependência das seqüências investigadas, foram implementados os estimadores R/S, Higuchi e Abry-Veitch. Estes estimadores estão descritos na seção 2.1.

<sup>1</sup>Alguns autores consideram este processo também como dependência de curto prazo. Vide J. Beran, *Statistics for Long-Memory Processes*, Chapman & Hall, 1994, pp. 53.

os mecanismos baseados em Teoria dos Jogos [8] e em critérios econômicos, como o método de *Pricing* [17], entre outros.

Em nosso estudo, abordamos os mecanismos de CAC baseados em banda efetiva. Para obtenção das regiões de admissão considerando os diferentes tipos de conexão, foram abordados dois métodos de CAC, o método Linear [5] e o método da Mistura Independente [5]. Para o cálculo da banda efetiva, as conexões de vídeo foram modeladas por um processo baseado no movimento Browniano fracionário (fBm). Foram investigadas classes de tráfego de vídeo contemplando diferentes graus de dependência. A análise foi realizada a partir de um estudo comparativo das regiões de admissão, obtidas com resultados teóricos e de simulação. Em [23] também foi investigado o controle de admissão para tráfego com dependência, baseado na lei de escalamento proposta em [13]. No entanto, este método somente considera conexões com mesmo grau de dependência. Em nosso estudo, foram geradas seqüências de vídeo representando processos com dependência de longo alcance (LRD) ou persistência [3], dependência de curto alcance (SRD) e dependência negativa ou anti-persistência [4][15]. Uma seqüência real de vídeo (*trace*) também foi utilizada para a análise comparativa. Para a obtenção de uma melhor estimativa do parâmetro de Hurst das seqüências, foram implementados três estimadores: R/S, Higuchi e Abry-Veitch (*wavelet*).

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados os modelos estatísticos utilizados para o cálculo da banda efetiva. Na seção 3, é apresentada a formulação utilizada para o cálculo da banda efetiva para fontes com dependência temporal. A seção 4 apresenta os dois métodos de CAC utilizados neste trabalho. Os resultados obtidos com a aplicação destes métodos são vistos na seção 5. Finalmente a seção 6 apresenta a conclusões deste trabalho.

## 2 Tráfego de Vídeo para o Cálculo da Banda Efetiva

Para o cálculo da banda efetiva, as fontes de vídeo com dependência temporal foram modeladas pelo processo movimento Browniano fracionário [16]. Para descrição deste processo fBm, considere a definição de um movimento Browniano puro. O movimento Browniano  $X(t)$  corresponde a uma família de variáveis aleatórias Gausianas indexadas em  $M$  com média zero, caminhos amostrais contínuos (nulos no instante zero) e variância de seus incrementos proporcional a suas diferenças temporais segundo a expressão

$$\text{Var}[X(t_2) - X(t_1)] \propto |t_2 - t_1|^{2H} \quad (1)$$

para  $0 < t_1 < t_2 < 1$ . O parâmetro  $H$  ou Hurst é denominado grau de dependência ou similaridade. Para o movimento Browniano puro temos  $H = 1/2$ .

Mandelbrot [16] definiu o processo fBm,  $X_H(t)$ , para representar uma série de variáveis aleatórias com determinado grau de dependência ou similaridade. Portanto, diferentemente do movimento Browniano puro, o processo fBm possui valores de  $t_f$  e  $[0, 1]$ .

# 1 Introdução

Os enormes avanços das técnicas de compressão/armazenamento de imagens e o desenvolvimento de aplicações comerciais e residenciais tais como videoconferência, WEB-TV e vídeo sob demanda tornaram o tráfego de vídeo um dos mais promissores para as redes ATM. Além disso, o tráfego de vídeo com taxa de transmissão variável, permite que a rede explore a multiplexação estatística entre as conexões. Estas características interessantes elevaram no entanto, a complexidade do controle de congestionamento preventivo nas redes ATM.

O controle de admissão de conexões (CAC) é um importante estágio deste controle de congestionamento preventivo. A função preventiva do CAC consiste em decidir sobre a aceitação ou rejeição de conexões garantindo a Qualidade de Serviço (QoS) requisitada. Os métodos CAC devem também alcançar o maior nível possível de utilização da rede, evitando o desperdício de recursos como banda passante e buffers.

O desempenho da função preventiva do CAC depende de uma caracterização mais precisa da distribuição do tráfego de vídeo. Recentemente, identificou-se que diversos tipos de tráfego apresentam grau de dependência ou similaridade [14] [3]. Este grau de dependência, expresso pelo parâmetro de Hurst [16] tem impacto no desempenho da rede e portanto, deverá influenciar nas decisões de admissão das conexões. O tráfego de vídeo apresenta uma inerente dependência temporal devido ao processo de codificação do sinal. O objetivo deste estudo consiste em avaliar a influência do grau de dependência temporal no processo de admissão de conexões de vídeo.

Os mecanismos de CAC podem ser classificados de acordo com seu critério de decisão. Os principais mecanismos são:

1. Mecanismos baseados em banda efetiva
2. Mecanismos baseados em medidas
3. Mecanismos não convencionais

A *banda efetiva* ou banda equivalente pode ser definida como a quantidade de recursos da rede (banda passante) que deve ser alocada para uma determinada conexão satisfazendo-se seus requisitos de QoS. Para uma dada conexão  $i$ , a banda efetiva  $C_{ei}$  pode ser definida pela capacidade de um enlace  $C$  dividida pelo máximo número de fontes do tipo  $i$  que podem ser admitidas,  $n_i^{max}$ . O cálculo de  $n_i^{max}$  é função dos parâmetros estatísticos das fontes de tráfego e parâmetros da rede ou seja, tamanho do buffer, taxa do enlace e os requisitos de QoS.

Os mecanismos de CAC baseados em medidas [7] [10] realizam decisões de admissão utilizando medições obtidas na rede, em tempo de execução. Estas medições realimentam o controle de admissão com parâmetros reais do estado da rede tais como a média e variância do processo de chegada. Estes métodos podem ser também utilizados para validação dos parâmetros declarados e do cálculo da banda efetiva.

A classe de mecanismos não convencionais envolve mecanismos de CAC que utilizam abordagens não usuais em engenharia de redes. Pertencem a esta classe

- [13] K. Krishnan, A. Neidhardt, A. Erramilli, "Scaling Analysis in Traffic Management of Self-Similar Processes", *Proceedings of ITC-15*, Washington D.C., pp. 1087-1096, 1997.
- [14] 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*, vol. 2, no. 1, pp. 1-15, 1994.
- [15] Q. Li and D. L. Mills, "Investigating the Scaling Behavior, Crossover and Anti-persistence of Internet Packet Delay Dynamics," *Proc. IEEE Globecom '99*, Brazil, pp. 1843-1852, 1999.
- [16] B. B. Mandelbrot and J. W. Van Ness, "Fractional Brownian motions, fractional noises and applications," *SIAM Rev.*, vol. 10, pp. 422-437, 1968.
- [17] J. Murphy, L. Murphy and E. C. Posner, "Distributed pricing for Embedded ATM Networks," in *Proceedings of 14th ITC*, pp. 1053-1063, 1994.
- [18] 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, 1995.
- [19] O. Rose. "Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems". Proceedings of the 20th Annual Conference on Local Computer Networks, Minneapolis, MN, 1995, pp. 397-406. Traces available in [ftp-info3.informatik.uni-wuerzburg.de /pub/MPEG/](ftp://info3.informatik.uni-wuerzburg.de/pub/MPEG/)
- [20] B. Ryu, "The importance of Long-Range Dependence of VBR Video Traffic in ATM Traffic Engineering: Myths and Realities," *Proceedings of ACM/SIGCOMM*, pp. 3-14, 1996.
- [21] M. Taqqu, V. Teverovsky and W. Willinger, "Estimators for Long-Range Dependence: An Empirical Study", *Fractals*, vol 3, no. 4, pp. 785-788, 1995.
- [22] D. Veitch, P. Abry, "A wavelet-based joint estimator of the parameters of long-range dependence," *IEEE Trans. on Info. Theory*, Special Issue on Multiscale Statistical Signal Analysis and its Applications, vol. 45, no. 3, pp. 878-897, 1998.
- [23] J. Wang, A. Erramilli, "A Connection Admission Control Algorithm for Self-Similar Traffic," *Proceedings of IEEE Globecom'99*, Brazil, pp. 1623-1628, 1999.