

Novos Descritores para Tráfego Multimídia e Aplicações

Sidney C. de Lucena^{12*}, Rosa M. M. Leão¹, Edmundo A. de Souza e Silva¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro
COPPE/Prog. de Eng. de Sistemas e Computação
Caixa Postal 68511, Rio de Janeiro, RJ 21941-972

²RNP - Rede Nacional de Ensino e Pesquisa
Estrada Dona Castorina, 110
Rio de Janeiro, RJ 22460-320

sidney@rnp.br, {edmundo, rosam}@land.ufrj.br

Abstract. *Predicting packet losses related measurements in a multimedia network is an issue that has received considerable attention over the last years. The development of models that produce accurate results is still a research area, due to the characteristics of the traffic generated by applications. In the present article it is proposed a Markovian model to represent the traffic generated by video applications and aggregated traffic. The model incorporates a performance parameter and new descriptors obtained from the duration of traffic overloads periods with respect to a given packet rate. Studies using MPEG4 coded video traffic and WAN traffic from Abilene network show that the proposed model predicts loss rates with good precision for a relevant parameter range.*

Resumo. *Predizer medidas relacionadas com a perda de pacotes em uma rede multimídia é um problema que tem recebido muita atenção nos últimos anos. A criação de modelos que produzam resultados precisos é ainda objeto de pesquisa, dado as características dos tráfegos gerados pelas aplicações. Neste artigo é proposto um modelo markoviano para representar o tráfego gerado por aplicações de vídeo e tráfego agregado. O modelo incorpora um parâmetro de desempenho e novos descritores obtidos a partir da duração de sobrecargas de tráfego em relação a uma dada taxa. Estudos usando tráfegos de vídeo codificados em MPEG4 e tráfegos WAN da rede Abilene mostram que o modelo prevê taxas de perda com boa precisão para uma faixa de parâmetros relevante.*

1. Introdução

O objetivo da modelagem de tráfego é obter um ferramental matemático capaz de tratar probabilisticamente o impacto, na qualidade final das transmissões, dos recursos de rede. Nos últimos quinze anos, foram propostos vários descritores de tráfego e estudados a sua eficácia em capturar as estatísticas mais relevantes deste tráfego. Basicamente, as pesquisas e propostas que surgiram desenvolveram-se visando casar as distribuições de taxa e funções de autocorrelação dos modelos com as dos tráfegos reais. As exceções que podem ser consideradas são as que se valem das características multi-fractais de determinados tipos de tráfego. Assim sendo, a motivação inicial deste trabalho foi o da pesquisa por novos descritores de tráfego que sirvam de base para parametrizar um modelo, de

*Este trabalho é parte da tese de doutorado de Sidney C. de Lucena, que contou com bolsa da CAPES entre os anos de 1997 e 2001.

forma mais simples do que para outros modelos existentes, e que este possa prever com precisão a fração de perda de pacotes em uma fila.

Em [Taralp et al., 1998], Taralp, Devetsikiotis e Lambadaris mostram que modelos possuindo mesma distribuição de taxa e mesma função de autocorrelação podem exibir distribuições absolutamente diferentes para a ocupação de uma fila infinita. No trabalho aqui presente, para se diferenciar estatisticamente modelos que possuam mesma distribuição de taxa e mesma função de autocorrelação, considerou-se o comportamento dos níveis de taxa e ainda a duração dos períodos nos quais o tráfego originado permanece acima destes níveis.

Através de gráficos no \mathcal{R}^3 mostrando a distribuição da duração dos períodos onde o tráfego encontra-se acima de um certo nível de taxa, para diversos níveis de taxa (ver seção 2.1), é possível diferenciar modelos que contenham a mesma distribuição de taxa e função de autocorrelação. Da mesma forma, é possível mostrar que estes modelos causam impacto diferenciado na distribuição da perda de pacotes dada uma taxa de serviço e diversos tamanhos de fila. Em outro estudo aqui apresentado, comparou-se dois diferentes modelos, com funções de autocorrelação distintas, caracterizando uma mesma seqüência. Neste exemplo também foi possível relacionar as probabilidades de perda com as respectivas distribuições para a duração dos períodos de tempo onde a taxa de chegada de pacotes de cada modelo esteve acima de cada taxa de serviço.

Diante destes exemplos, ficou claro que esta nova abordagem é útil para descrever tráfegos e é uma alternativa para a construção de modelos de tráfegos. Mais ainda, a interpretação desta informação é intuitiva e permite a construção de modelos direcionados para a obtenção das medidas de interesse desejadas, dependentes de um parâmetro apenas a ser considerado na medida de desempenho: a taxa de serviço da fila sujeita ao tráfego. Este tipo de abordagem foi recentemente considerado em outros trabalhos [Schwefel and Lipsky, 2001].

Assim sendo, procurou-se caracterizar a distribuição das durações de *sobrecarga* e das durações de *folga*, onde *sobrecarga* e *folga* dizem respeito, respectivamente, a volumes de tráfego acima e abaixo da taxa de serviço da fila. O modelo de tráfego proposto é markoviano e os estados da cadeia de Markov aproximam os tempos de sobrecarga ou folga. A cada estado associam-se valores de taxa de acordo com aquelas praticadas durante os respectivos períodos. O modelo proposto possui apenas seis estados, o que o torna bastante atrativo em termos de custos computacionais para métodos analíticos de solução e simulações.

A eficiência da proposta pode ser mostrada pelos testes executados onde uma seqüência MPEG4 é modelada para avaliação do modelo resultante. É notório que tais seqüências caracterizam-se pela dificuldade de se capturar estatisticamente seu comportamento e prever medidas de perda. Também foi usada uma seqüência de tráfego WAN para os testes. Os resultados aqui obtidos demonstram que a estratégia de usar as definições de sobrecarga e folga simplificam o problema e possibilitam prever com boa aproximação a fração de perda ao longo de uma extensa faixa para tamanhos máximos de fila.

Seguindo o que está dito acima, a seção 2 refaz os estudos publicados em [Taralp et al., 1998] e apresenta a nova proposta para descritores de tráfego. Estes descritores são então utilizados para comparar modelos distintos para uma mesma seqüência de tráfego de acordo com as perdas para uma fila de tamanho fixo onde sua capacidade é variada. A seção 3 traz a proposta de modelagem - o **modelo de sobrecarga-folga** - que é baseado nos descritores investigados na seção 2. A seção 4 mostra resultados para o modelo de sobrecarga-folga usando seqüências MPEG4 e de tráfego WAN e atestando

a eficiência da proposta. Por fim, a seção 5 traz as conclusões do trabalho.

Para o restante da leitura é conveniente dizer que a **carga** de uma fila é definida neste trabalho como sendo a razão da taxa média do tráfego de chegada ($\bar{\lambda}$) pela taxa de serviço da fila (μ), ou seja, $\bar{\lambda}/\mu$.

2. Desempenho de Modelos com mesma Distribuição de Taxa e mesma Autocorrelação

Os modelos usados em [Taralp et al., 1998] para verificar o comportamento numa fila infinita de $P[Q > x]$ (onde Q é o tamanho da fila), todos possuindo mesma distribuição de taxa e mesma função de autocorrelação, são o *Spatial Renewal Process*, o *Extended TES* e o *Distorted Gaussian* (ver artigo citado). Graças aos geradores de seqüência para estes três modelos gentilmente cedidos pelos autores, o mesmo teste é aqui apresentado, mas desta vez focando o comportamento da perda numa fila finita.

Os descritores usados em [Taralp et al., 1998] foram aqui recalculados e apresentados. A Figura 1 traz a distribuição de taxa e a função de autocorrelação para os três modelos. Pode-se notar que as curvas para cada descritor são muito próximas e possuem um formato normalmente encontrado em seqüências amostrais de tráfego agregado.

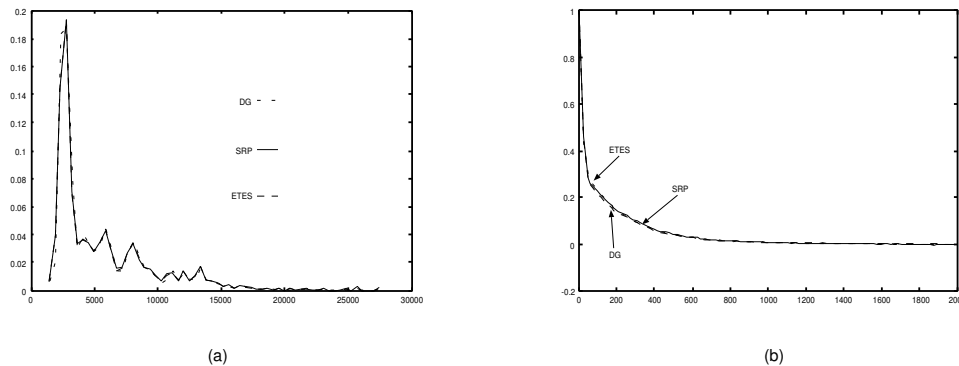


Figure 1: (a) Distribuição de taxa para modelos e (b) Função de autocorrelação para modelos

Na Figura 2, podemos visualizar a fração de perda para estes modelos dado uma fila finita com carga de 33%. A fração de perda é mostrada em função do tamanho máximo da fila num gráfico em escala $\log x \log$. É possível notar diferenças significativas na fração de perdas para os modelos embora os valores dos descritores mostrados na Figura 1 sejam os mesmos. É possível concluir, então, que outras formas de se caracterizar um tráfego devam ser exploradas.

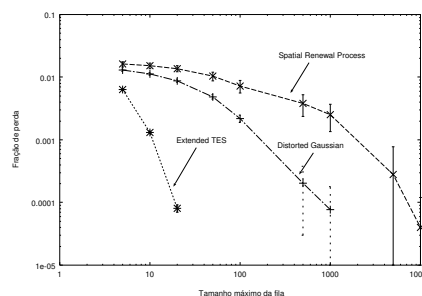


Figure 2: Perdas numa fila finita para modelos-exemplo (carga de 33%)

2.1. Reavaliando Modelos com mesma Distribuição de Taxa e mesma Autocorrelação

Uma informação simples e de extrema importância para o comportamento das perdas numa fila finita não é diretamente capturada pelos descritores acima apresentados: **“quanto tempo o tráfego permanece fluindo acima de uma determinada taxa”**. Em [Taralp et al., 1998], os autores usaram a *função geradora de momento logarítmico* [Courcoubetis et al., 1998] para diferenciar estatisticamente as seqüências geradas pelos três modelos. Aqui utilizaremos como variável aleatória a *duração dos períodos com taxas acima de um determinado nível r* , $D(r)$, para diferenciar estatisticamente as mesmas seqüências. Por simplificação, chamaremos este nível r de *nível de rajada*. Nas figuras 3, 4 e 5 podemos ver a distribuição complementar da *duração dos períodos de rajada*, $P[D(r) > t]$, para os três modelos dado diferentes níveis de rajada. Comparando-se as três figuras, fica claro que a função $P[D(r) > t]$ é bem diferente para cada um dos modelos.

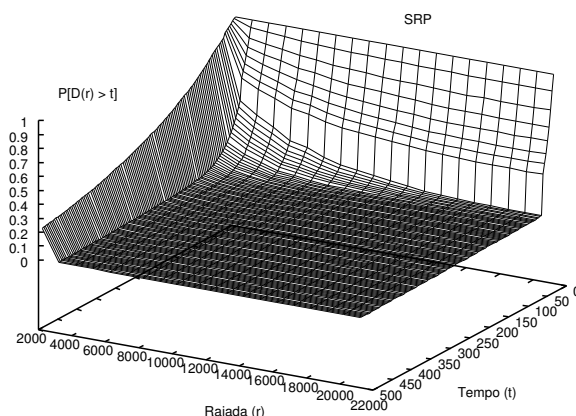


Figure 3: Distribuição da duração dos períodos de rajada para o *Spatial Renewal Process*

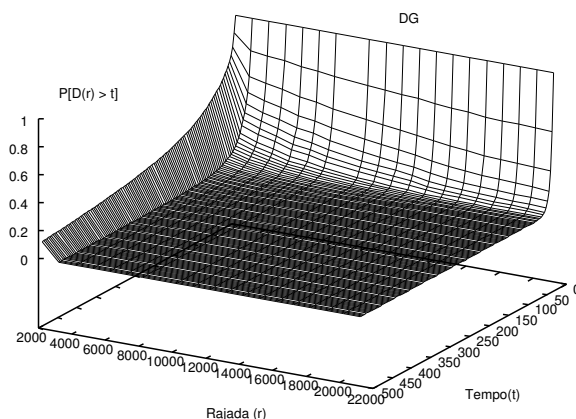


Figure 4: Distribuição da duração dos períodos de rajada para o *Distorted Gaussian*

Como a perda foi extraída para uma carga de 33%, para melhor visualizar esta diferença a Figura 6 mostra a distribuição complementar da *duração dos períodos de rajada* para o nível de rajada equivalente. Podemos verificar, por estas figuras, que maiores frações de perda correspondem a *durações de períodos de rajada* maiores.

2.2. Comparando Modelos Distintos para mesma seqüência de Vídeo

De maneira a complementar os testes apresentados na seção 2.1, usaremos um modelo markoviano de histograma linear [Skelly et al., 1993] e um modelo F-ARIMA

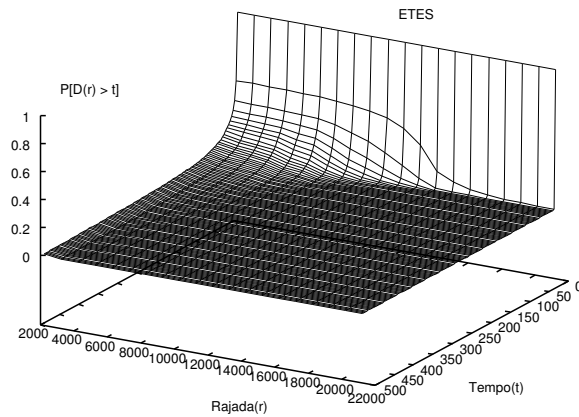


Figure 5: Distribuição da duração dos períodos de rajada para o *Extended TES*

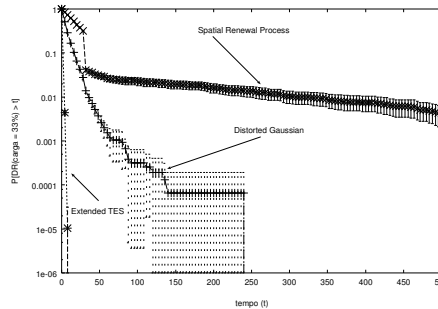


Figure 6: Distribuição da duração dos períodos de rajada para um nível de rajada correspondente a uma carga de 33%

[Michiel and Laevens, 1997] para modelar uma seqüência de vídeo codificada em MPEG4. Estes modelos foram escolhidos por serem simples de parametrizar e por possuírem características estatísticas bastante distintas, principalmente com relação à função de autocorrelação. O cenário do experimento é a nível IP e a seqüência de vídeo contém o número de pacotes IP de 1500 *bytes* transmitidos a cada quadro. No caso, assume-se que os pacotes são igualmente espaçados no tempo a cada intervalo entre quadros. A análise da perda será feita para uma fila de 100 pacotes, onde a taxa de serviço será variada. O objetivo é comparar os modelos de acordo com o comportamento da *duração dos períodos de rajada* de cada um deles em função dos diversos *níveis de rajada*, principalmente daqueles que correspondem a taxas maiores que as taxas de serviço sendo usadas na fila.

A seqüência de vídeo escolhida corresponde a 60 minutos do filme *Silence of the Lambs*, obtida em [Fitzek and Reisslein, 2001]. A taxa de apresentação dos quadros do filme foi codificada em 25 quadros/segundo, sendo que o tamanho médio do quadro corresponde a 1,954 *pacotes* de 1500 bytes, com variância igual a 2,584. O modelo markoviano de histograma para esta seqüência possui 8 estados e, por uma questão de espaço, não mostraremos seus parâmetros. O modelo F-ARIMA usa a média e a variância da taxa de pacotes mostradas mais o parâmetro de Hurst, que foi estimado como sendo igual a 0,987. Este valor foi obtido a partir da média dos parâmetros de Hurst fornecidos pelos estimadores R/S, Higuchi e pelo método da variância. As implementações utilizadas estão relacionadas com o trabalho desenvolvido em [Pontes, 2000].

A Figura 7 traz a função de probabilidade de massa das taxas (histograma) e a autocorrelação para os modelos e a seqüência MPEG4. No caso da função de probabilidade de massa para os modelos, estas foram computadas usando 8 níveis uma vez que o modelo markoviano de histograma possui apenas 8 níveis. Todos os descritores

aqui apresentados foram calculados analiticamente para o modelo de histograma segundo as expressões mostradas em [Sidney C. de Lucena, 2004]. Já para o modelo F-ARIMA, os descritores foram calculados a partir da simulação de caminhos amostrais contendo o mesmo número de amostras que a seqüência MPEG4 real. É possível verificar pela curva de autocorrelação que o modelo de histograma captura apenas a dependência de curtíssima duração e que o modelo F-ARIMA captura a dependência de longa duração, como era de se esperar.

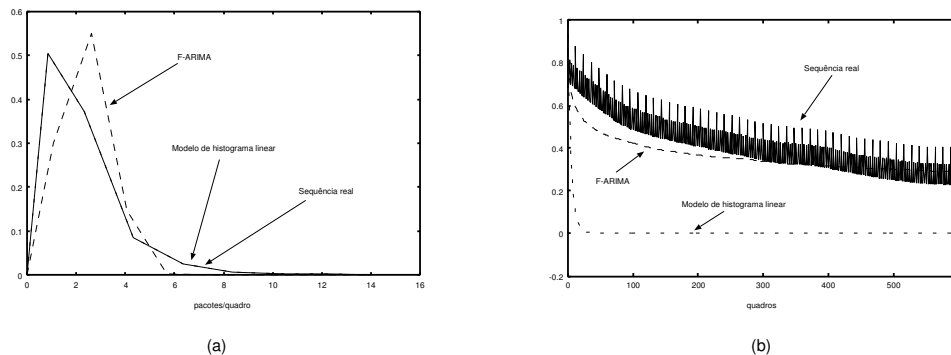


Figure 7: (a) Histogramas da taxa de pacotes por quadro e (b) Função de autocorrelação da taxa de pacotes por quadro

A Figura 8 traz a *fração de perda*, em função da taxa de serviço, para ambos os modelos e a seqüência de vídeo. Do mesmo modo, a Figura 9 traz as distribuições das durações das rajadas para níveis de rajada equivalentes às cargas de 0.3 a 0.9.

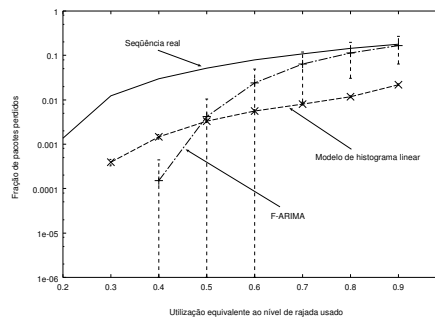
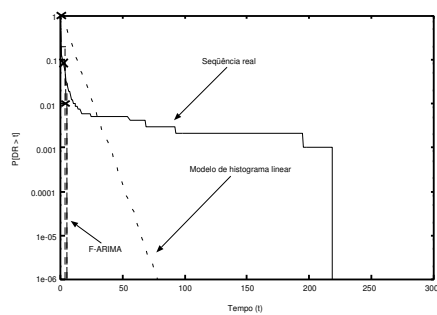


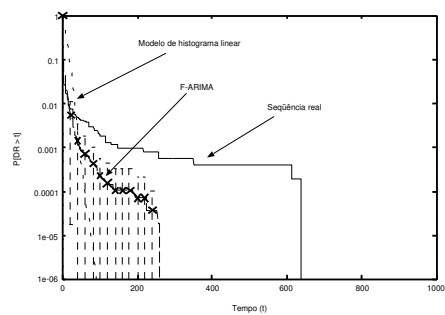
Figure 8: Perdas de pacotes para modelos e seqüência real

Podemos verificar que, para níveis de rajada inferiores a uma carga de 0.5, a cauda das distribuições de duração de rajada para o modelo F-ARIMA não é muito extensa e, portanto, este modelo possui fração de perda inferior às do modelo de histograma e da seqüência real. Já para r relativo às cargas de 0.5 a 0.7, a cauda desta distribuição para o modelo F-ARIMA passa a ser maior que a do modelo de histograma porém menor que a da seqüência real, conseqüentemente as perdas também são subestimadas para estes valores de carga (comportamento este que se reflete nas curvas de perda da Figura 8). Finalmente, para r relativo à carga de 0.9, a cauda de $P[DR > t]$ para o modelo F-ARIMA passa a ser maior que a do modelo de histograma e da seqüência real. Através da figura 8 podemos observar que a fração de perda estimada pelo modelo F-ARIMA para cargas altas fica bem próxima da fração de perda calculada para a seqüência real.

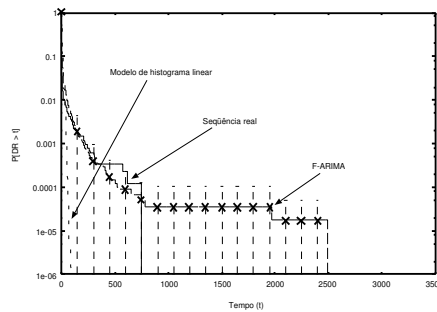
Esta correlação entre as frações de perda e as caudas das distribuições de rajada é um comportamento esperado, uma vez que uma cauda mais longa significa longos períodos nos quais a fila está enchendo, pois a taxa de chegada de pacotes é superior à taxa de serviço da fila. Estes períodos, embora raros, quando ocorrem são suficientes para aumentar bastante a fração de pacotes perdidos.



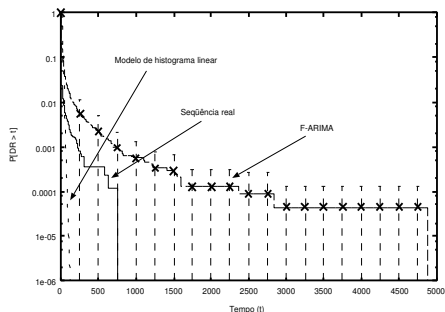
(a) carga 0.3



(b) carga 0.5



(c) carga 0.7



(d) carga 0.9

Figure 9: Distribuição da duração das rajadas para r equivalente às carga de 0.3, 0.5, 0.7 e 0.9

Assim como ocorreu para os demais descritores, a distribuição da duração das rajadas foi obtida analiticamente para o modelo markoviano de histograma e por inspeção da seqüência real e das seqüências geradas pela simulação do modelo F-ARIMA. Para o modelo markoviano, fez-se uso das expressões descritas em [Sidney C. de Lucena, 2004]. As perdas foram obtidas por simulação em todos os casos.

3. Proposta de Modelagem

Freqüentemente, modelos adaptados para uma determinada classe de tráfego não são capazes de ter a mesma eficiência quando aplicados a outras classes. Assim sendo, é razoável assumir as limitações das diversas classes de modelos de tráfego e procurar incorporar, ao processo de modelagem, as informações do sistema que mais influenciam a medida de interesse desejada. Em um sistema de fila finita com um servidor e política do tipo *FIFO*, a taxa de serviço é um parâmetro candidato a ser incorporado no modelo e foi o escolhido neste trabalho de acordo com o estudo feito na seção anterior. Doravante, chamaremos este parâmetro de *nível de sobrecarga* e o usaremos para extrair informações para prever a perda numa fila. Desta forma, tem-se a certeza de que as perdas somente ocorrerão durante os períodos de sobrecarga e que, nestes períodos, a fila estará sempre em processo de enchimento.

O cenário de aplicação do modelo de tráfego envolve, portanto, situações onde a taxa de serviço para uma fila seja conhecida. Exemplos mais comuns são: reserva de banda em interfaces de saída de roteadores para um tráfego específico, a capacidade efetiva estimada por controles de admissão mediante uma especificação do tráfego e a capacidade de um enlace de rede sendo alimentado por um tráfego agregado. A seqüência do filme *Silence of the Lambs* codificado em MPEG4 será novamente usada para exemplificar o modelo e verificar seu desempenho em aproximar a fração de pacotes perdidos no nível IP. Vale lembrar que seqüências codificadas em MPEG representam uma classe

de tráfego de difícil caracterização [Rose, 1997, Krishnan and Meempat, 1997].

A distribuição das durações de sobrecarga (taxas acima do nível de sobrecarga) e das durações de folga (taxas abaixo do nível de sobrecarga) serão usadas neste trabalho para descrever o tráfego aplicado a uma determinada fila. A descrição destes períodos já foi anteriormente usada em outros trabalhos na literatura [Lau and Li, 1996, Lombardo et al., 1999, Schwefel and Lipsky, 2001], porém apresentadas e utilizadas de outras maneiras. Como a cauda das durações é um dado importante para o processo de ocupação de uma fila, dois descritores são necessários para o modelo a ser proposto nesta seção:

$$P[D_s > t] \text{ e } P[D_f > t],$$

onde D_s e D_f são, respectivamente, as variáveis aleatórias indicando *duração de sobrecarga* e *duração da folga*.

3.1. Usando Hiper-exponenciais para Modelar a Distribuição das Durações de Sobrecarga e Folga

Optou-se pelo uso de distribuições *hiper-exponenciais* para parametrizar e modelar as distribuições das durações de sobrecarga e folga. Distribuições hiper-exponenciais correspondem a uma soma ponderada de distribuições exponenciais, o que permite representá-las facilmente através de cadeias de Markov. Além disso, elas são capazes de aproximar distribuições com coeficiente de variação maior que um. Nossos estudos mostraram que é comum as distribuições de D_s e D_f , tanto para as seqüências MPEG4 como para tráfego WAN, possuírem coeficiente de variação maior que um [Sidney C. de Lucena, 2004]. A escolha do número de estados para a hiper-exponencial, ou seja, o número de distribuições exponenciais ponderadas, envolve um compromisso entre obter uma aproximação satisfatória e proporcionar um número reduzido de estados para o modelo de tráfego a ser apresentado na seção 3.2. A partir de vários exemplos contidos em [Sidney C. de Lucena, 2004], foi possível observar que a cauda dessas distribuições consegue ser razoavelmente aproximada por uma distribuição exponencial ponderada por uma constante $C < 1$ e com duração média muito acima da média da distribuição real. Assim sendo, definiu-se a hiper-exponencial a ser usada como tendo três estados: um deles representando a cauda da distribuição e os outros dois representando sua parte inicial.

A Figura 10 mostra um exemplo da aproximação desejada onde é usado o ln das distribuições. As taxas das três exponenciais ponderadas que conjuntamente aproximam esta distribuição são representadas pelas retas indicadas na figura visto que $\ln e^{-\lambda_i t} = -\lambda_i t$, $i = 1, 2, 3$. λ_3 é a taxa da exponencial que representa a cauda da distribuição (região 3), λ_1 é a taxa que representa a região inicial (região 1) e λ_2 é a taxa que representa a região intermediária da distribuição (região 2). Portanto, o problema de parametrização da hiper-exponencial escolhida envolve achar as inclinações (λ_i) e os fatores de ponderação (p_i) de forma que as três retas indicadas na figura aproximem da melhor maneira possível a distribuição. A abordagem usada parte do pressuposto que, dadas as respectivas ponderações: na região 3 predomina unicamente a exponencial de taxa λ_3 ; na região 2 predomina a exponencial de taxa λ_2 acrescida da exponencial de taxa λ_3 ; na região 1 predomina a exponencial de taxa λ_1 acrescida das outras duas.

Em [Sidney C. de Lucena, 2004] foi elaborado um novo método para ajustar a distribuição de D_s e D_f pela hiper-exponencial escolhida. A estratégia usada consiste em encontrar os pontos b_1 e b_2 (ver Figura 10) que delimitam, aproximadamente, as regiões. De posse destes pontos, basta investigar o histograma das durações para encontrar os valores de λ_i e p_i . Uma das vantagens deste algoritmo é que ele procura casar inicialmente

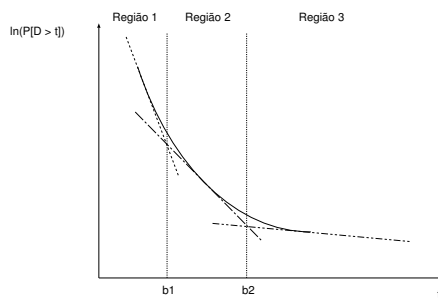


Figure 10: Exemplo de aproximação de uma distribuição de cauda longa por uma hiper-exponencial de 3 estados

a cauda da distribuição, o que, no caso da distribuição das durações de sobrecarga, influencia as perdas na fila. Por razão de espaço, este algoritmo não será aqui descrito, apenas alguns resultados serão mostrados.

3.2. Modelo de Tráfego usando Sobrecarga e Folga

O modelo de tráfego aqui apresentado tem a finalidade de representar, de maneira simples, as características de folga e sobrecarga para um determinado tráfego. Um dos objetivos deste modelo é prever a perda numa fila FIFO, cuja taxa de serviço indica o *nível de sobrecarga* usado para dividir o modelo em folga e sobrecarga.

O modelo proposto, aqui chamado *modelo de sobrecarga-folga*, está ilustrado na Figura 11. Nele temos dois subconjuntos de estados, um representando os estados de sobrecarga (s_1, s_2 e s_3) e outro os estados de folga (f_1, f_2 e f_3). Ambos se valem das hiper-exponenciais propostas na seção 3.1 para modelar as distribuições de duração de sobrecargas e folgas. Ou seja, $\alpha_i, i = 1, 2, 3$, são as taxas das exponenciais ponderadas pelas probabilidades p_i que modelam a distribuição das durações de sobrecarga e $\beta_i, i = 1, 2, 3$, são as taxas das exponenciais ponderadas pelas probabilidades q_i que modelam a distribuição das durações de folga. A cada estado da cadeia está associada uma recompensa de taxa que indica o volume de tráfego gerado enquanto a cadeia estiver naquele estado. Estas recompensas são definidas baseadas nas taxas da seqüência real obtidas para cada uma das regiões. No caso das sobrecargas, $\lambda_{s_i} = \sum_{j=1}^n \frac{\lambda_{s_j}^{(i)}}{n}$, onde λ_{s_i} é a recompensa associada ao estado i , $\lambda_{s_j}^{(i)}$ é a taxa da seqüência real na região i e n o número de amostras da região i . Analogamente, para as folgas, $\lambda_{f_i} = \sum_{j=1}^n \frac{\lambda_{f_j}^{(i)}}{n}$.

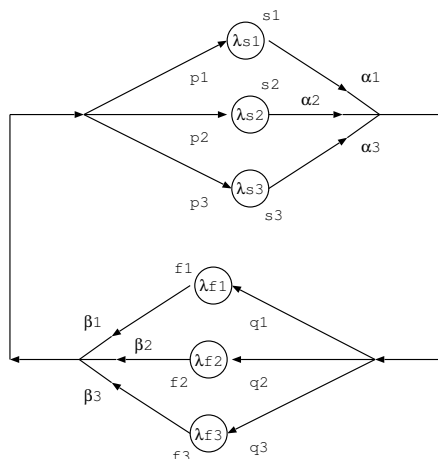


Figure 11: Cadeia de Markov para modelo de sobrecarga e folga

A Figura 12 mostra os histogramas de taxa da seqüência real do exemplo para cada uma das três regiões do histograma de durações de sobrecarga. Podemos observar que o histograma para cada uma das regiões é bem diferente, o que motiva o uso de diferentes recompensas em cada um dos estados em lugar apenas da média em sobrecarga ou folga.

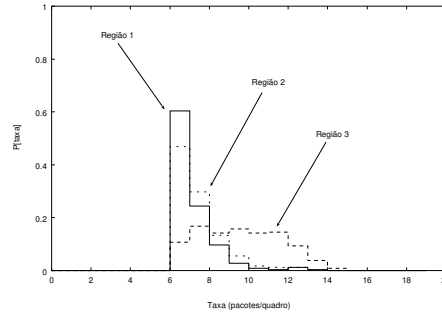


Figure 12: Histograma das taxas da seqüência real para cada região de duração de sobrecarga, dado 33% de carga

Neste modelo aqui proposto, três recompensas de taxa, com suas respectivas probabilidades de ocorrência durante as sobrecargas, modelam a distribuição de taxas em sobrecarga para a seqüência real. Quanto maior a diferença entre as taxas em sobrecargas, mais difícil é aproximar sua distribuição usando apenas três recompensas de taxa. Isto é, quanto maior a diferença entre o nível de sobrecarga e a taxa de pico, mais difícil tende ser a descrição desta distribuição. Os resultados da seção 4 comprovam isto.

4. Resultados para o Modelo de Sobrecarga-folga

Esta seção mostra os resultados da aplicação do modelo proposto para o exemplo das seções anteriores e para o tráfego de uma interface de rede WAN. Tais resultados são avaliados comparando-se a fração de perda e as distribuições de duração de sobrecarga e folga para este modelo e o modelo F-ARIMA. Todos os intervalos de confiança mostrados foram calculados para 95% de probabilidade. Os modelos F-ARIMA foram parametrizados como indicado na seção 2.2 e as medidas de perda foram extraídas a partir de simulação para todos os modelos. Os descritores (distribuições de duração) foram calculados analiticamente para o modelo de sobrecarga-folga (ver [Sidney C. de Lucena, 2004]). Para o modelo F-ARIMA, os descritores foram extraídos por simulação como na seção 2.2.

4.1. Análise dos Modelos para Seqüências MPEG4

A Figura 13 mostra as frações de perda para os modelos e a seqüência para cargas de 50% e 90%. Para a carga de 50%, a melhor aproximação é a do modelo de sobrecarga-folga, todavia a previsão piora à medida que o tamanho máximo da fila aumenta para valores muito grandes, acima dos comumente praticados. O modelo F-ARIMA subestimou a perda, sendo este o mais aproximado somente para um tamanho de fila superior a 3500 pacotes. Já para a carga de 90%, o modelo de sobrecarga-folga teve a fração de perda subestimada para filas com tamanhos máximos grandes. O modelo F-ARIMA super-estimou bastante a perda para a carga de 90% e tamanho máximo de fila superior a 2000 pacotes. A Figura de 14 mostra as distribuições de duração de sobrecarga para modelos e seqüência para ambas as cargas. Novamente, os modelos de sobrecarga-folga capturam com precisão esta distribuição. Interessante notar o caso do modelo F-ARIMA para a carga de 90%, cuja curva para esta distribuição aparece acima da curva real. Isto está de acordo com a maneira como este modelo super-estimou a perda para esta carga. A Figura 15 traz as distribuições de duração de folga para as cargas de 50 e 90%, que pouco influíram na medida de perda.

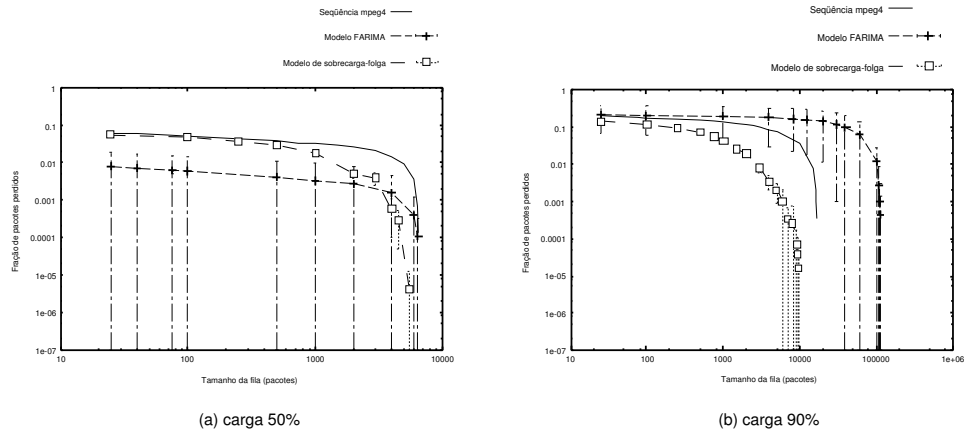


Figure 13: Fração de pacotes perdidos, escala logarítmica, filme *Silence of the Lambs* em MPEG4, (a) r a 50% de carga e (b) r a 90% de carga

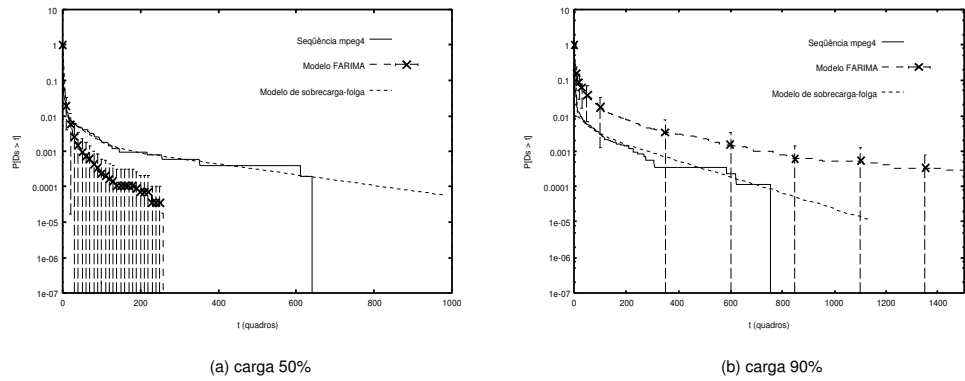


Figure 14: Distribuição de duração de sobrecarga, filme *Silence of the Lambs* em MPEG4, (a) r a 50% de carga e (b) r a 90% de carga

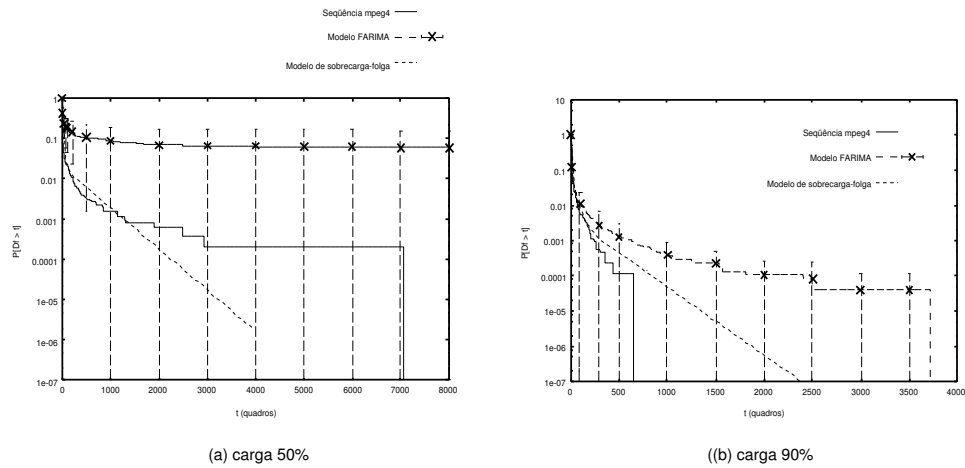


Figure 15: Distribuição de duração de folga, filme *Silence of the Lambs* em MPEG4, (a) r a 50% de carga e (b) r a 90% de carga

4.2. Análise dos Modelos para Sequências de Tráfego WAN da Rede Abilene

O objetivo aqui é analisar a fração de perda para um cenário onde se tem uma fila representando uma interface de saída para um enlace de capacidade específica. A taxa de serviço desta fila hipotética (nível de sobrecarga) é, portanto, equivalente à capacidade do enlace. A sequência de tráfego coletada representa o volume de tráfego destinado a este enlace.

Para representar tráfegos em redes WAN, foi usada uma sequência obtida da rede Abilene [Abilene staff, 2003] que representa dez minutos de amostragem do tráfego de entrada coletado em uma das interfaces POS OC-48 do roteador referente ao nó da rede Abilene situado em Indianapolis. Esta medição foi realizada em 14 de agosto de 2002, das 10:30hs às 10:40hs e, na época, o enlace amostrado ligava Indianapolis a Cleveland sem haver saturação em nenhum dos sentidos. O arquivo contendo a sequência pode ser obtido em [NLANR staff, 2002].

A Figura 16 mostra a aproximação da perda para uma carga de 90%. A Figura 17 mostra as aproximações para as distribuições de duração de sobrecarga e folga. Podemos observar que o modelo de sobrecarga-folga possui esses descritores bem próximos aos obtidos para a sequência real. O modelo F-ARIMA apenas aproximou bem a distribuição de duração de folga.

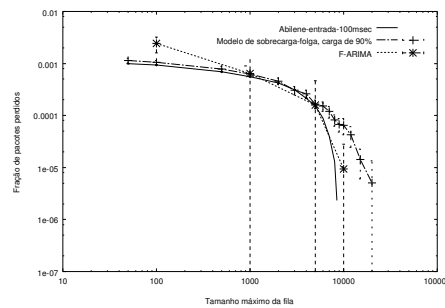


Figure 16: Fração de perda para tráfego Abilene, modelo F-ARIMA e modelo de sobrecarga-folga, carga de 90%

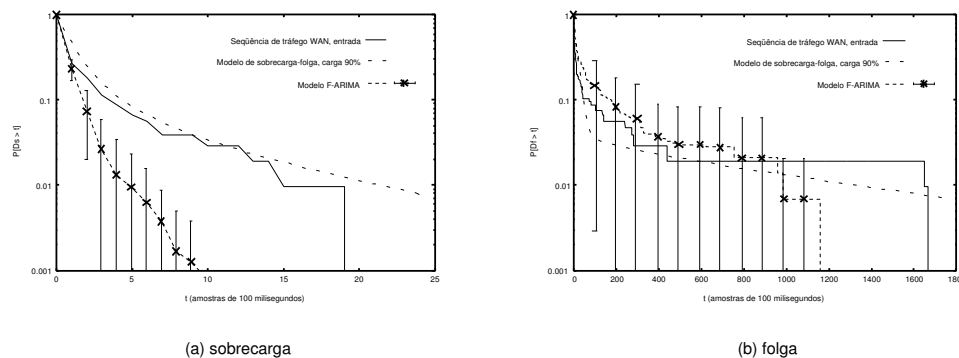


Figure 17: Distribuição das durações de (a) sobrecarga e (b) folga para tráfego Abilene e modelos, carga de 90%

Podemos verificar que a aproximação da perda através do modelo de sobrecarga-folga é bastante satisfatória para esta sequência de tráfego. Embora trate-se de uma carga alta, o modelo de sobrecarga-folga consegue se adaptar bem já que este tipo de tráfego não possui as mesmas variações de taxa encontradas nas sequências MPEG4. O modelo F-ARIMA teve melhor aproximação apenas para tamanhos máximos de fila superiores a 5000 pacotes.

A seqüência de tráfego usada representa o volume de tráfego destinado à saída para um enlace específico, representado por uma fila. Todavia, uma consideração importante é que toda seqüência extraída de um enlace é o resultado do agregado de vários fluxos em malha fechada (seções TCP), cujas taxas são função da realimentação destas malhas e, portanto, do estado da rede [Paxson and Floyd, 1997]. Contudo, a validade dos testes realizados se mantém uma vez que o objetivo é avaliar a adequação do modelo de sobrecarga-folga para tráfegos desta natureza. Esta consideração a respeito dos fluxos em malha fechada explica, em parte, o motivo pelo qual se tem frações de perda relativamente baixas para uma carga de 90%. Um outro motivo pode ser a escolha do intervalo de amostragem igual a 100 milissegundos. Apesar de ser um valor de uso comum em engenharia de tráfego, a média neste intervalo pode estar por demais suavizando as variações de taxa.

4.3. Considerações sobre os resultados

É importante notar que, nos testes de perda, os tamanhos usados para as filas de pacotes foram estendidos até valores próximos daqueles onde não ocorrem mais perdas para a seqüência simulada. Tais valores são muito superiores aos que costumam ser praticados em situações reais. Geralmente, em interfaces seriais, ethernets, fast-ethernets ou ATM, as filas de saída não passam da ordem de 1000 pacotes, o que já é um valor alto se considerarmos uma interface com carga alta. Em casos como este, a fila permanece quase sempre cheia e um tamanho grande de fila implica em latências altas que degradam aplicações que utilizam voz e vídeo interativo, muito comuns atualmente. Também nos casos das aplicações e protocolos fim-a-fim para a transmissão interativa de vídeo e áudio (tráfegos individuais), as filas nos receptores costumam ser limitadas de acordo com um retardo máximo que não comprometa a qualidade da conversação. Este valor é o mesmo usado para voz sobre IP e costuma ser igual a 200 milissegundos [Markopoulou et al., 2003]. Numa transmissão de vídeo a 25 quadros/segundo, se considerarmos os valores de pico em pacotes/quadro da seqüência MPEG4 usada nos testes, o limite máximo para estas filas não ultrapassaria 100 pacotes. Sendo assim, para valores usuais e de ordem prática, o modelo de sobrecarga-folga consegue prever satisfatoriamente a fração de perda para diferentes taxas de serviço na fila.

5. Conclusões

Neste trabalho foi mostrado que tráfegos, ou modelos de tráfego, com mesma distribuição de taxa e mesma função de autocorrelação podem ser estatisticamente diferenciados por descritores que associam as taxas de transmissão com as durações dos períodos em que estas se encontram acima de um determinado nível. Desta forma, foram definidos dois descritores relacionados com a duração dos períodos em que a taxa da fonte está acima ou abaixo de um determinado nível, que foi considerado como sendo a taxa de serviço da fila. São eles a distribuição da duração das sobrecargas e a distribuição da duração das folgas.

Assim sendo, foi proposto um modelo markoviano de 6 estados, aqui chamado “modelo de *sobrecarga-folga*”, capaz de capturar as distribuições das durações de sobrecarga e de folga e ainda associar recompensas de taxa de acordo com a distribuição das taxas em cada um desses períodos. Mostrou-se que o modelo proposto é capaz de prever a fração de perda, para seqüências MPEG4 e de redes WAN, para valores bastante usuais de carga numa fila e uma vasta abrangência de tamanhos máximos de fila. Além disso, mostrou-se também que as distribuições de duração de sobrecarga têm grande relevância na predição da fração de perda.

As propostas para trabalhos futuros podem ser agrupadas em duas direções: evolução do modelo proposto e aprimoramento do algoritmo definido para parametrizar a distribuição hiper-exponencial.

References

- Abilene staff (2003). Abilene Backbone Network - <http://abilene.internet2.edu/>.
- Courcoubetis, C., Siris, V. A., and Stamoulis, G. D. (1998). Application of the many sources asymptotic and effective bandwidths to traffic engineering. In *ACM SIGMETRICS*.
- Fitzek, F. H. and Reisslein, M. (2001). Mpeg-4 and h.263 video traces for network performance evaluation - <http://www-tnk.ee.tu-berlin.de/research/trace/trace.html>.
- Krishnan, K. R. and Meempat, G. (1997). Long-range dependence in VBR video streams and ATM traffic engineering. *Performance Evaluation*, 30(1-2):45–56.
- Lau, W.-C. and Li, S.-Q. (1996). Sojourn-time Analysis on Nodal Congestion in Broadband Networks and its Impact on QoS Specifications. In *IEEE INFOCOM*, pages 1327–1337.
- Lombardo, A., Palazzo, S., and Schembra, G. (1999). Characterization of Intermedia Synchronization and its Effects on the Performance of an ATM Multiplexer Loaded by Multimedia Traffic. Technical report, Istituto di Informatica e Telecomunicazioni, University of Catania, V.le A. Doria, 6 - 95125 Catania - Italia.
- Markopoulou, A., Tobagi, F., and Karam, M. (2003). Assessing the quality of Voice Communications over Internet Backbones. *IEEE Transactions on Networking*.
- Michiel, H. and Laevens, K. (1997). Teletraffic Engineering in a Broad-Band Era. *Proceedings of the IEEE*, 85(12):2007–2033.
- NLANR staff (2002). Abilene traces - <http://pma.nlanr.net/Traces/long/ipls1.html>.
- Paxson, V. and Floyd, S. (1997). Why we don't know how to simulate the internet. In *Winter Simulation Conference*, pages 1037–1044.
- Pontes, A. R. S. (2000). Controle de admissão de conexões de vídeo com dependência temporal. Master's thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Rose, O. (1997). Simple and efficient models for variable bit rate MPEG video traffic. *Performance Evaluation*, 30(1-2):69–85.
- Schwefel, H.-P. and Lipsky, L. (2001). Impact of Aggregated, Self-Similar ON/OFF Traffic on Delay in Stationary Queueing Models (extended version). *Performance Evaluation*, (43):203–221.
- Sidney C. de Lucena (2004). *Modelos de Fluido para Fontes Multimídia e Aplicações*. PhD thesis, COPPE / UFRJ - http://www.land.ufrj.br/laboratory/repository/upfiles/-phdthesis/tese_sidney.ps.gz.
- Skelly, P., Schwartz, M., and Dixit, S. (1993). A Histogram-Based Model for Video Traffic Behavior in an ATM Multiplexer. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1(4):445–459.
- Taralp, T., Devetsikiotis, M., and Lambadaris, I. (1998). In Search of Better Statistics for Traffic Characterization. In *CAMAD-98*, pages 103–110.