Um Modelo Determinístico para Caracterização de Tráfegos de Vídeo MPEG*

Marcelo Dias de Amorim
amorim@gta.ufrj.br

Otto Carlos M. B. Duarte
otto@gta.ufrj.br

Grupo de Teleinformática e Automação - GTA
COPPE/EE - Programa de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Rio de Janeiro
C. P. 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Resumo

A acurácia na parametrização dos tráfegos reflete diretamente no nível de eficiência de alocação de recursos para as conexões estabelecidas nas redes de serviços integrados. Para as aplicações mais exigentes, a rede precisa prover serviços com garantias determinísticas de desempenho. Este artigo apresenta os principais modelos determinísticos de tráfego e propõe o modelo GOP-B que aproveita características específicas do padrão de vídeo MPEG. São obtidos os algoritmos extratores dos parâmetros dos modelos e os resultados para diversas seqüências de vídeo. O modelo proposto, no que se refere à acurácia de representação, se mostrou eficiente e, com relação ao algoritmo de extração dos parâmetros, mais simples, o que implica em um menor esforço computacional.

Abstract

The accuracy of traffic parametrization affects directly the efficiency of alocating resources to the stablished connections in the integrated services networks. For the most demanding applications, the network must provide a service with deterministic performance guarantees. This paper presents the most important deterministic traffic models and proposes the GOP-B model that takes advantage of MPEG video specific characteristics. Algorithms to extract parameters from the models and results for several video streams are obtained. The proposed model, concerning modelling accuracy, has proved to be efficient and simpler when related to the parameters extractor algorithm.

* Este trabalho foi realizado com recursos da UFRJ, FUJB, PROTEM-CC, CNPq, CAPES E COFECUB

1 Introdução

Com a evolução das redes de comunicação de dados e o advento da multimídia, as aplicações têm sido cada vez mais exigentes com relação à qualidade de serviço a ser oferecida pela rede. Vazão, atraso máximo, variação no atraso (*jitter*) e taxa de perda de pacotes são os principais parâmetros de QoS (*Quality of Service*) a serem garantidos pelo sistema de comunicação.

Os serviços com garantias de QoS podem ser oferecidos sob duas abordagens. Na primeira, garantias probabilísticas de desempenho são fornecidas a uma conexão [1, 2]. A segunda abordagem ampara-se em cálculos determinísticos, em que todos os pacotes de uma conexão recebem a garantia de alcançar o destino com os parâmetros de QoS negociados respeitados. Enquanto os serviços determinísticos atendem com total garantia os parâmetros negociados, os serviços estatísticos resultam em melhor aproveitamento da banda-passante da rede [3, 4, 5].

Para que serviços garantidos sejam providos, é fundamental que recursos sejam alocados ao longo do caminho de transferência das informações. Reservar recursos nas redes de serviços integrados é um problema que deve ser solucionado de forma a se prover garantia aos parâmetros de QoS requisitados. Uma solução "pobre" para a alocação de recursos resulta em uma de duas condições indesejadas. Se recursos forem superalocados para cada conexão, a rede será subutilizada. Por outro lado, se recursos forem subalocados, as conexões terão uma certa qualidade de serviço, mas receberão uma faixa insuficiente de banda-passante. Esta situação também é inaceitável, uma vez que garantir QoS é a *raison d'être* das redes de serviços integrados [3, 4, 5].

A eficiência na alocação de recursos depende, em primeira instância, do nível de acurácia alcançado na modelagem do tráfego a ser submetido à rede.

O presente trabalho se concentra na modelagem determinística de tráfegos de vídeo no padrão MPEG. Existem na literatura várias propostas de modelos. Contudo, são todos voltados para a modelagem de tráfegos VBR em geral. Neste trabalho são analisadas as principais propriedades do padrão de vídeo MPEG de forma a se mensurar o quanto elas podem reduzir a complexidade de um modelo específico. É proposto e analisado um modelo, denominado GOP-B (*Group-Of-Pictures Based deterministic traffic model*), que incorpora em sua estrutura uma das principais características dos vídeos no padrão MPEG. São propostos também algoritmos extratores de parâmetros de tráfegos para os modelos estudados.

Para a realização das medidas serão utilizados 21 traços de vídeo MPEG. Um traço de vídeo é a seqüência dos tamanhos dos quadros codificados a partir

da amostra do vídeo [11, 12]. A medida de comparação escolhida utiliza o conceito de Perda por Aproximação do Modelo (PAM) [6], que indica a porcentagem de perda de precisão do modelo em comparação ao resultado mais preciso possível, a função exata *Ex(t)*.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. A seção 2 apresenta os conceitos básicos para modelagem determinística de tráfegos. A seção 3 apresenta os principais modelos encontrados na literatura. A seção 4 analisa as principais características intrínsecas ao padrão MPEG e descreve o modelo proposto neste artigo. Na seção 5 estão detalhados os algoritmos utilizados na extração de parâmetros dos modelos. A seção 6 apresenta a análise dos resultados obtidos. Por fim, alguns comentários finais e as conclusões se encontram na seção 7.

2 Modelagem Determinística de Tráfego

A caracterização de uma fonte define o comportamento do tráfego por ela gerado, bem como alguns requisitos de QoS. Um tráfego é caracterizado quando para ele é definido um conjunto de parâmetros nos quais a rede se baseia para controle do tráfego e utilização eficiente dos recursos alocados.

A modelagem determinística de tráfegos é feita com base na definição da função *FRT(t)*, chamada **função de restrição de tráfego**. A função *FRT(t)* exprime que em qualquer intervalo de duração δt ao longo do eixo de tempo não são gerados pela fonte mais que $FRT(\delta t)$ bits. De outro ponto de vista, considerando $G[t, t+\delta t]$ o número real de bits gerados no intervalo $[t, t+\delta t]$, a equação

$$G[t, t+\delta t] \leq FRT(\delta t) \tag{1}$$

deve ser satisfeita.

A função de restrição de tráfego mais precisa para a modelagem de um determinado tráfego é a função exata *Ex(t)* que manifesta valores fiéis da taxa de geração de bits pela fonte para quaisquer valores de intervalo de tempo. Contudo, representar tráfegos VBR da forma *Ex(t)* seria altamente dispendioso. A função exata, porém, se mostra útil como base para se determinar a acurácia dos modelos determinísticos de tráfego. O objetivo principal na caracterização determinística de tráfegos é desenvolver modelos que ponderem as características de simplicidade e acurácia.

3 Modelos Determinísticos de Tráfego

Alguns modelos determinísticos têm sido propostos na literatura especializada.

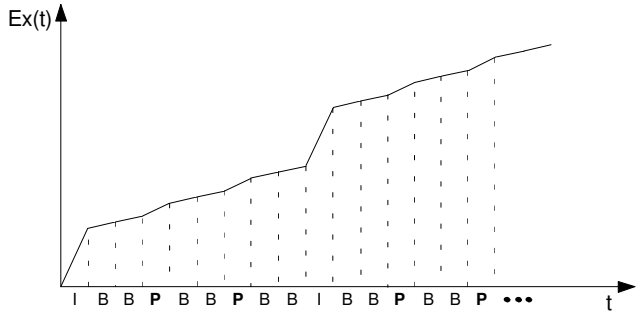

Figura1: Função Exata para vídeo MPEG.

O modelo **fluido**, introduzido por Cruz [9, 10], define uma dupla (σ, ρ) em que durante um intervalo de tempo de duração *t* não são transmitidos pela fonte mais que $\sigma+\rho t$ bits, onde σ é chamado fator de rajada e ρ fator de vazão. A função de restrição de tráfego correspondente é dada por

$$FRT_{(\sigma,\rho)}(t) = \sigma + \rho t. \tag{2}$$

O modelo **fluido em duas dimensões** [13] é uma extensão ao modelo (σ, ρ) apresentado na seção anterior, onde, no lugar de se definir uma dupla, são definidos dois vetores $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$. Para um intervalo de duração *t* não podem ser transmitidos mais que $\min_i\{\sigma_i + \rho_i t)$ bits. Desta forma, o modelo é capaz de distinguir, mais acuradamente, "níveis de rajada" inerentes ao tráfego, se comparado ao modelo (σ, ρ), correspondendo à função de restrição de tráfego dada pela equação

$$FRT_{(\vec{\sigma},\vec{\rho})}(t) = \min_i\{\sigma_i + \rho_i t\} \tag{3}$$

O modelo **Discreto** [14], ao contrário dos anteriores, utiliza quatro parâmetros para a caracterização do tráfego ($X_{min}, X_{ave}, I, S_{max}$), sendo X_{min} o intervalo mínimo entre as chegadas de dois pacotes consecutivos, X_{ave} o mínimo

intervalo médio entre as chegadas de pacotes em um intervalo de duração *I* e *Smax* o tamanho máximo de um pacote.

A função de restrição de tráfego para o modelo *Discreto* é expressa por

$$FRT_{discreto}(t) = \left\lfloor \frac{t}{I} \right\rfloor \frac{I.S_{\max}}{X_{ave}} + \min\left\{ \left\lceil \left(\frac{t}{I} - \left\lfloor \frac{t}{I} \right\rfloor \right) \frac{I}{X_{\min}} \right\rceil, \frac{I}{X_{ave}} \right\} S_{\max} . \quad (4)$$

O modelo **D-BIND** (*Deterministic Bounding INterval-length Dependent*) [15] é definido da seguinte forma. Uma fonte *j* é descrita por uma curva *Rj(I)* que representa a taxa limite da transmissão em qualquer intervalo de tempo de duração *I*. São definidos *N* pares da forma $(R_k, I_k)_{k=1,2,...,N}$ de maneira que a função de restrição de tráfego é dada por uma função linear por partes, expressa por

$$FRT_{D-BIND}(t) = \frac{R_k I_k - R_{k-1} I_{k-1}}{I_k - I_{k-1}} (t - I_k) + R_k I_k , \qquad I_{k-1} \le t \le I_k . \quad (5)$$

O modelo fluido em duas dimensões difere do modelo *D-BIND* em relação à curva de restrição de tráfego pelo fato deste último resultar em uma função linear por partes não necessariamente côncava (característica intrínseca ao modelo $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$), possibilitando uma modelagem mais acurada do tráfego alvo.

4 Propriedades do Padrão MPEG e o Modelo GOP-B

A técnica de compressão de vídeo desenvolvida pelo MPEG (*Motion Picture Expert Group*) [12] objetiva viabilizar a utilização de vídeo em diversas aplicações, tais como sistemas interativos de CD-ROM e transmissão através de redes de telecomunicações. A técnica desenvolvida recai sobre dois princípios básicos: redução de redundâncias espaciais e temporais pela observação de elementos repetitivos dentro de um quadro ou entre quadros consecutivos.

Um codificador MPEG gera três tipos de quadros: quadros I (*Intra-pictures*), que utilizam compressão intra-quadros, e quadros P (*Predicted-pictures*) e B (*Interpolated-pictures*, para predição bidirecional), que utilizam compressão inter-quadros. A diferença entre os quadros P e B consiste no fato do quadro P ser codificado com base em um quadro passado, enquanto que o quadro do tipo B é codificado com base tanto em um quadro passado quanto em um quadro de referência futuro. A característica em rajada de um vídeo MPEG

vem da diferença entre os tamanhos do quadros, causada pela alternância entre intra-quadros (maiores) e inter-quadros (menores).

Um vídeo MPEG é cíclico no que diz respeito à seqüência de formatos de quadros usada. Cada ciclo é caracterizado por um GOP (*Group of Pictures*) contendo um quadro I e alguns quadros P e B, como por exemplo a seqüência IBBPBBPBB.

Uma grande parte dos vídeos MPEG tem os quadros do tipo I bem maiores que os quadros dos tipo P e B. Em termos de geração de bits, isso corresponde a surtos de informação no início de cada GOP. A função exata *Ex(t)* básica de um vídeo MPEG está ilustrada na figura 1, onde pode se notar um salto na função a cada quadro I. Em um nível de abstração mais elevado, um vídeo MPEG é, então, gerado basicamente em uma taxa de bits baixa (com pequenas variações) mais os surtos devidos aos quadros I em instantes definidos de tempo.

O modelo **GOP-B,** proposto pelos autores deste artigo [7], se baseia justamente neste princípio. Este modelo utiliza um par *(*η,ν*)* mais a taxa em quadros por segundo do vídeo (*1/T*) e a distância *D* entre quadros I (tamanho do GOP). O fator η representa os impulsos (ou surtos) causados pela geração de intra-quadros, devendo ser adicionado à função de restrição de tráfego em intervalos múltiplos do tamanho do GOP. O fator ν modela o crescimento da curva devido aos quadros P e B, crescimento este na grande parte das vezes em taxa bastante inferior àquela observada na geração de quadros I.

A função de restrição de tráfego do modelo *GOP-B* é dada pela equação

$$FRT_{GOP-B}(t) = \left\lceil \frac{t+T}{T.D} \right\rceil \eta + \upsilon t. \qquad (6)$$

A figura 2 ilustra como se comportam as curvas de restrição de tráfego para os quatro modelos estudados e para o modelo *GOP-B*.

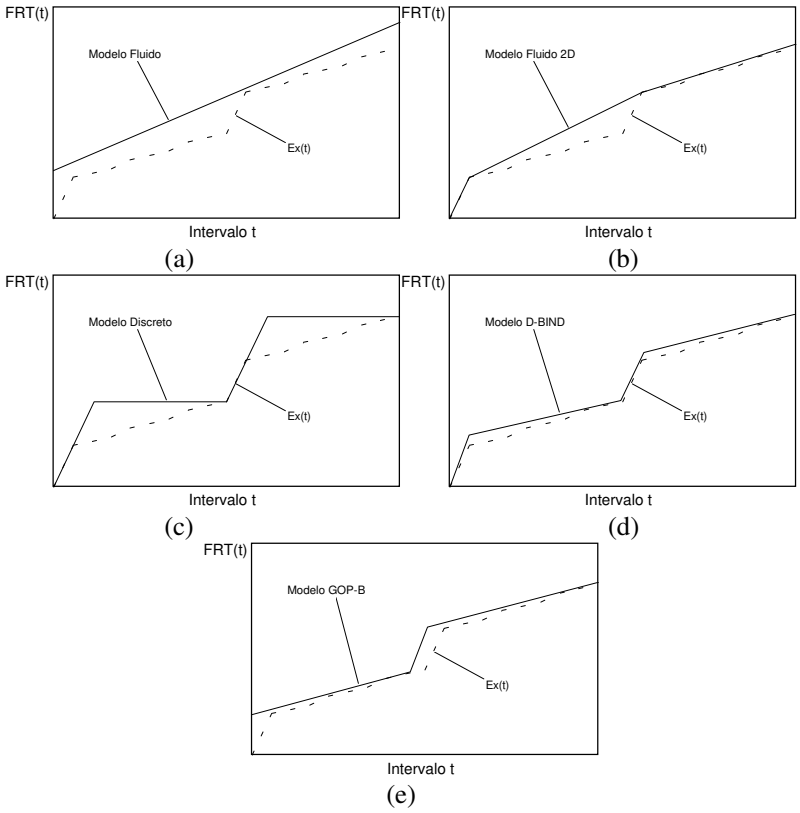

Figura 2: Função de Restrição de Tráfego para os modelos (a) Fluido, (b) Fluido em duas dimensões, (c) Discreto, (d) D-BIND e (e) GOP-B.

5 Extrator de Parâmetros de Tráfegos

Tendo-se os traços de vídeo disponíveis, foram desenvolvidos e implementados extratores de parâmetros de tráfego para cada um dos modelos estudados [6]. A cada modelo de tráfego corresponde um algoritmo particular. O extrator recebe como entrada os traços de vídeo e a função exata *Ex(t)* e retorna os parâmetros do tráfego em um arquivo de saída.

Abaixo são apresentados pseudo-códigos para os extratores dos cinco modelos de tráfego trabalhados. O algoritmo para o modelo $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ foi obtido de Knightly et al [16].

```
Procedure (σ,ρ) (TR)
  Ex=Calcula_Exata(TR)
```
$$\rho = \frac{Ex(t+\delta t) - Ex(t)}{\delta t}$$
$$\sigma = Ex(t+\delta t) - \rho(t+\delta t)$$
```
End
```

```
Procedure (σ⃗, ρ⃗) (TR, Ψ)
  Ex=Calcula_Exata(TR)
  n=0
  τ = Ψ
  While >0 Do
    n=n+1
```
$$\sigma_n = \max\left\{\frac{1}{\tau - t}(\tau Ex(t) - tEx(\tau))\right\}$$
$$\rho_n = \frac{Ex(\tau) - \sigma_n}{\tau}$$
```
    τ=min{t|σn+ρnt=Ex(t)}
  End
End
```

```
Procedure GOP-B(TR, D, T)
  η=max_Quadro(TR)
  Ex=Calcula_Exata(TR,D)
```
$$\upsilon = \frac{Ex(D) - \eta}{T.D}$$
```
End
```

```
Procedure Discreto(TR, I)
  Ex=Calcula_Exata(TR)
```
$$X_{\min} = \min\left\{\frac{\Delta T.S_{\max}}{Ex(t+\Delta T) - Ex(t)}\right\}$$
$$X_{ave} = \min\left\{\frac{I.S_{\max}}{x(t+I) - Ex(t)}\right\}$$
```
End
```

```
Procedure D-BIND (TR, I)
  Ex=Calcula_Exata(TR)
  n=0
  τ=0
  While !Fim Do
    n=n+1
```
$$t = \left\{\tau \le t \le \tau + I \left| \frac{Ex(t) - Ex(\tau)}{t - \tau} \right| \max\right\}$$
$$R_n = \left\{\frac{Ex(t)}{t}\right\}$$
```
    In=t
    τ=t
  End While
End
```

```
TR - traço do vídeo
ΔT - taxa de geração do
     vídeo
Ψ - intervalo máximo para
    cálculo
```

6 Análise dos Resultados

Esta seção apresenta os resultados da aplicação do modelo proposto em diversas amostras de vídeo MPEG [17]. Os vídeos foram obtidos das mais diferentes fontes de forma a se trabalhar com amostras contendo as mais diversas características.

A acurácia do modelo será obtida através do conceito de **Perda por Aproximação do Modelo** (PAM) [6], índice que quantifica a porcentagem de perda de precisão do modelo em comparação à função exata *Ex(t)*. São apresentadas na figura [3] as funções de restrição de tráfego dos modelos em dois vídeos diferentes.

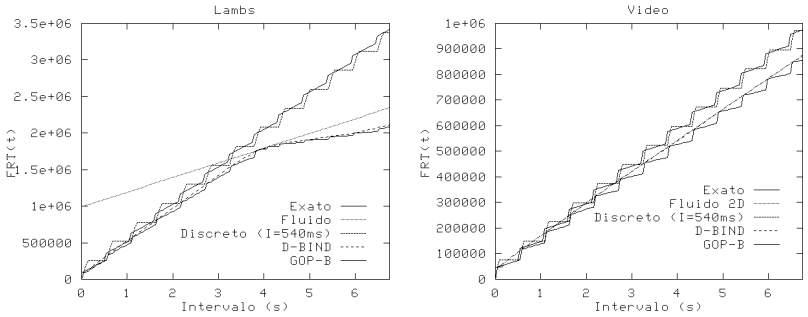

Figura 3: Exemplos de modelagem de dois traços de vídeo.

Os modelos $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ e *D-BIND* apresentam menores valores de PAM. Porém, os cálculos necessários para obtenção dos parâmetros demandam muito processamento, além do seu uso requerer um número maior de parâmetros de tráfego, o que torna seu policiamento mais complexo. Os modelos (σ, ρ) e *Discreto* demandam por mecanismos mais simples para monitoração do tráfego. No que se refere à acurácia, o modelo (σ, ρ) não alcança bons resultados para pequenos intervalos de tempo (ou o inverso, se for priorizada a modelagem para pequenos intervalos) e o modelo *Discreto* deixa de capturar características importantes do vídeo MPEG, levando a uma modelagem com pouca precisão.

O modelo proposto neste trabalho, *GOP-B*, procura conciliar acurácia com simplicidade. Para isso, este modelo aproveita as características do tráfego MPEG e realiza a extração dos parâmetros em intervalos múltiplos do tamanho do GOP, o que resulta em um tempo de processamento bem menor que o exigido pelos demais modelos.

O gráfico da figura 4 mostra, para as 21 amostras de vídeo utilizadas, os resultados de PAM obtidos para os modelos *Discreto* com intervalo *I=540ms* e *GOP-B*.

O gráfico mostra que o modelo *GOP-B* é mais acurado na grande maioria das amostras analisadas. Os poucos traços para os quais o modelo *Discreto* mostrou melhores resultados são aqueles que não apresentam uma das

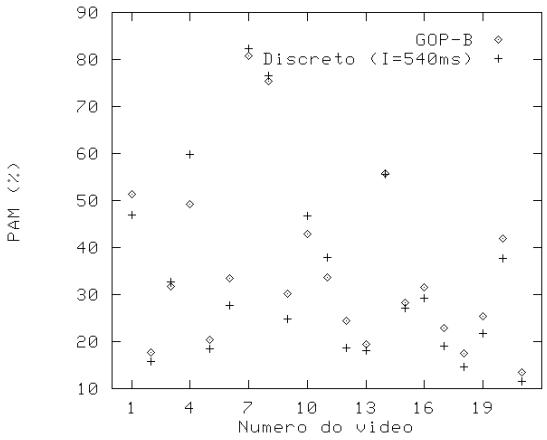

Figura 4: Perda por Aproximação do modelo GOP-B.

principais características do vídeo MPEG: o fato dos intra-quadros serem regularmente maiores que os inter-quadros. Entretanto, para todos os traços que apresentam a característica da diferença de tamanhos entre os intra e inter-quadros, o modelo *GOP-B* resultou em maior acurácia, alcançando valores de PAM mais baixos em até 25%.

7 Conclusão

Este artigo analisou diversos modelos determinísticos para caracterização de vídeo MPEG, incluindo um novo modelo proposto pelo GTA/UFRJ.

O modelo proposto se baseia no princípio do vídeo MPEG ter uma estrutura cíclica em torno do grupo de quadros (GOP) e no fato de no início de cada GOP existir um quadro do tipo I, geralmente muito maior que os demais (P e B). A presença deste quadro resulta em pequenas rajadas em instantes definidos de tempo. A função de restrição de tráfego do modelo *GOP-B* é subdividida então em duas parcelas. Uma responsável pelo crescimento monotônico da curva e outra responsável pela caracterização das rajadas no início de cada GOP.

Os resultados obtidos mostram que os modelos (σ, ρ), $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ e *D-BIND* alcançam melhores índices de acurácia. Contudo, na fase de extração dos parâmetros do tráfego, exigem o cálculo da função exata *Ex(t)*, demandando maior processamento. Os modelos $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ e *D-BIND*, para obterem boa acurácia, caracterizam os tráfegos com um grande número de parâmetros,

tornando o algoritmo de policiamento de tráfego mais complexo.

O modelo *Discreto*, por não capturar características importantes do vídeo MPEG, assim como os demais modelos, resulta em valores de PAM maiores. Os índices de PAM para o modelo *GOP-B* chegam a valores 25% inferiores ao modelo *Discreto*. O modelo *GOP-B* ainda tem as vantagens de demandar pouco processamento na extração dos parâmetros de tráfego, realizando os cálculos diretamente a nível de GOP, e de requerer mecanismos de policiamento mais simples, por modelar o tráfego com poucos parâmetros.

Os mais recentes estudos do GTA mostram que grande parte das amostras de vídeo MPEG apresentam um ou mais "pontos de quebra", muitas vezes bastante significativos, na taxa de crescimento da curva de restrição de tráfego. Uma extensão ao modelo *GOP-B* já está sendo desenvolvida no intuito de alcançar maior acurácia incorporando ao modelo um parâmetro extra que identifique estes pontos.

Referências

[1] E. W. Knightly, "H-BIND: A new approach to provinding statistical performance guarantees to VBR traffic", *IEEE INFOCOM'96*, San Francisco, CA, março de 1996.

[2] M. F. Abdalla, "Análise de mecanismos de controle de admissão de conexão para redes ATM", Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, PEE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, setembro de 1996.

[3] H. Zhang e D. Ferrari, "Improving utilization for deterministic service in multimedia communication", *1994 International Conference om Multimedia Computing and Systems*, pp. 295-304, maio de 1994.

[4] E. W. Knightly, R. F. Mines e H. Zhang, "Deterministic characterization and network utilizations for several distributed real-time applications", *IEEE WORDS'94*, Dana Point, CA, outubro de 1994.

[5] J. Liebeherr, D. E. Wrege e D. Ferrari, "Exact admission control for networks with a bounded delay service", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, pp. 885-901, dezembro de 1996.

[6] M. D. de Amorim e O. C. M. B. Duarte, "Eficiência de modelos deterimínsticos de tráfego na representação de fontes de vídeo MPEG", *XXIV Seminário Integrado de Software e Hardware – SEMISH'97*, agosto de 1997.

[7] M. D. de Amorim e O. C. M. B. Duarte, "Um novo modelo determinístico para tráfegos de vídeo MPEG baseado em grupo de quadros", *XV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBT'97*, setembro de 1997.

[8] E. W. Knightly e H. Zhang, "D-BIND: An accurate traffic model for providing QoS guarantees to VBR traffic", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, pp. 219-231, maio de 1997.

[9] R. L. Cruz, "A calculus for network delay, part I: Network elements in isolation", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 114-121, janeiro de 1991.

[10] R. L. Cruz, "A calculus for network delay, part II: Network analysis", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 121-141, janeiro de 1991.

[11] P. Pancha e M. E. Zarki, "A look at the MPEG video coding standard for variable bit rate video transmission", *IEEE INFOCOM'92*, maio de 1992.

[12] D. L. Gall, "MPEG: A video compression standard for multimedia applications", *Communications of the ACM*, pp. 305-313, abril de 1991.

[13] D. E. Wrege, E. W. Knightly, H. Zhang e J. Liebeherr, "Deterministic delay bounds for VBR video in packet-switching networks: Fundamental limits and practical tradeoffs", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, pp. 352-362, junho de 1996.

[14] D. Ferrari e D. Verma, "A scheme for real-time channel stablishment in wide-area networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 368-379, abril de 1990.

[15] E. W. Knightly e H. Zhang, "Traffic characterization and switch utilization using a deterministic bounding interval dependent traffic model", *IEEE INFOCOM'95*, Boston, MA, abril de 1995.

[16] E. W. Knightly, D. E. Wrege, J. Liebeherr e H. Zhang, "Fundamental limits and tradeoffs of providing deterministic guarantees to VBR video traffic", *ACM Sigmetrics*, Ottawa, Canada, maio de 1995.

[17] O. Rose, "Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modelling in ATM systems", *20th Annual Conference on Local Computer Networks*, Minneapolis, MN, 1995.