

ESTUDO COMPARATIVO DE CONTROLES DE ADMISSÃO PARA REDES DIGITAIS DE SERVIÇOS INTEGRADOS DE FAIXA LARGA

Rosângela Fernandes Coelho*
École Nationale Supérieure des Télécommunications
coelho@res.enst.fr

José Augusto Suruagy Monteiro†
Departamento de Informática — UFPE
suruagy@di.ufpe.br

Sumário

Em Redes Digitais de Serviços Integrados de Faixa Larga (RDSI-FL), mecanismos tradicionais de controle de congestionamento não são apropriados por causa das altas velocidades e tempos de resposta envolvidos.

Neste trabalho analisamos duas fases do controle preventivo de congestionamento em RDSI-FL: a alocação de largura de banda e o controle de admissão. Na fase de alocação da largura de banda alguns resultados interessantes puderam ser observados, principalmente com relação à multiplexação estatística de células pertencentes a classes distintas. Concluímos que a alocação de largura de banda pelo pico é, como esperado, pessimista.

Analisamos inicialmente a alocação de largura de banda para fontes homogêneas, e em seguida estudamos diversos mecanismos de admissão para fontes heterogêneas propostos na literatura, ou seja, levamos em conta a mistura das três classes de tráfego: constante (CTC), em rajadas (CTR) e variável (CTV). Alguns autores aproximam o comportamento da classe CTV ao da classe de tráfego CTR. Neste trabalho vemos que esta aproximação pode ser pessimista.

Abstract

Traditional congestion control mechanisms are not appropriate for Broadband Integrated Services Digital Networks (B-ISDN) because of its high speed and relatively long response times.

In this paper we analyze two phases of the preventive congestion control for B-ISDN: bandwidth allocation and admission control. Some interesting results were observed for the bandwidth allocation phase, mainly regarding the statistical multiplexing of cells from distinct classes. We conclude that, as expected, peak bandwidth allocation is pessimistic.

First, we consider bandwidth allocation for homogeneous sources. Then, we study some admission control mechanisms for heterogeneous sources proposed in

*Durante a realização deste trabalho esta autora se encontrava na EMBRATEL e no Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

†Este autor agradece o apoio da FACEPE e do CNPq.

the literature. In particular, we used three traffic classes, namely, constant, bursty, and variable. Some authors approximate the behavior of the variable class by that of the bursty one. In this paper we show that this approximation can be pessimistic.

1 Introdução

O CCITT (Comitê Consultivo Internacional de Telefonia e Telegrafia) escolheu o Modo de Transferência Assíncrono (MTA) como a tecnologia de comutação e multiplexação para a implementação de RDSI de faixa larga [1, 2]. As redes MTA utilizam unidades de dados de comprimento fixo denominadas de *células* que são roteadas independentemente de acordo com os seus endereços de destino. As vantagens de se utilizar o MTA reside na sua flexibilidade em acomodar uma variedade de serviços (incluindo serviços futuros) e no ganho estatístico obtido pela multiplexação de fontes de tráfego não periódico.

Apesar do MTA ser uma forma de comutação rápida de pacotes, mecanismos de controle de congestionamento tais como o controle de fluxo e pacote de sufoco (*choke*) não são apropriados por causa das altas velocidades e dos tempos de resposta correspondentes. Faz-se portanto necessário encontrar novos mecanismos.

Os diversos métodos para controle de congestionamento em RDSI-FL podem ser classificados em *preventivos* e *reativos*. Como o próprio nome indica, os primeiros tentam prevenir a ocorrência de congestionamento enquanto que os últimos reagem à sua existência. Dentre os métodos preventivos encontram-se [3] o roteamento, a alocação de buffers, a alocação de capacidades, o policiamento e o uso de prioridades de serviço. Por outro lado, dentre os métodos reativos encontram-se além dos anteriores, também a deleção seletiva, o controle de fluxo (janela) fim-a-fim, a entrega atrasada e o controle de retroalimentação [3]. Em RDSI-FL, métodos preventivos são preferíveis a métodos reativos devido à lentidão da realimentação.

O ganho estatístico da multiplexação em redes MTA pode ser estudado tanto para fontes homogêneas como para fontes heterogêneas de tráfego ao nível de célula. O conhecimento da capacidade necessária por fonte (alocação de capacidades) pode ser usado pelos mecanismos de controle de admissão de modo a decidir pela aceitação ou não de uma nova conexão (chamada) ainda garantindo o Grau De Serviço (GDS) desejado.

Neste artigo estudamos a alocação de banda e fazemos um estudo comparativo de diversos critérios de admissão de chamadas apresentados na literatura.

2 Alocação de Largura de Banda

O mecanismo de Alocação de Largura de Banda se resume basicamente, na escolha da largura de banda (LB) a ser alocada, para cada classe de tráfego existente na rede, definidos segundo alguns parâmetros (taxa de pico, taxa média, etc.), e que serão multiplexadas em enlaces de 150 Mbps (multiplexador com um buffer de tamanho K) de forma a prover um determinado grau-de-serviço (GDS) estabelecido.

2.1 Classes de Tráfego

Neste trabalho foram utilizadas para a Alocação de Largura de Banda três classes de tráfego, como modelos de fontes de tráfego na rede: Classe de Tráfego Constante (CTC); Classe de Tráfego em Rajadas (CTR); Classe de Tráfego Variável (CTV).

2.1.1 Classe de Tráfego Constante (CTC)

Nesta classe de tráfego, as células são transmitidas periodicamente a uma taxa constante (taxa de pico). Neste caso, podemos dizer que a taxa média é igual à taxa de pico e portanto o nível de explosividade (*burstiness* — b), definido como a relação entre a taxa de pico e a taxa média, é igual a 1.

2.1.2 Classe de Tráfego em Rajadas (CTR)

Nesta classe, a transmissão, diferentemente da anterior, não é contínua e alterna entre períodos ativos e de silêncio. No período ativo ou de rajada (*burst*), a taxa de transmissão é a de pico e no período de silêncio nenhuma célula é transmitida.

Uma variedade de fontes pode ser caracterizada como pertencente à classe de tráfego em rajada (CTR) tais como fontes de dados, voz e transmissão de imagens.

Em [4], são apresentados alguns modelos de fontes de voz e sua multiplexação. Os períodos ativo e de silêncio foram assumidos como exponencialmente distribuídos com taxas médias A e $S = A(b - 1)$, respectivamente sendo b o nível de explosividade.

A classe de tráfego CTR, pode ser modelada como uma cadeia de Markov de tempo contínuo, de dois estados (ativo e silêncio) com probabilidades de transição: $\lambda = 1/S$ e $\mu = 1/A$.

O período ativo será considerado como um fluxo contínuo de células, transmitidas a uma taxa uniforme e igual à taxa de pico. Em [5], encontramos uma série de distribuições do período ativo, para fontes de voz.

2.1.3 Classe de Tráfego Variável (CTV)

Nesta classe se incluem basicamente, as fontes de vídeo que utilizam codificação diferencial as quais, transmitem continuamente mas com taxas variáveis durante toda a duração da chamada.

Para esta classe de fonte, assume-se uma codificação diferencial onde ao final de cada quadro (1/30 segundo) são transmitidas somente as informações que possuam alteração do quadro atual em relação ao quadro anterior.

Neste trabalho, utilizamos uma aproximação para a fonte variável ou de vídeo de forma que os resultados levassem em conta também este tipo de classe de tráfego. A nossa fonte possui as seguintes características:

1. com probabilidade p_1 a taxa de transmissão do quadro seguinte é duplicada;
2. com probabilidade p_2 a taxa de transmissão do quadro seguinte é reduzida à metade;
3. com probabilidade p_3 a taxa de transmissão do quadro seguinte é mantida, significando que o nível de alteração das imagens foi mantido;
4. $p_1 + p_2 + p_3 = 1$;
5. a taxa máxima de transmissão corresponde a 1024 células por quadro, enquanto que a taxa mínima de transmissão corresponde a 1 célula por quadro.

Uma das curvas possíveis de serem obtidas pode ser observada na Figura 1.

As probabilidades p_1 , p_2 e p_3 , foram obtidas através da resolução da cadeia fechada de Markov da Figura 2, arbitrando-se a probabilidade $p_3 = 0,10$ e obtendo-se assim as demais probabilidades de transição, através de tentativa e erro até obter-se a taxa média desejada.

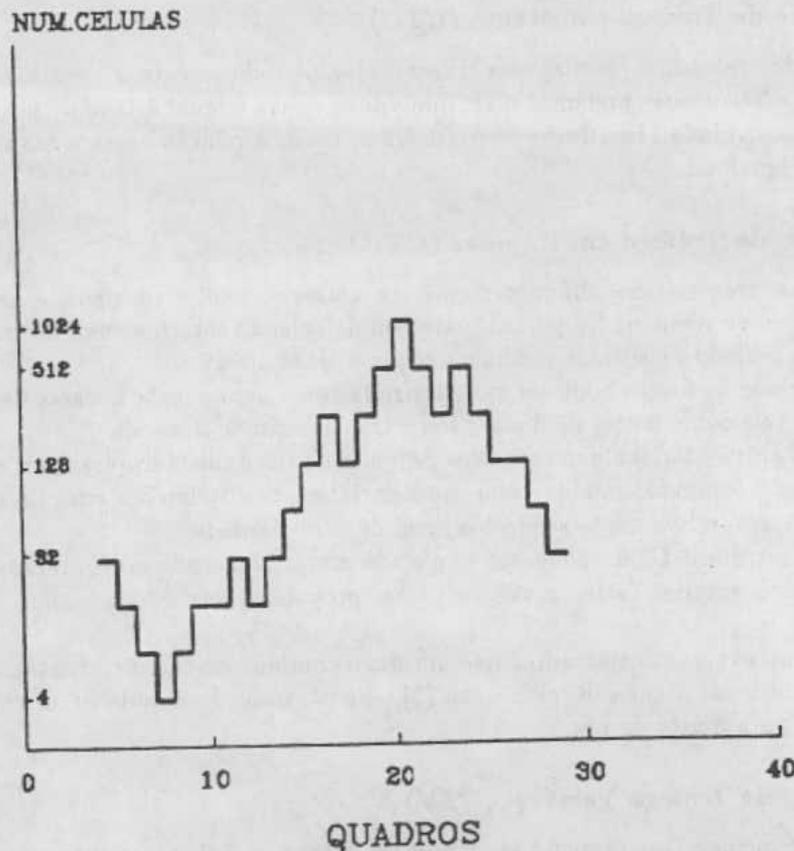


Figura 1: Fonte CTV.

Desta forma, para obter-se a fonte desejada com taxa de pico de 13.025.280 bps e taxa média de 2 Mbps obtivemos $p_1 = 0,441$ e $p_2 = 0,459$.

Esta caracterização está baseada em estudos de variabilidade de fontes de vídeo ainda não publicados na literatura, enquanto que, os parâmetros utilizados para a taxa de pico e a taxa média, foram obtidos no projeto RACE¹ [6].

2.2 A Fase de Alocação

Em nosso trabalho, analisamos inicialmente a alocação de largura de banda para fontes homogêneas. Na Seção 3 estudamos os mecanismos de admissão para fontes heterogêneas, ou seja, levamos em conta a mistura das três classes de tráfego (CTC, CTR, CTV). Alguns autores aproximam o comportamento da classe CTV ao da classe de tráfego CTR. Neste trabalho veremos que esta aproximação pode ser pessimista.

2.2.1 O Comprimento do Buffer do Multiplexador

Quanto maior o comprimento do buffer (K) menor serão a alocação de banda e a probabilidade de perda de células para um número fixo de fontes. No entanto, K deve ser escolhido de forma a limitar o valor desejado para o retardo máximo de cada célula no multiplexador. Utilizamos um comprimento de buffer de 100 células o que significa, um retardo de 282 μ s

¹ *Research and Development for Advanced Communication in Europe*

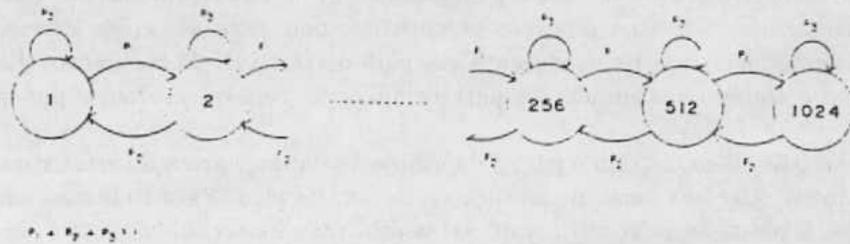


Figura 2: Cadeia de Markov para a fonte CTV.

já que a taxa de transmissão no canal é de 150 Mbps. A justificativa para a escolha deste comprimento de buffer se deve a fontes cujo retardo máximo é crítico como é o caso de voz.

2.2.2 Resultados de Alocação para fonte CTR

Como podemos observar na Figura 3, apesar das fontes possuírem mesmas taxas de pico (13.025.280 bps) e média (2 Mbps), elas pertencem a tipos distintos de fontes pois possuem tamanhos médios de rajada e de silêncio diferentes. Nas Figuras 3 e 4, as durações médias das rajadas estão representadas na legenda (entre parêntesis) em segundos.

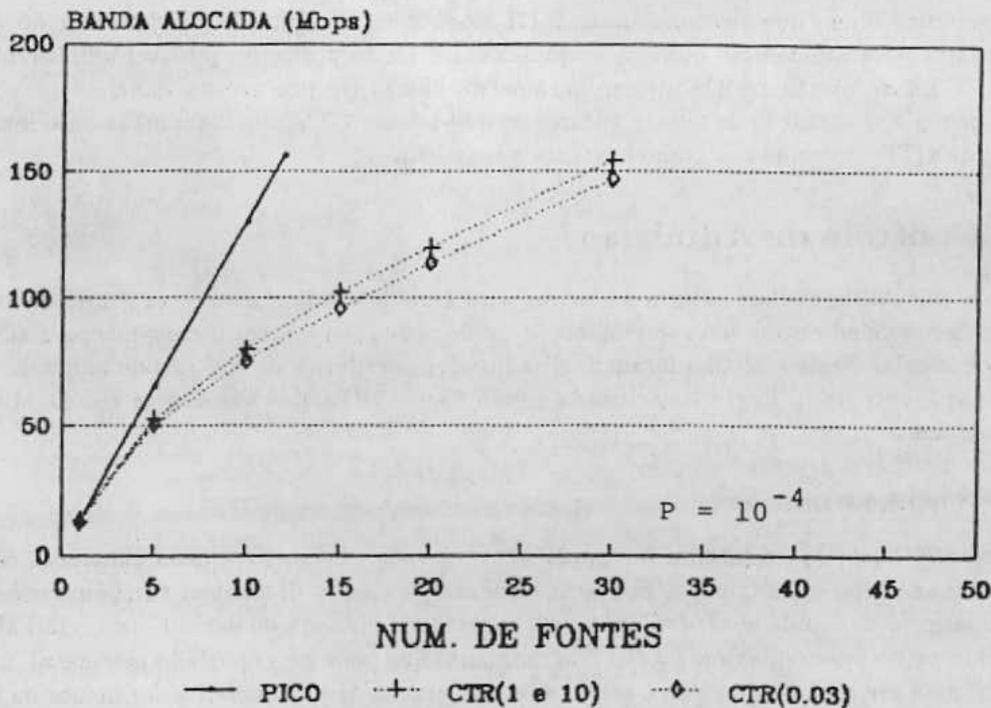


Figura 3: Alocação de banda para fontes CTR.

Os resultados de simulação [7], para uma probabilidade de perda de células $P = 10^{-4}$, foram obtidos através de tentativa e erro. Ou seja, fixados o número de fontes, comprimento do buffer do multiplexador e alocação inicial de capacidades, obtivemos através de simulação a

probabilidade correspondente de perda de células. Se a perda obtida foi excessiva em relação a P , aumentamos a alocação de banda, caso contrário, devemos diminuí-la. Normalmente convém começarmos com uma alocação insuficiente, pois para alocações excessivas podemos não observar nenhuma perda durante um período razoável de simulação. Este mesmo procedimento é seguido nas simulações para comparação com os resultados dos critérios de admissão.

Estes resultados demonstram o ganho da utilização da multiplexação estatística que pode ser observado em relação à curva de alocação pela taxa de pico. Para 10 fontes, adotando-se, por exemplo, a alocação pelo pico, seria necessária uma alocação de largura de banda de 130 Mbps enquanto que com a multiplexação estatística das fontes, a alocação necessária seria de apenas 68 Mbps, possibilitando a utilização de um número maior de fontes.

Podemos observar ainda, a diferença de largura de banda para fontes de mesma classe mas de tipos distintos (tamanho da rajada). Em particular, para tamanhos pequenos de rajadas como é o caso da CTR(0.03). Para tamanhos longos de rajada (1 e 10 segundos) o resultado basicamente não se altera, devido ao fato de que ambos os tamanhos de rajada já são maiores do que o comprimento do buffer. Portanto, podemos dizer que a largura de banda a ser alocada para uma determinada classe de tráfego, não deve ser estendida para as demais fontes pertencentes a esta mesma classe.

2.2.3 Comparação entre as Alocações para fontes CTR e CTV

Como podemos observar na Figura 4, as fontes CTV utilizadas (com idênticas taxas de pico e média), exploram melhor o efeito da multiplexação estatística do que as fontes CTR. Isto significa dizer, que algumas fontes CTR alocam uma largura de banda maior do que a necessária para um mesmo número de fontes CTV sendo portanto, possível admitir menos fontes CTR do que fontes CTV (com parâmetros idênticos) num mesmo canal.

Logo, a aproximação de alguns autores de que a fonte CTV tem comportamento igual ao da fonte CTR, apresenta-se como bastante pessimista.

3 Controle de Admissão

Após o cálculo da melhor largura de banda para uma determinada fonte ou grupo de fontes, mecanismos de admissão deverão analisar se a rede possui os recursos necessários para admitir esta chamada. Neste trabalho foram analisados alguns critérios de controle de admissão, tais como: o Linear, o da Regra Relacionada com a Classe (RRC), o Não-Linear e o da Mistura Independente.

3.1 Critério Linear

No critério linear [8], a largura de banda a ser alocada (LB_j), para cada chamada, de um determinado tipo j de tráfego, podendo pertencer a classes diferentes, também conhecida como largura de banda efetiva, é dada pela capacidade máxima do canal C (e.x., 150 Mbps) dividida pelo número máximo ($X_j^{máx}$) de chamadas que pode ser suportado pelo canal. Deste modo, uma nova chamada só será aceita se a sua largura de banda efetiva for menor ou igual à capacidade residual do canal dada por:

$$R = C - \sum_j LB_j \cdot X_j \quad (1)$$

Graficamente (Figura 5), para a mistura de dois tipos de tráfego, a região de aceitação está delimitada por uma linha reta ligando os pontos correspondentes ao número máximo

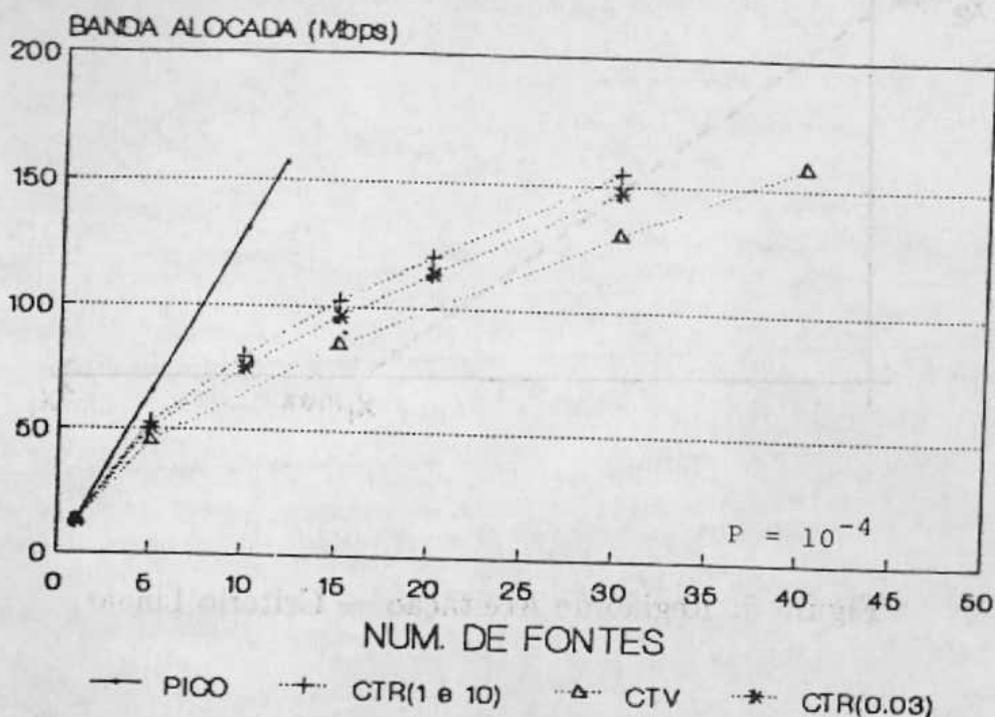


Figura 4: CTR x CTV.

de chamadas de cada tipo para o caso homogêneo. Esta aproximação não leva em conta a interferência entre fontes de tipos diferentes que estão sendo multiplexadas no mesmo canal, e que poderia provocar a necessidade de uma largura de banda maior que a largura de banda efetiva de modo a garantir o GDS desejado. Neste caso, deveriam ser admitidos um número menor de fontes. Portanto, podemos ver a aproximação linear como um limite superior (melhor caso) do número de chamadas de um certo tipo que podem ser admitidas, dado que já existe um número de chamadas de outro tipo.

3.2 O Critério da Mistura Independente

O critério da mistura independente, é aquele que leva em conta, apenas um tipo de fonte de tráfego por vez, independentemente, como se não houvesse multiplexação entre fontes de tipos diferentes (Figura 6). Isto equivaleria a se ter uma "fragmentação" da capacidade total do canal como se fossem canais de capacidade menor dedicados a cada tipo de fonte sem que houvesse, portanto, a multiplexação entre fontes de tipos diferentes. Este critério pode ser considerado como o pior caso, já que não leva em conta o efeito da mistura com fontes de outros tipos.

3.3 Critério da Regra Relacionada com a Classe (RRC)

O critério RRC (Regra Relacionada com a Classe), foi proposto por Galassi et al. [6, 9]. De acordo com este critério, a alocação de largura de banda será a mínima entre os valores do pior caso e o da alocação de largura de banda que seria necessária se o tráfego médio total fosse gerado pela fonte mais exigente, isto é, aquela que reque mais da rede. Este critério está representado na Figura 7, onde assumimos que a fonte de tipo 1 é aquela que reque mais da

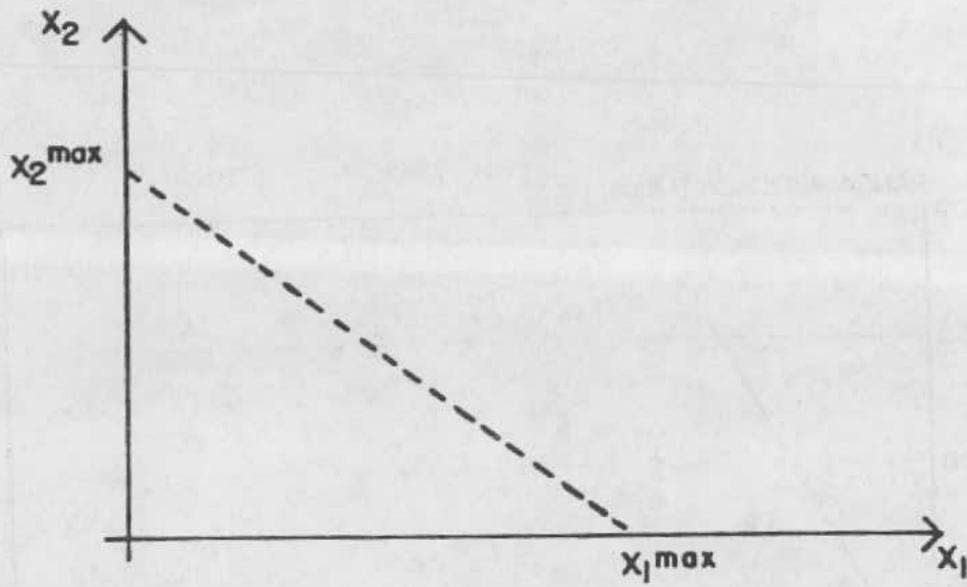


Figura 5: Região de Aceitação — Critério Linear.

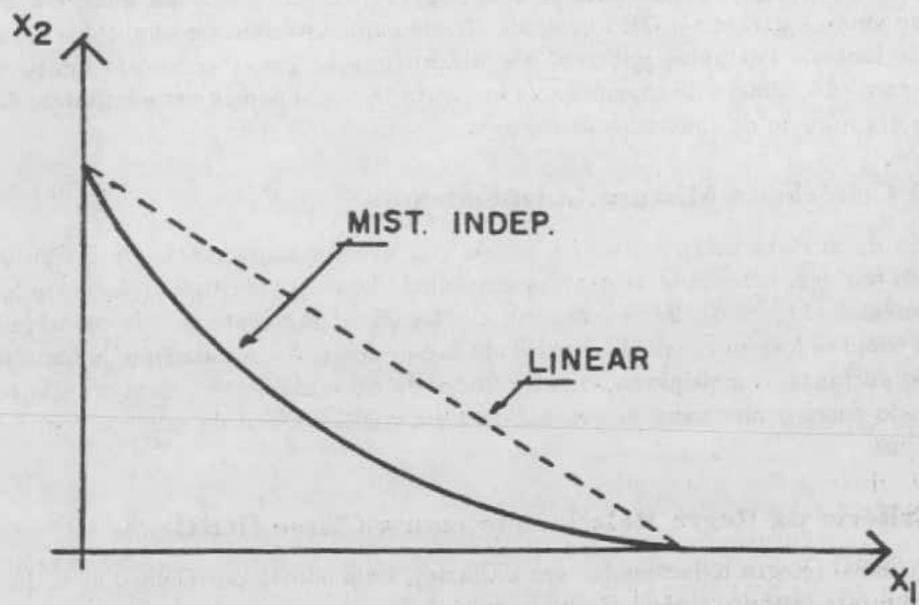


Figura 6: Região de Aceitação — Mistura Independente.

rede. O RRC delimitaria a região de aceitação com a curva em linha cheia que corresponde aos valores que produzem uma taxa média idêntica à máxima taxa média para a fonte mais exigente, onde

$$X_2' = \frac{X_1^{máx} \cdot T_m^1}{T_m^2} \quad (2)$$

sendo T_m^i a taxa média da fonte de tipo i .

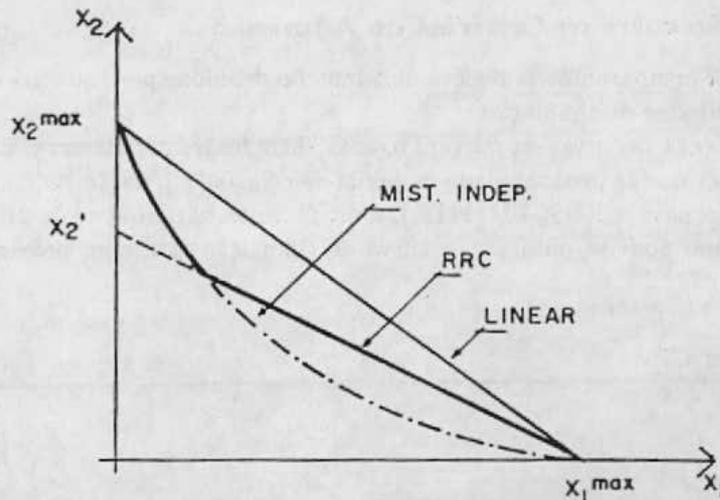


Figura 7: Região de Aceitação — Regra relacionada com a classe.

De acordo com a formulação original de Galassi [6, 9], a fonte que requer mais da rede é aquela que tem o maior índice de explosividade.

A intenção dos autores era de que a curva do RRC estivesse sempre entre a curva do critério linear (limite superior) e a curva do critério de mistura independente (limite inferior). No entanto, observamos que a aplicação da formulação original nem sempre produz o resultado esperado

Exemplificando, podemos considerar o caso de duas fontes com mesma taxa média ($T_m^1 = T_m^2$) mas diferentes níveis de explosividade. Assumindo que a fonte com maior nível de explosividade seja a 1, poderemos multiplexar um número maior de fontes do tipo 1 do que do tipo 2. Como as taxas médias são idênticas, $X_2' = X_1^{máx} \cdot > X_2^{máx}$, o que ocorre é que a curva do RRC fica acima da linear.

A formulação correta seria portanto, considerar como fonte que requer mais da rede, aquela que utiliza menos eficientemente o canal. Ou seja, a fonte j que possua a menor taxa média total dada pelo produto $X_j^{máx} \cdot T_m^j$. Deste modo, garantiríamos que, no nosso exemplo, $X_2' < X_2^{máx}$.

Em nosso trabalho utilizamos esta nova formulação para o RRC.

3.4 Critério Não-Linear

O critério não-linear, foi proposto por Dziong et al. [10]. Neste critério, ao contrário do critério linear, leva-se em conta que a largura de banda necessária para uma chamada de tipo i , depende das demais chamadas, possivelmente de tipos diferentes, já presentes no canal.

Para caracterizar o tráfego já existente, são utilizados os conceitos de "suavidade" e de "espalhamento" relacionados, respectivamente, com a diferença da largura de banda alocada

para a alocação de pico e com a diferença da largura de banda alocada para a taxa média total.

De acordo com este critério, a alocação de banda efetiva para chamadas de um certo tipo é feita de modo que a "suavidade" e o "espalhamento" do tráfego já presente no canal seja pelo menos do mesmo valor da suavidade e do espalhamento para fontes do mesmo tipo considerado no caso homogêneo e que resulte na mesma alocação de banda.

3.5 Comparação entre os Critérios de Admissão

Nas Figuras 8, 9 e 10 comparamos as regiões de admissão definidas por cada um dos critérios anteriores, com resultados de simulação.

A Figura 8 apresenta as curvas da mistura apenas entre fontes das classes CTR e CTV. O GDS utilizado, em termos de probabilidade de perda de células (P), foi de 10^{-4} já que o valor de 10^{-9} , especificado para a RDSI-FL (MTA), é dificilmente obtido através de simulação a nível de célula. Como pode-se observar, a curva de simulação está bem próxima da curva não-linear.

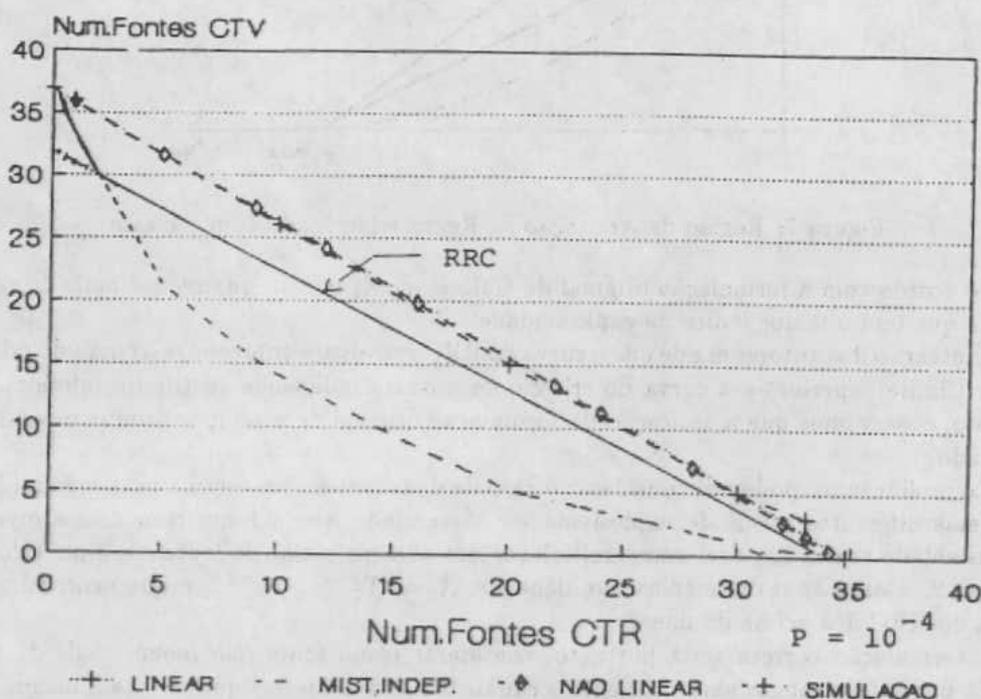


Figura 8: Mistura CTR x CTV.

A Figura 9 apresenta as curvas da mistura de fontes CTR e CTV com cinco fontes CTC com taxa de transmissão de 10 Mbps. Portanto, alocação de largura de banda para esta fonte deverá ser de 50 Mbps. Desta forma, poderíamos dizer que a largura de banda disponível no canal, a ser utilizada pelas fontes das outras classes, é de apenas 100 Mbps.

Pode-se observar, pela curva da mistura independente/RRC, o efeito da mistura das três classes, que com apenas uma fonte do tipo CTR, além das 5 CTC, permite admitir no máximo até 17 fontes CTV. O critério linear mostra-se bastante otimista ao elevar o número de fontes CTV para 24.

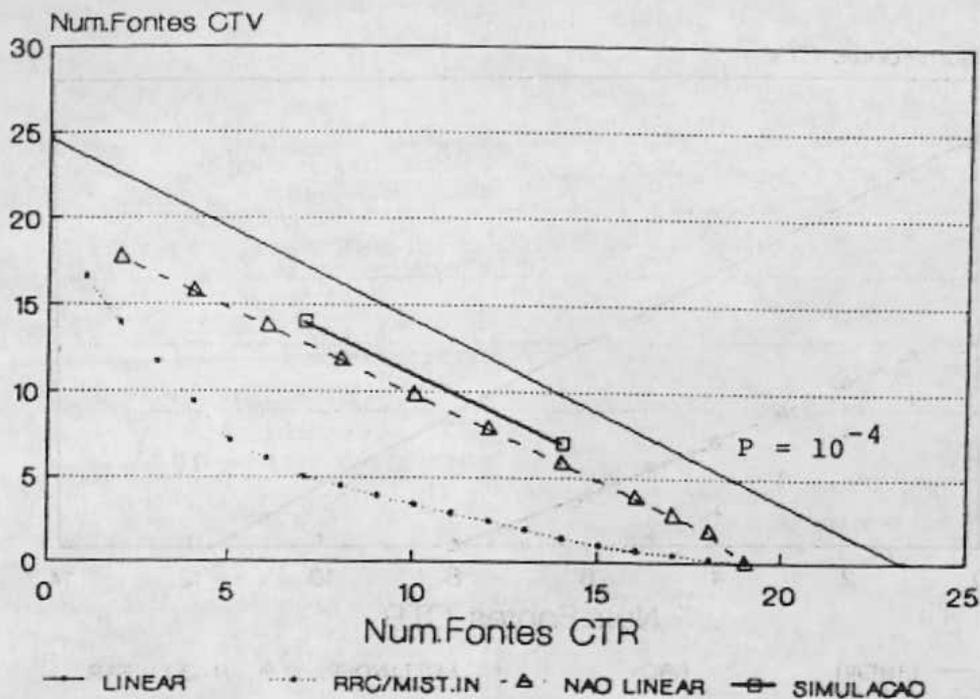


Figura 9: Mistura CTR x CTV para 5 fontes CTC.

O critério linear ignora o fato de que fontes CTC (ou de maneira geral, fontes com baixos níveis de explosividade) praticamente "roubam" capacidade do canal. Note-se, no entanto, que os resultados obtidos são mais favoráveis que os obtidos se tivéssemos um canal de apenas 100 Mbps. Isto evidencia que obtemos um certo ganho estatístico mesmo utilizando-se fontes CTC.

A curva de simulação neste caso, se apresentou mais próxima do critério não-linear. Como esperado, os resultados do critério RRC são idênticos aos da mistura independente (pior caso), pois os valores mínimos são dados pela curva da mistura independente.

Finalmente, a Figura 10 apresenta as curvas da mistura de fontes CTR e CTV com dez fontes CTC também com taxa de transmissão de 10 Mbps. Este ambiente torna-se mais crítico pois, como já sabemos, ao usarmos as 10 fontes CTC estaremos virtualmente reduzindo a capacidade do canal para 50 Mbps, que será utilizado pelas demais fontes.

Neste caso, também a curva do critério RRC se assemelha com a da mistura independente, pois a curva da fonte que requer mais da rede estaria com valores bem superiores (mais otimista) fazendo com que a RRC opte pelo valor mínimo dado pela mistura independente (pior caso).

4 Conclusões

Neste trabalho analisamos duas fases do controle *preventivo* de congestionamento em RDSI-FL: a alocação de largura de banda e o controle de admissão.

Na fase de alocação da largura de banda alguns resultados interessantes puderam ser observados, principalmente com relação à multiplexação estatística de células pertencentes a classes distintas. Concluímos que a alocação de largura de banda pelo pico é, como esperado,

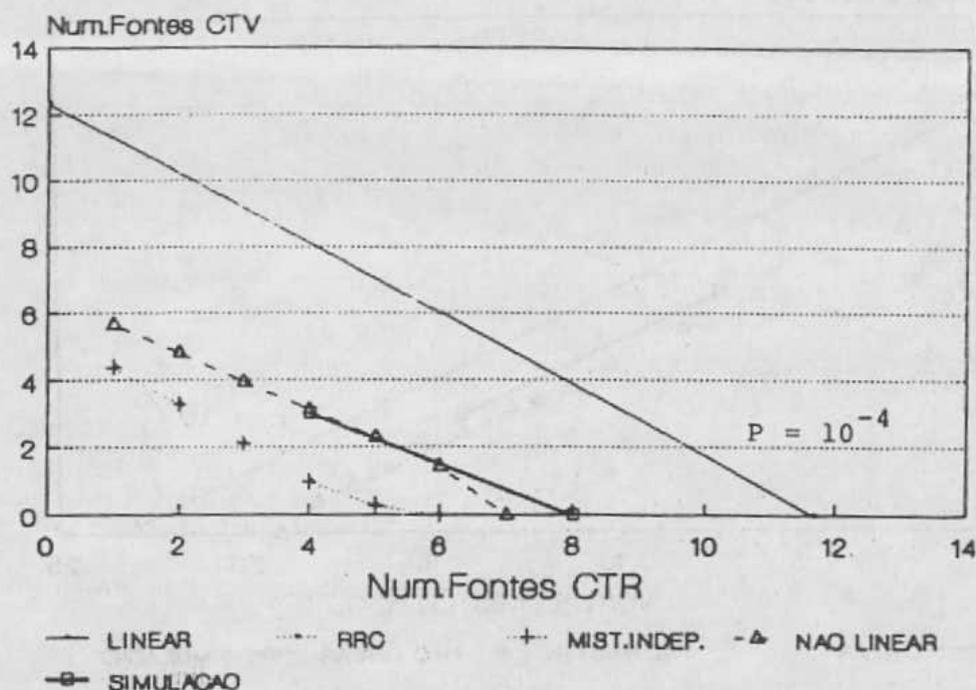


Figura 10: Mistura CTR x CTV para 10 fontes CTC.

pessimista.

Conseguimos ainda, através de simulação, explorar o efeito da multiplexação de células das classes de tráfego contínua (CTC) e da classe de tráfego variável (CTV), que representam basicamente as fontes de vídeo. Isto foi possível através da introdução de um simulador desta fonte e concluímos que a aproximação, utilizada anteriormente por alguns autores, de que o comportamento da fonte CTV seria idêntico ao de uma fonte CTR, é bastante pessimista.

No que diz respeito ao controle de admissão, foi realizado um estudo comparativo entre alguns critérios apresentados na literatura tais como o linear, o da mistura independente, o da regra relacionada com a classe (RRC) e o não-linear com resultados de simulação. Observamos que os critérios RRC, não-linear e mistura independente se assemelharam na maioria dos casos considerados, e que os resultados de simulação, diferentemente do que era esperado, na maioria das vezes se aproximam da curva do critério linear.

Quanto ao critério RRC observamos que as definições fornecidas em [6, 9] não se aplicavam para todas as fontes e sim em alguns casos particulares. Concluímos então que a formulação do critério não estava correta e apresentamos a versão correta.

Referências

- [1] CCITT. *Draft revision of Recommendation I.121: Broadband Aspects of ISDN*, June 1990.
- [2] Steven E. Minzer. *Broadband ISDN and asynchronous transfer mode (ATM)*. *IEEE Communications Magazine*, 27(9):17-24, September 1989.

- [3] Maurizio Décina. Open issues regarding the universal application of ATM for multiplexing and switching in the B-ISDN. In *Proc. ICC '91*, 1991.
- [4] John N. Daigle and Joseph D. Langford. Models for analysis of packet voice communications systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 4(6):847-855, September 1986.
- [5] K. Kawashima and H. Saito. Teletraffic issues in ATM networks. *Computer Networks and ISDN Systems*, 20(1-5):369-376, 1990.
- [6] G. Gallassi, G. Rigolio, and L. Fratta. ATM: Bandwidth assignment and bandwidth enforcement policies. In *Proc. GLOBECOM '89*, pages 1788-1793, Dallas, TX, November 1989. IEEE.
- [7] Rosângela F. Coelho. Controle de Congestionamento na Rede Digital de Serviços Integrados de Faixa Larga utilizando o Modo de Transferência Assíncrono. Dissertação de Mestrado, PUC-RJ, Setembro 1991.
- [8] Shahid Akhtar. Congestion control in a fast packet switching network. Master's thesis, Washington University, December 1987.
- [9] G. Gallassi, G. Rigolio, and L. Verri. Resource management and dimensioning in ATM networks. *IEEE Network Magazine*, 4(3):8-17, May 1990.
- [10] Zbigniew Dziong, Jean Choquette, Ke-Qiang Liao, and Lorne Mason. Admission control and routing in ATM networks. *Computer Networks and ISDN Systems*, 20(1-5):189-196, 1990.