Capítulo 3

Multiplexação Estatística

3.1 Introdução

Em redes ATM, várias fontes de tráfego com as mais diversas características são superpostas em um mesmo canal de transmissão, tal como um tronco de linha composto por centenas de chamadas de videofone. A forma mais simples de multiplexar estas fontes seria alocar uma largura de banda correspondente à taxa de pico de cada fonte. Entretanto, a eficiência do sistema com esta forma de multiplexação seria muito baixa e o nível de utilização, muito pequeno. O número de células geradas por um usuário de uma rede ATM muda de acordo com a quantidade de informação a ser transferida. Portanto, a quantidade de recursos de rede para cada usuário também varia constantemente e proporcionalmente ao número de células geradas por unidade de tempo. Como estes usuários, individualmente, não alcançam seus valores máximos de taxa de transmissão simultaneamente, a quantidade total de recursos a ser fornecida pela rede será menor caso estes recursos sejam compartilhados por todos os usuários. Este fenômeno, chamado de ganho de multiplexação estatística, é uma das principais características das redes ATM.

No entanto, o compartilhamento de recursos ou a multiplexação estatística, sem a devida monitoração e controle, pode causar situações de congestionamento, com perdas e atrasos de células, que degradam a qualidade de serviço requerida. Os mecanismos de controle de admissão de conexão, juntamente com os mecanismos de monitoração e policiamento de tráfego, reduzem a ocorrência destas situações abusivas, por parte do usuário, no compartilhamento de recursos da rede.

Portanto, a análise da multiplexação estatística é fundamental para a avaliação do ganho que pode ser obtido com o uso das redes ATM. Além disto, ela também serve como base para a avaliação de desempenho dos diversos mecanismos de controle de admissão de conexão.

Este capítulo trata de vários aspectos relacionados com o ganho de multiplexação estatística. Na seção 3.2 é estudado o efeito do compartilhamento de recursos, apontando suas vantagens e desvantagens. Um modelo para o nó de comutação ATM é apresentado na seção 3.3. Na seção 3.4, são analisados os parâmetros de tráfego mais importantes para a avaliação do ganho da multiplexação estatística. E, finalmente, na seção 3.5, as principais conclusões são apresentadas.

3.2 O Efeito do Compartilhamento de Recursos

O ganho com a multiplexação estatística é obtido através da superposição de fluxos de células. Portanto, neste ponto de vista, o ganho é uma propriedade do nível de célula. Contudo, o ganho resultante do compartilhamento de recursos de rede também ocorre ao nível de chamada. Para compreender este tipo de compartilhamento de recursos, é importante o conhecimento dos conceitos de caminho virtual (VP - *Virtual Path*) e canal virtual (VC - *Virtual Channel*).

A função de transporte em redes ATM está estruturada hierarquicamente, como visto na figura 3.1. O meio de transmissão provê o serviço de transporte para o caminho virtual (VP) que, por sua vez, provê o serviço de transporte para o canal virtual (VC).

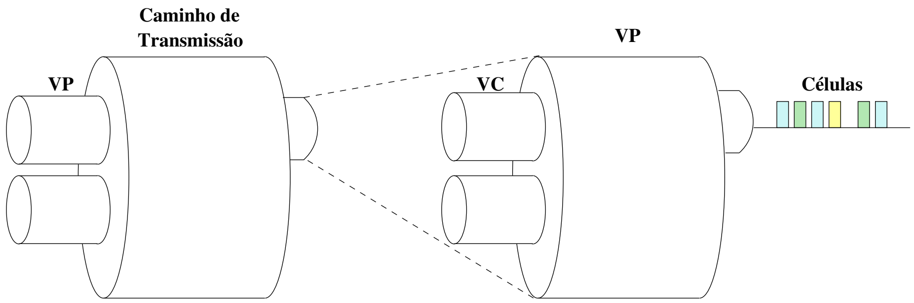

Figura 3.1: Hierarquia das redes ATM.

Os nós de comutação ATM são conectados através de caminhos de transmissão e formam as redes ATM. O estudo do efeito do compartilhamento de recursos é importante pelas seguintes razões [2]:

- existe um comportamento similar com o ganho da multiplexação estatística e um melhor entendimento do comportamento do compartilhamento de recursos ao nível de conexão ajudará no entendimento do ganho da multiplexação estatística ao nível de célula;
- o ganho deve ser considerado ao nível tanto de célula quanto de chamada e, as vezes, existe uma relação custo-benefício entre o ganho da multiplexação estatística ao nível de célula e o efeito do compartilhamento de recursos ao nível de chamada; e
- o compartilhamento de recursos ao nível de chamada afeta a estratégia de gerenciamento dos caminhos virtuais (VPs).

A figura 3.2 ilustra o efeito do compartilhamento de recursos com um exemplo bem simples. Neste exemplo, um canal virtual (VC - *Virtual Channel*) de uma classe i ocupa uma banda passante C_i por toda a duração da conexão. Se existe um caminho virtual (VP - *Virtual Path*) dedicado para cada classe e o VP da classe i está completamente cheio (figura 3.2 (a)), uma outra conexão de VC da classe i não pode ser estabelecida mesmo que haja banda passante suficiente em um VP de outra classe. Porém, caso todos os VPs fossem compartilhados por todas as classes (figura 3.2 (b)), a conexão de VC poderia ser estabelecida.

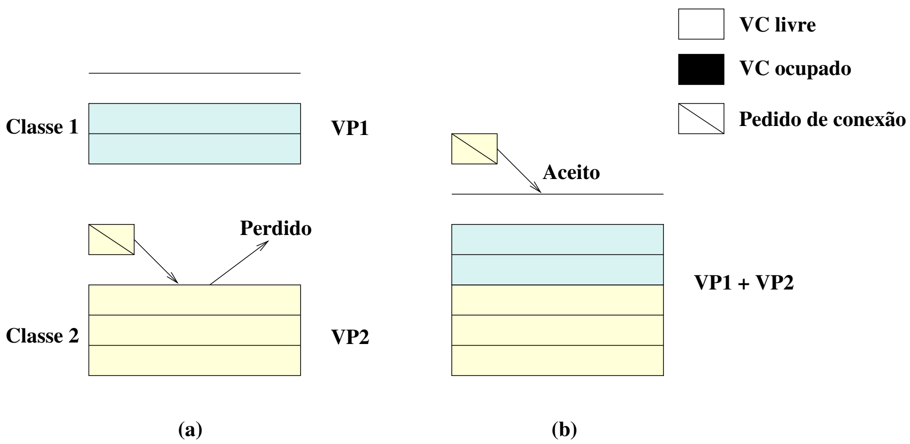

Figura 3.2: Efeito do compartilhamento de recursos em redes ATM.

A análise mais detalhada do efeito do compartilhamento de recursos é bem mais complexa, visto que ela envolve o estudo das propriedades estatísticas ao nível de conexão. Para tanto, deve-se conhecer tanto o processo de chegadas quanto a distribuição do tempo de duração de uma conexão. No entanto, esta análise não é feita aqui e apenas uma importante observação é apontada.

A grande vantagem na utilização do compartilhamento de recursos ocorre quando as diferentes classes de VC possuem os mesmos, ou bem próximos, objetivos de QoS. Neste caso, como mostrado na figura 3.2, a banda passante que não é utilizada por um VP de uma classe pode ser utilizada por uma outra classe, aumentando, assim, a eficiência da rede. Contudo, quando as classes de VC possuem objetivos de QoS muito diferentes, o compartilhamento de recursos pode ser bem desvantajoso, pois o objetivo de QoS será o mesmo para todas as classes e, portanto, igual ao da classe mais restrigente. Com isto, o número de conexões de VC que podem ser aceitos por uma classe menos restrigente será menor que aquele sem o compartilhamento de recursos, o que pode reduzir drasticamente a eficiência da rede.

3.3 O Nó e a rede ATM

Entre os vários fatores que causam a deterioração da qualidade de serviço nas redes ATM, podem ser citados os tempos de segmentação e propagação, os erros de transmissão e os atrasos e perdas por transbordo nos nós de comutação. Os atrasos de segmentação e propagação através de um caminho de transmissão são fixos e independentes do tráfego. A perda e o erro de entrega de células devido a um erro no seu cabeçalho ocorrido durante a transmissão também independem do tráfego. Portanto, os principais fatores dependentes do tráfego que causam a deterioração do desempenho das redes ATM são a perda e o atraso de células nos nós de comutação ATM.

A figura 3.3 apresenta um modelo para o nó de comutação ATM com vários *buffers* de saída. Assume-se, para efeitos de modelagem, que o comutador é quase não bloqueante e que as perdas são causadas apenas pelo transbordo nos *buffers* de saída. Assim, focalizando numa rede ATM ao longo de uma conexão de VC, um nó ATM pode ser modelado como um único servidor de filas, onde o servidor corresponde ou a um VP ou a um caminho de transmissão e o serviço realizado pelo servidor corresponde a transmissão de uma célula [2]. Caso os VPs sejam independentes entre si (VPs determinísticos), o servidor deve ser um modelo de um VP. Caso contrário, se os VPs são multiplexados estatisticamente (VPs estocásticos), o servidor deve ser um modelo de um caminho de transmissão.

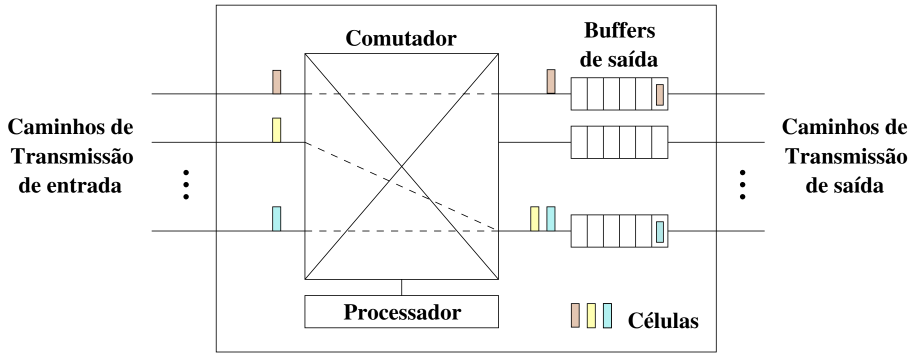

Figura 3.3: O nó de comutação ATM.

3.4 Ganho de Multiplexação Estatística

O estudo da multiplexação estatística em redes ATM é extremamente importante para a avaliação do ganho que pode ser obtido com a utilização desta tecnologia de rede. Esta avaliação está baseada principalmente na determinação de uma capacidade equivalente para cada conexão de modo que o objetivo de qualidade de serviço (QoS) - expresso normalmente pela taxa de perda de célula (CLR) - seja alcançado.

Como mostrado na seção 3.3, um nó ATM pode ser aproximado por sistema de filas com um único servidor e com capacidade de *buffer* finita. Portanto, o problema da alocação de capacidades [26, 5] pode ser assim formulado: dado uma mistura de N fontes distintas de tráfego que compartilham um mesmo canal de transmissão, com um *buffer* de tamanho K, deseja-se encontrar a capacidade W que deve alocada para esta mistura de modo a satisfazer uma dada qualidade de serviço.

Uma outra forma de se expressar a capacidade a ser alocada é através do *fator de expansão*, R, definido em [27] como sendo a relação entre a capacidade alocada W e a taxa média produzida pelas fontes, ou seja,

$$R = \frac{W}{\sum_{i=1}^{S} n_i \cdot B_m^i} \tag{3.1}$$

onde:

B_m^i : taxa média da fonte da classe i,
n_i : número de fontes da classe i,
S : número de classes.

Este fator R indica a capacidade adicional em relação a média que deve ser alocada ao tráfego de entrada em face ao seu índice de rajada. Na alocação pelo pico, seu valor é máximo e igual a B_p/B_m para o caso de uma única classe. Na alocação pela média, seu valor é mínimo e igual a 1. Note que R é igual ao inverso da utilização.

Vários parâmetros apresentam um impacto significativo sobre o fator de expansão, R, e, conseqüentemente, sobre o ganho a ser obtido com a multiplexação estatística. Nesta seção, estes impactos são analisados para dois diferentes tipos de tráfego, bastante característicos em redes ATM: fontes em rajadas do tipo silêncio/atividade e fontes VBR.

3.4.1 Fontes em Rajadas

Como visto na seção 2.3.1, as fontes em rajadas do tipo silêncio/atividade são um caso mais geral das fontes de voz. Como estas, sua caracterização pode ser feita pelos seguintes parâmetros: B_m, taxa binária média; B_p, taxa binária de pico; T, tempo médio de duração de uma rajada; e b, o índice de rajada, definido como B_p/B_m.

Para que os modelos estudados para fontes de voz possam ser aplicados na análise destas fontes, assume-se também aqui que os períodos de atividade e silêncio são exponencialmente distribuídos com médias T e $(b-1)T$, respectivamente. Assim, para fontes de tráfego em rajadas do tipo silêncio/atividade, o fator de expansão R é uma função dos seguintes parâmetros: B_m, taxa binária média; B_p, taxa binária de pico; N, número de fontes de voz; L, comprimento médio da rajada em células; e K, comprimento do *buffer* em células. Gallassi et al. [27] observaram que o fator R independe de um valor particular de B_m e B_p, mas apenas da razão entre eles ($b = B_p/B_m$). Monteiro et al. [26] mostraram que R também depende dos valores de K e L somente através da razão entre eles.

Para estudar o impacto de cada um destes parâmetros no ganho de multiplexação estatística e, conseqüentemente, no fator de expansão R, dois métodos de simulação foram utilizados: o método em rajadas e o uniforme. Eles se diferenciam apenas no modo como a transferência de células é feita, dada a chegada de uma rajada.

O modo de transferência em rajadas considera que, dada a chegada de uma rajada, todas as células que a ela pertecem são colocadas simultaneamente no *buffer*. Já no segundo modo, a transferência é feita de modo uniforme, ou seja, as células são colocadas no *buffer* com um intervalo fixo entre elas.

Uma possível interpretação de um nó ATM é de um conjunto de células que chegam a este nó, dado pelo tráfego do agregado de fontes multiplexadas, e uma saída de células dada pela capacidade do canal. Quando o número de células que chegam é maior que o número de células que saem, o tamanho do *buffer* cresce. Desta forma, é possível acomodar uma rajada maior que o tamanho do *buffer* caso seja considerado que o *buffer* se esvazia enquanto chega a rajada. Isto não é possível se o modelo assumir que uma rajada de células chega instantaneamente. Assim, o modo de transferência em rajadas é mais recomendado nos casos onde o tamanho médio da rajada é bem inferior ao tamanho do *buffer*, pois o erro por ele introduzido é pequeno nestes casos e o tempo de execução da simulação é razoavelmente menor. Isto pode ser explicado pelo fato de que o erro só ocorrerá nos instantes em que houver sobrecarga de tráfego e que o *buffer* estiver cheio. Nestes casos, o valor da taxa de perda de células obtido pode ser considerado como limite superior (tráfego de pior caso). Todavia, o uso do modo de transferência em rajadas nos casos onde o tamanho da rajada é comparável ao do *buffer* leva a resultados sem qualquer significado, visto que, com a chegada de uma rajada, uma grande quantidade de células é perdida independentemente da vazão do multiplexador. A tabela 3.1 mostra bem este fato comparando, para duas vazões diferentes, os valores das taxas de perda de célula nos dois modos de transferência. O número de fontes é 20, a taxa binária de pico é 10 Mbps, o tamanho médio da rajada é 50, o tamanho do *buffer* é 100 e o índice de rajada é 3.

Tabela 3.1: Transferência em rajada *versus* Transferência uniforme.

Taxa de Perda de Células		
Vazão em Mbps	Modo de transferência em rajadas	Modo de transferência uniforme
90	$0.560 \pm 6.7 * 10^{-3}$	$3.2 * 10^{-3} \pm 2.0 * 10^{-4}$
100	$0.545 \pm 6.2 * 10^{-3}$	$5.3 * 10^{-4} \pm 3.0 * 10^{-5}$
110	$0.532 \pm 6.4 * 10^{-3}$	$2.9 * 10^{-4} \pm 2.1 * 10^{-5}$

A figura 3.4 mostra o decaimento da taxa de perda de células com a variação do tamanho médio da rajada, L, no modo de transferência em rajadas. O índice de rajada é 3, o número de fontes é 20, a taxa binária de pico é 15 Mbps, a vazão é 150 Mbps e o tamanho do *buffer* é 500.

Nela, pode se observar que, para os mesmos valores de taxa de pico e taxa média das fontes, a taxa de perda de células (CLR) possui uma grande variação em função do comprimento médio da rajada. Quanto mais distribuído estiver o tráfego no tempo (menor tamanho de rajada), menor será a CLR e, conseqüentemente, maior será o ganho de multiplexação estatística. Portanto, o tamanho médio é um importante fator na análise do ganho de multiplexação estatística.

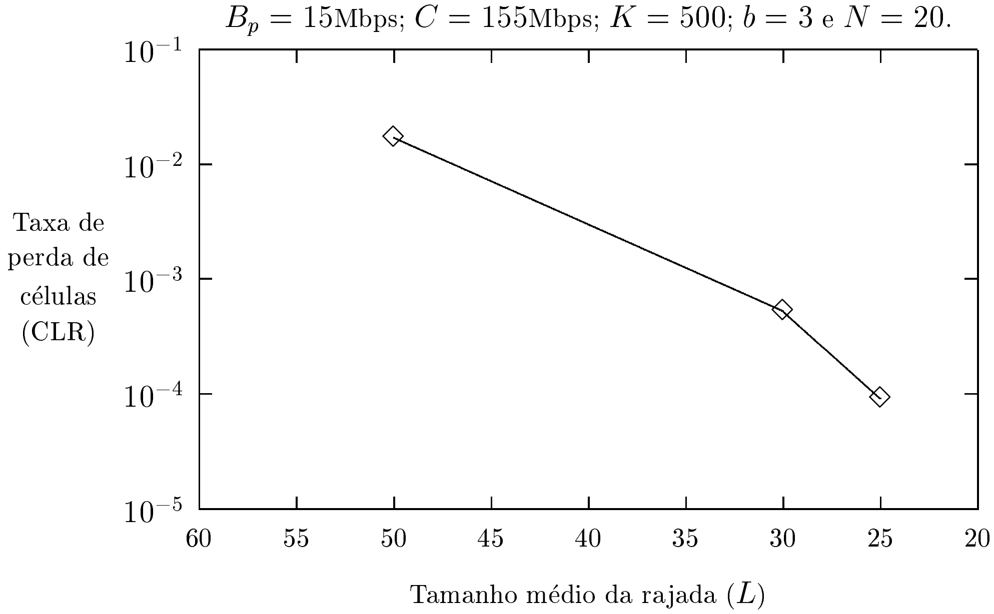

Figura 3.4: Variação da taxa de perda de células com o tamanho médio da rajada.

Outro importante fator para a análise do ganho da multiplexação estatística é o índice de rajada, b (B_p/B_m). A figura 3.5 compara a variação do índice de expansão, R, com a variação do número de fontes para dois diferentes índices de rajada. A taxa de perda de células desejada é 10^{-4}. O comprimento médio da rajada é 100 e o do *buffer* é 50. A taxa de pico (B_p) é 10 Mbps. O modo de transferência usado na simulação é o uniforme.

Na figura 3.5, pode se observar que a taxa de decaimento do fator de expansão, R, é maior para valores de índice de rajada mais altos, mostrando que o efeito da multiplexação estatística é maior para tráfegos com maiores níveis de rajada. Isto fica mais claro quando se observa a figura 3.6, onde é plotado o fator de expansão normalizado, $R_n = R/b$ [26], de modo que todas as curvas começem de um mesmo valor para $N = 1$. Portanto, o efeito da multiplexação estatística será tão maior quanto mais alto for o valor do índice de rajada. Este efeito pode ser observado através da economia de banda passante do canal conseguida em relação ao caso de não haver multiplexação estatística. Porém, é importante ressaltar que isto não significa dizer que o nível de utilização será maior para tráfegos com índices de rajada maiores.

A figura 3.7 analisa a conformidade dos resultados obtidos na simulação com aqueles obtidos utilizando o modelo teórico UAS (seção 2.3.1) para uma taxa de perda de células desejada de 10^{-4} e para dois diferentes níveis de rajada. Como pode se observar, os valores simulados e analíticos apresentam uma combinação quase perfeita, validando assim o modelo teórico utilizado. Com isso, o modelo teórico pode ser utilizado para obtenção

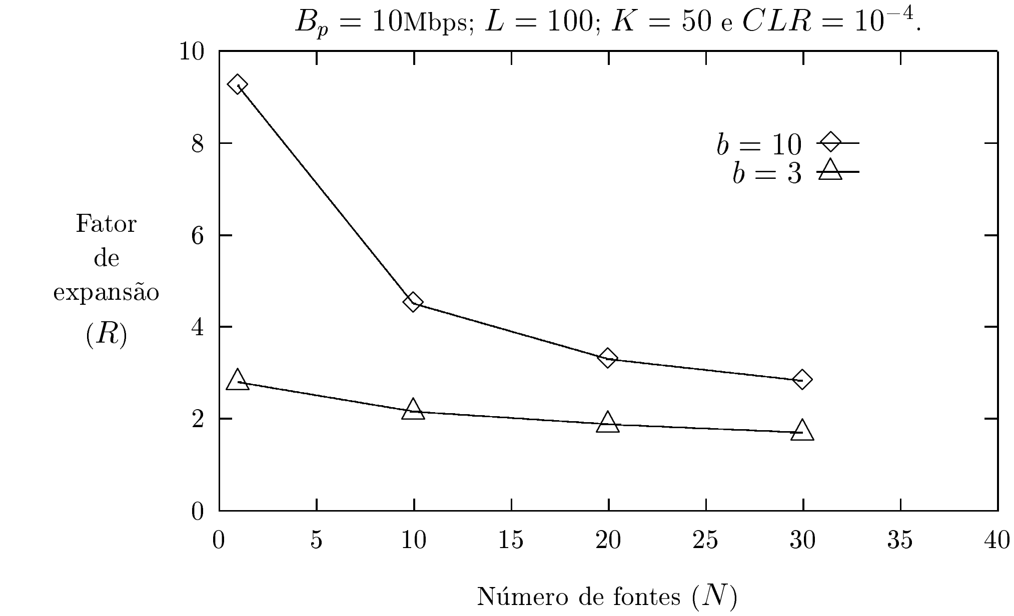

Figura 3.5: Variação do fator de expansão com o número de fontes para índices de rajada iguais a 3 e 10.

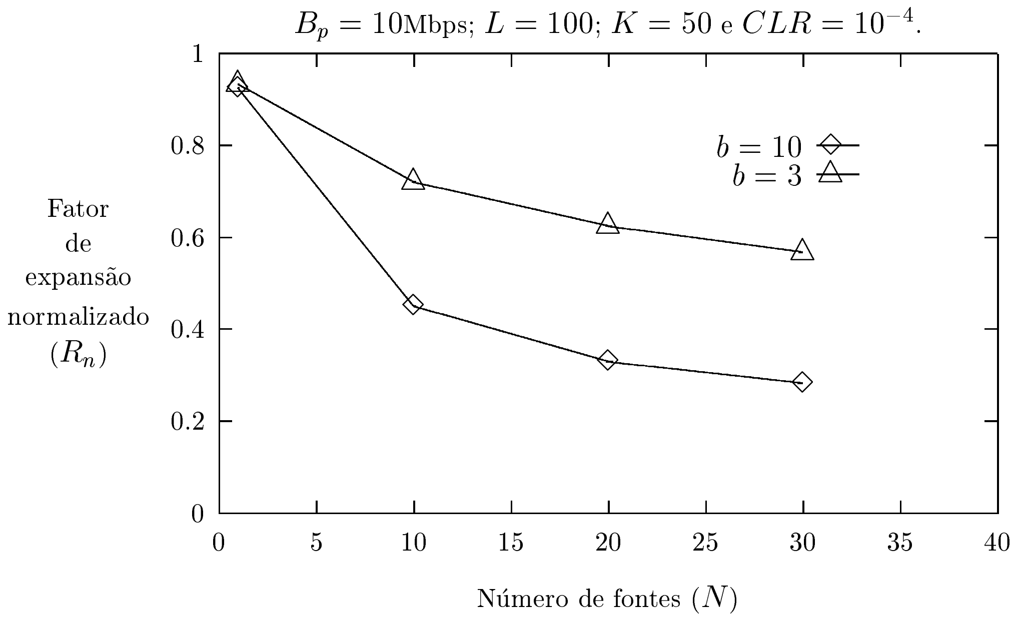

Figura 3.6: Variação do fator de expansão normalizado com o número de fontes para índices de rajada iguais a 3 e 10.

dos valores do índice de expansão R para taxas de perda de células da ordem de 10^{-9}, já que as condições assumidas pelo modelo teórico não mudam com a diminuição da taxa de perda de célula. Assim, o uso da simulação, que para tais valores de taxa de perda de células consomem um tempo de execução impraticável, pode ser evitado.

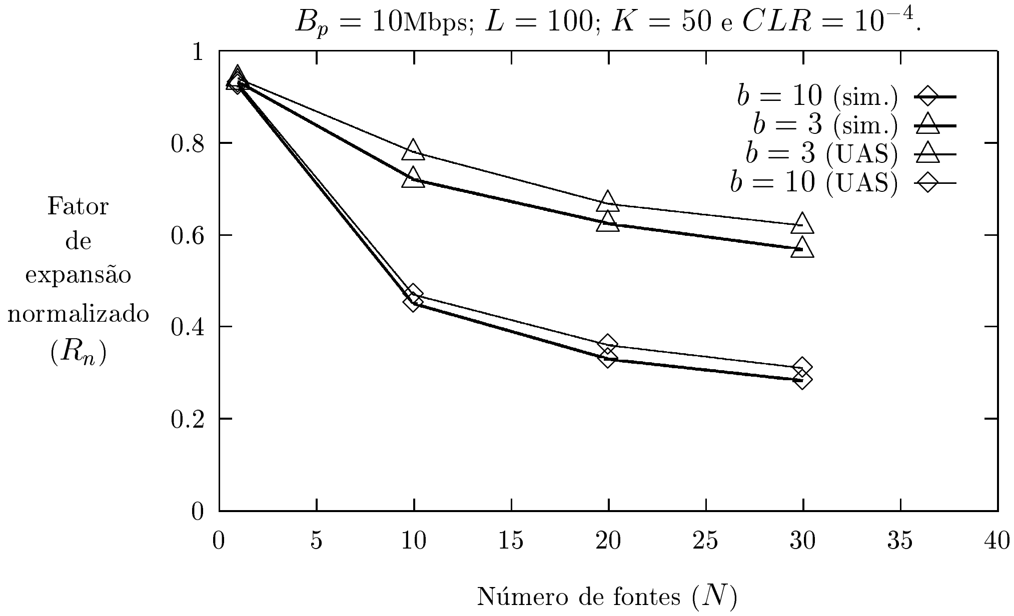

Figura 3.7: Comparação entre valores simulados e teóricos.

A figura 3.8 analisa a variação da taxa de perda de células (CLR) em função da capacidade do canal para vários número de fontes multiplexadas. O índice de rajada é 10, a taxa média é 1 Mbps, o tamanho médio da rajada é 100 e o tamanho do *buffer* é 50. O ganho de multiplexação estatística pode ser observado nesta figura através das distâncias entre as curvas, pois a medida que o número de fontes aumenta, o incremento necessário de capacidade para a aceitação de uma nova conexão diminui, para um mesmo nível de CLR. A figura 3.9 faz uma análise semelhante para um índice de rajada igual a 3.

Comparando estas figuras, duas importantes conclusões podem ser tiradas. A primeira é que, para taxas de perda de células (CLR) mais baixas, o ganho de multiplexação estatística é menor. No caso limite, que equivale a não haver nenhuma perda, este ganho seria nulo e a alocação feita pelo pico, independentemente do índice de rajada. A segunda conclusão é que o impacto da taxa de perda de células sobre o ganho de multiplexação estatística é maior para tráfegos com maiores índices de rajada. Por exemplo, para um índice de rajada igual a 10, a capacidade necessária para a multiplexação de 10 fontes com um objetivo de CLR de 10^{-9} é quase três vezes maior que aquela necessária para um objetivo de CLR de 10^{-2}. Já para um índice de rajada igual a 3, o aumento da capacidade é de aproximadamente 1.5. Isto também pode ser observado através da inclinação das

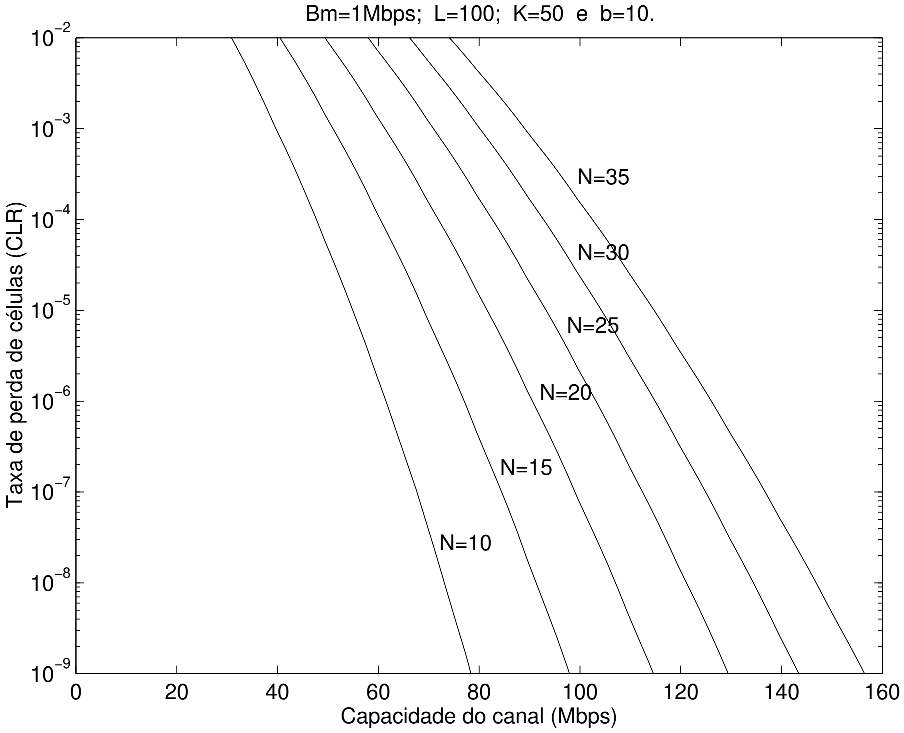

Figura 3.8: Variação da taxa de perda de células com a capacidade do canal.

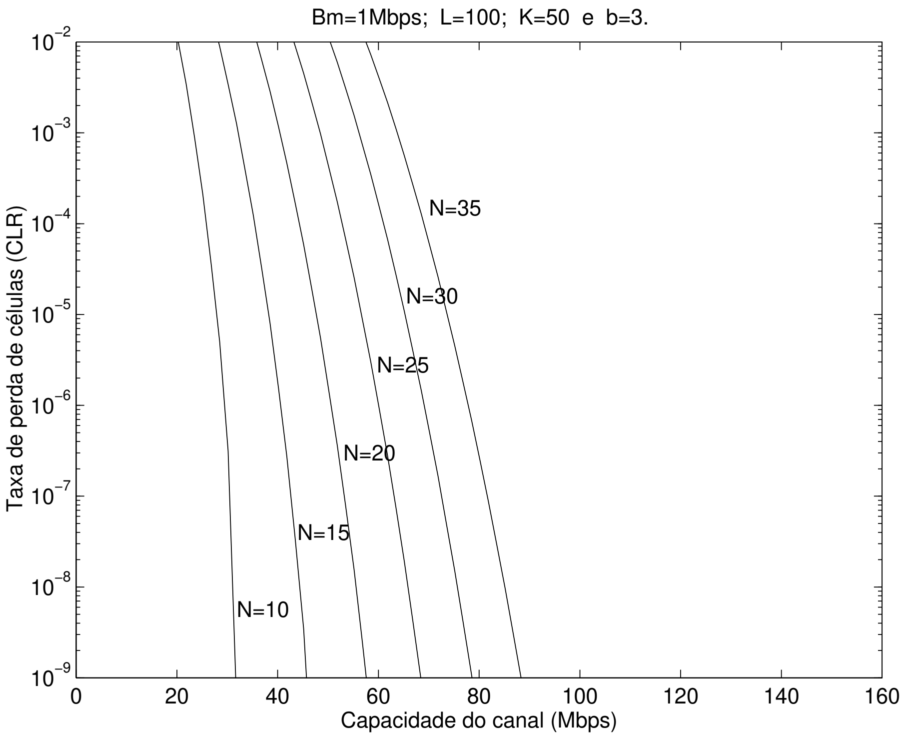

Figura 3.9: Variação da taxa de perda de células com a capacidade do canal.

curvas, que é bem maior para índices de rajada mais altos.

Uma outra forma de verificar o impacto da CLR sobre o tráfego é através da análise da variação do fator de expansão normalizado. As figuras 3.10 e 3.11 mostram esta variação em função do número de fontes e da taxa de perda de células (CLR), para índices de rajada iguais a 3 e 10, respectivamente. Em ambas as figuras, foram utilizadas fontes com taxa binária de pico de 10 Mbps, comprimento médio de rajada de 100 células e tamanho de *buffer* de 50 células. Como pode se observar, o fator de expansão normalizado aumenta para valores de CLR mais baixos e impacto desta variação de CLR é maior para tráfegos com índices de rajada mais elevados.

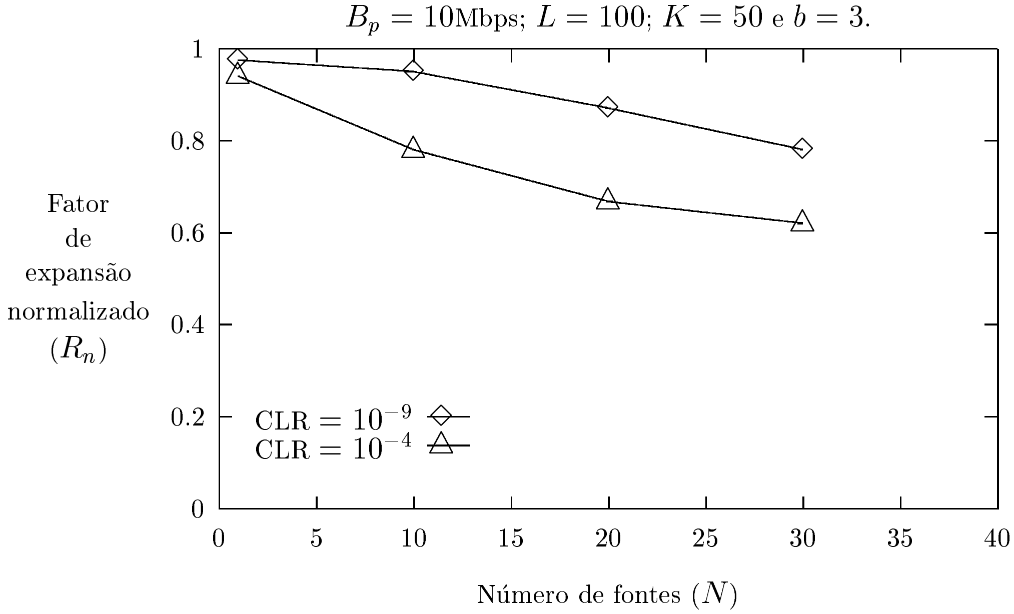

Figura 3.10: Variação do fator de expansão com o número de fontes para taxas de perda de células iguais a 10^{-9} e 10^{-4}.

A figura 3.12 mostra o impacto do comprimento de rajada L no fator de expansão R, para diversos número de fontes. O índice de rajada é 3, a taxa de pico é 10 Mbps, a taxa de perda de células desejada é 10^{-9} e o tamanho do *buffer* é 50. Pode-se observar que, como já era esperado, o fator de expansão diminui para comprimentos de rajada menores. Isto é explicado pelo fato que, para comprimentos de rajada menores, as rajadas passam a ser mais freqüentes e de menor duração, estando mais distribuídas no tempo e exigindo uma capacidade menor do canal. Uma conseqüência deste fato é que, para uma capacidade do canal fixa e um mesmo objetivo de taxa de perda de células, o número de fontes que podem ser multiplexadas neste canal é maior para comprimentos de rajadas menores. É importante também observar nesta figura que o decaimento do fator de expansão é mais notório para valores de L menores que o comprimento do *buffer*. Isto se deve ao fato

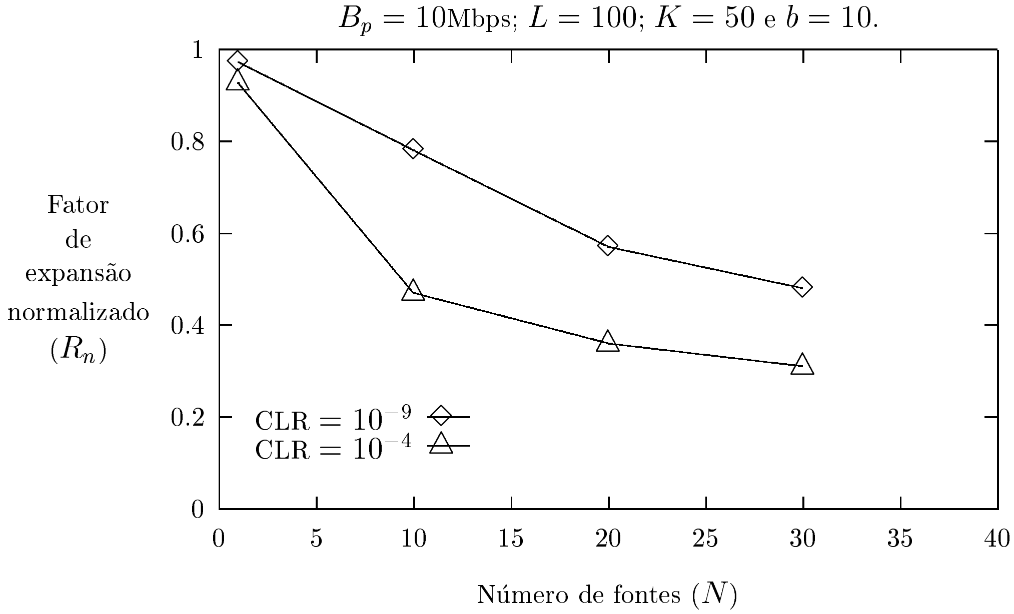

Figura 3.11: Variação do fator de expansão com o número de fontes para taxas de perda de células iguais a 10^{-9} e 10^{-4}.

de que quanto menor for o tamanho de uma rajada de uma fonte, menor será a taxa de perda de células e maior será a probabilidade da rajada caber inteiramente dentro do *buffer*. Para comprimentos de rajada maiores que o tamanho do *buffer*, a capacidade a ser alocada deve ser suficiente para que as células sejam servidas na mesma taxa em que estão chegando de modo a manter a taxa de perda de células no nível desejado. Assim, o comprimento médio da rajada deixa de ser um parâmetro crítico.

3.4.2 Fontes VBR

As fontes VBR, conforme visto na seção 2.3.2, são um caso mais geral das fontes de vídeo. Como estas, as fontes VBR também possuem uma variação contínua de taxa de transmissão, não sendo estritamente nem uma fonte de tráfego constante (fontes CBR) e nem uma fonte em rajadas do tipo silêncio/atividade, que somente alterna entre a taxa de pico e a nula. Entretanto, para que os modelos estudados para fontes de vídeo possam ser aqui aplicados, somente estas fontes são consideradas.

Como foi visto no capítulo 2, a parametrização de uma fonte VBR varia conforme o modelo de tráfego utilizado. Alguns destes modelos são relativamente simples, não abrangendo algumas características como, por exemplo, uma mudança de cena de vídeo, enquanto que outros, mais complexos, exigem um grande esforço computacional e são

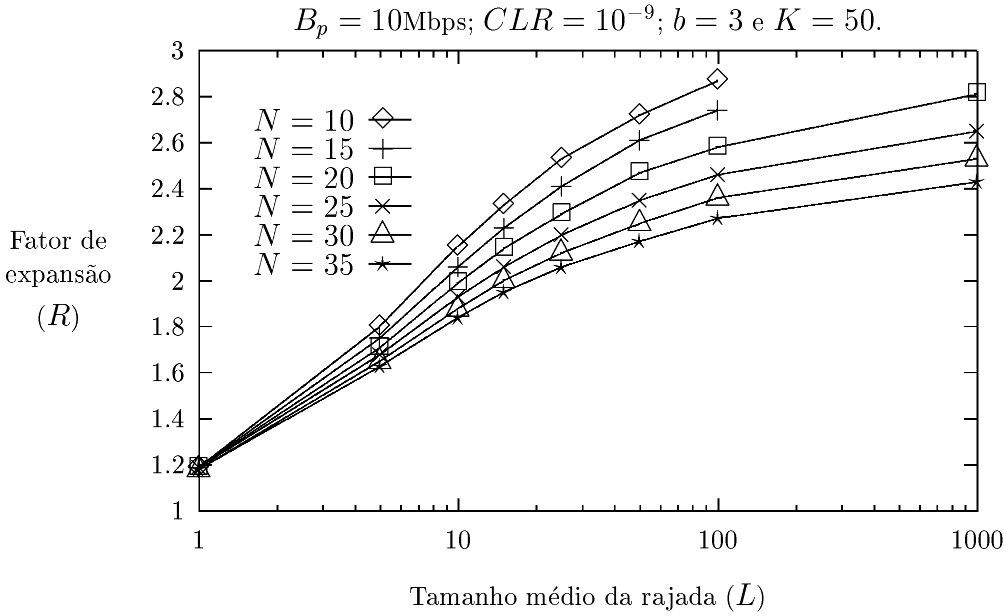

Figura 3.12: Variação do fator de expansão com o comprimento médio da rajada.

pouco viáveis para o uso prático. Visando a análise do ganho de multiplexação estatística, dois modelos são aqui utilizados: o modelo auto-regressivo de 1^a ordem (seção 2.3.2) e o modelo de cadeia de Markov de tempo contínuo (seção 2.3.2).

O modelo auto-regressivo de 1^a ordem é utilizado somente para fins de simulação. Os parâmetros usados foram obtidos em [19] de modo a combinar com as características da seqüência de vídeo utilizada como referência. São eles:

$$a_1 = 0.8781; \qquad b = 0.1108; \quad \text{e} \qquad \eta = 0.572\ . \tag{3.2}$$

Este modelo assume que os dados gerados pela fonte de vídeo são armazenados inicialmente num *pré-buffer* e somente entregues à fila no final da chegada do quadro.

Como na seção precedente, dois métodos foram utilizados na simulação: o método em rajadas e o uniforme. Eles também se diferenciam apenas no modo como a transferência de células é feita, dada a chegada de um novo quadro. No modo de transferência em rajadas, todo o conteúdo do *pré-buffer* é colocado simultaneamente no *buffer* do multiplexador, enquanto que no modo de transferência uniforme, ela é feita distribuindo-se uniformemente as chegadas de células por todo o período de um quadro. O primeiro modo pode ser considerado como limite superior da taxa de perda de células, enquanto que o segundo seria o limite inferior.

A figura 3.13 plota os valores da taxa de perda de células para os dois modos de transferência. O número de fontes é 5. O tamanho do *buffer* é de 10.613 células, o que corresponde a 30 ms de transmissão a uma taxa de 150 Mbps. Pode-se observar que o erro introduzido no modo de transferência em rajadas não é tão grande neste caso devido ao tamanho do *buffer*. Mesmo assim, o seu valor é aproximadamente o dobro.

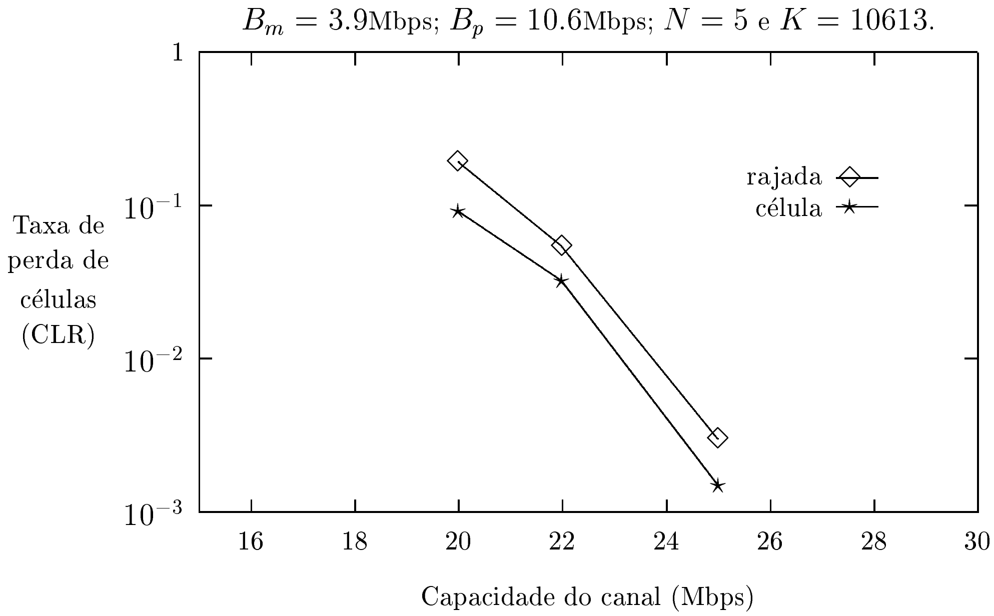

Figura 3.13: Transferência em rajadas e uniforme.

A figura 3.14 compara os resultados da simulação com aqueles obtidos analiticamente usando o modelo de cadeias de Markov de tempo contínuo, apresentado na seção 2.3.2 para um tamanho de *buffer* igual a 35 células, o que corresponde a 10 μs de transmissão a uma taxa de 150 Mbps. A taxa de perda de células desejada é 10^{-3}. Como pode se observar, o modelo analítico apresenta uma combinação quase perfeita com a simulação. Em [26] é mostrado que, quando o tamanho do *buffer* é de 10613 células, este modelo tende a subestimar a taxa de perda de células quando há um grande número de fontes.

A figura 3.15 mostra a variação do fator de expansão em função do número de fontes para diferentes taxas de perda de células (CLR). O tamanho de *buffer* é 35 e a taxa binária média é 3.9 Mbps. Como esperado, quanto menor for a taxa de perda de células desejada, maior será a capacidade de canal necessária e, portanto, maior será o fator de expansão. Pode-se ainda observar nesta figura que os resultados deste modelo, para valores de CLR muito baixos e um número pequeno de fontes, são bastante superestimados e alcançam, por vezes, valores muito superiores àqueles obtidos pela alocação pelo pico. Através da análise de resultados relatados por Monteiro et al. [26], observou-se que esta superestimação é menor para tamanhos de *buffer* maiores. Contudo, como já mencionado, este método tende a subestimar nestes casos os valores das capacidades necessárias para um número maior de fontes. Em vista disto, a utilização deste modelo é mais recomendada

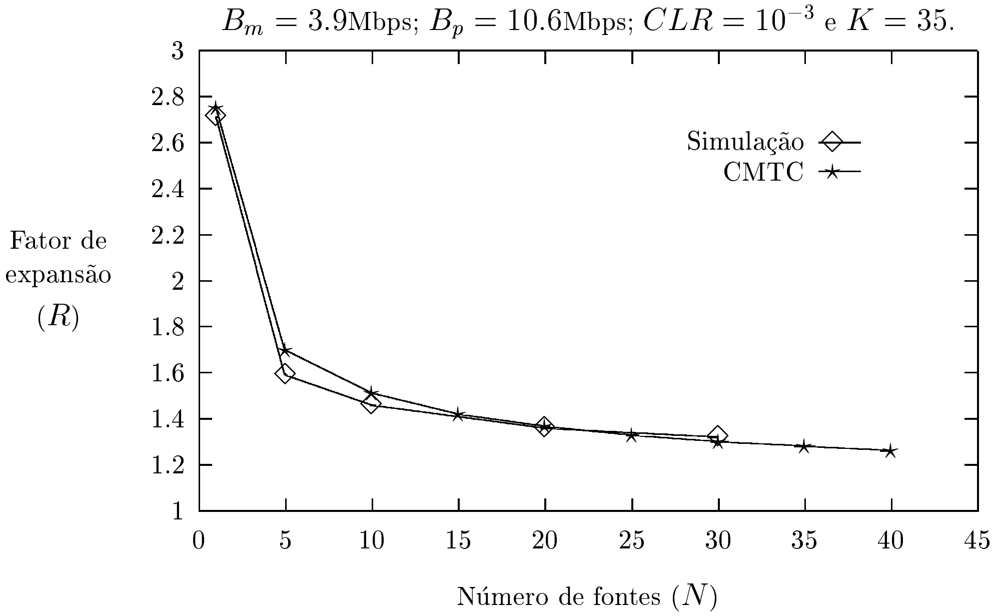

Figura 3.14: Comparação entre os resultados teóricos e simulados.

para tamanhos de *buffer* pequenos e um número maior de fontes multiplexadas.

Por vezes, em muitas análises apresentadas na literatura, uma fonte VBR é aproximada por uma fonte em rajadas do tipo silêncio/atividade. Por esta razão, a figura 3.16 faz uma comparação entre uma fonte VBR e uma fonte em rajadas do tipo silêncio/atividade com índice de rajada igual a 3, visto que este é aproximadamente o valor da razão entre a taxa máxima (10.6 Mbps) e a taxa média da fonte VBR. Nela, pode-se notar que, para os diversos valores de comprimento de rajada, a aproximação de uma fonte VBR por uma fonte em rajadas do tipo silêncio/atividade tende a superestimar a capacidade de canal necessária. Portanto, como já observado por Monteiro et al. [26] para outros valores de tamanho de *buffer* e objetivos de CLR, esta aproximação pode reduzir significativamente o ganho de multiplexação estatística.

3.5 Principais Conclusões

Umas das principais vantagens na utilização das redes ATM está no ganho que pode ser obtido através da multiplexação estatística de suas conexões. Portanto, a avaliação deste ganho e dos fatores que mais o influenciam é extremamente importante para o gerenciamento eficaz destas redes.

Neste capítulo, foi feita uma análise do impacto de diversos parâmetros de tráfego e

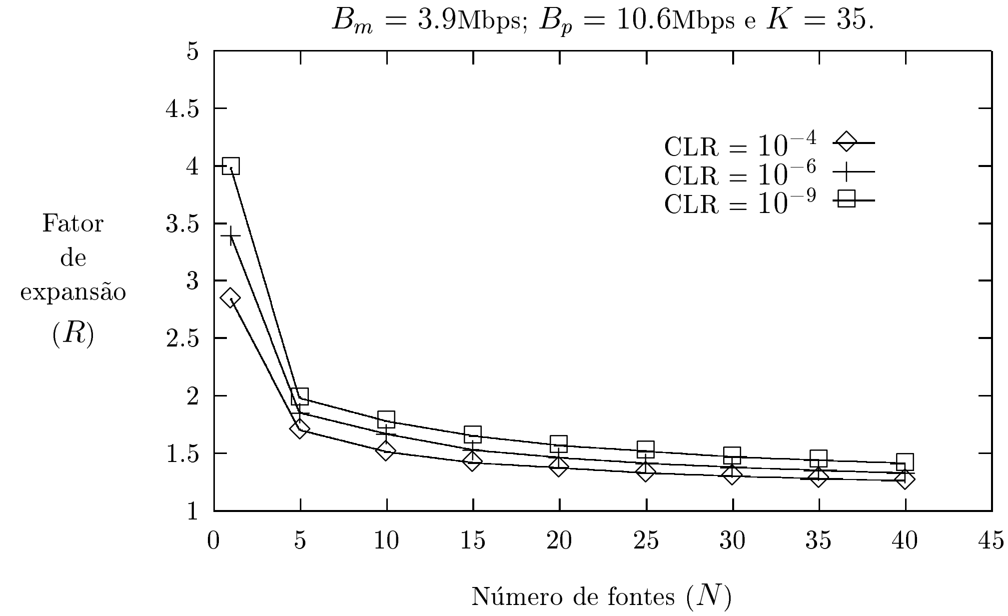

Figura 3.15: Variação do fator de expansão com o número de fontes.

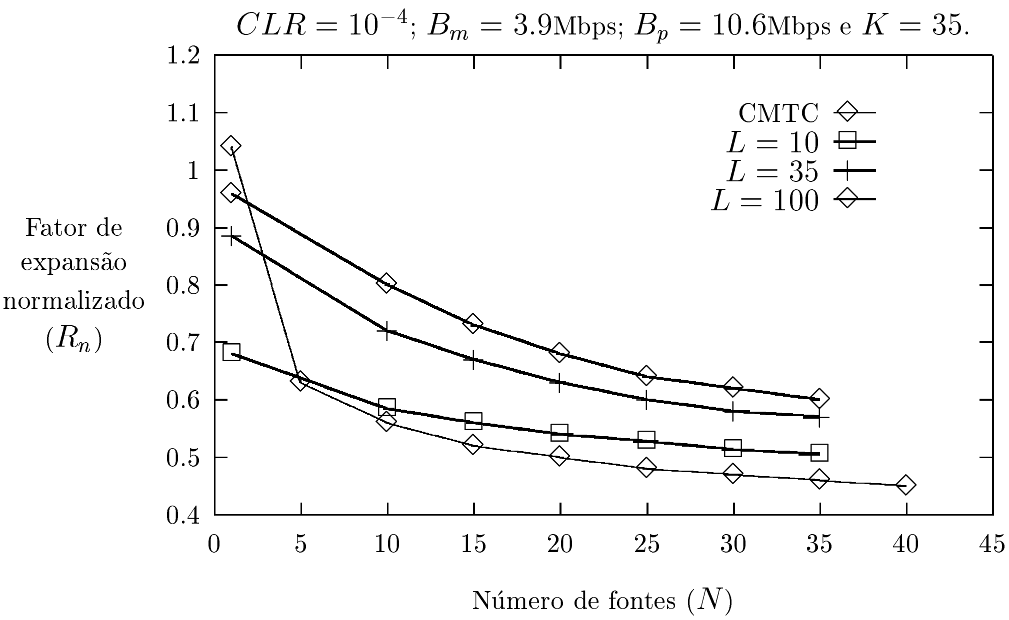

Figura 3.16: Comparação entre fontes VBR e em rajadas do tipo silêncio/atividade.

de qualidade de serviço sobre o ganho de multiplexação estatística para fontes de tráfego em rajadas do tipo silêncio/atividade e VBR. Desta análise, as seguintes conclusões foram tiradas:

- o impacto do comprimento médio de rajada sobre o ganho de multiplexação estatística é mais significativo para valores menores do que o tamanho do *buffer*. Para valores maiores do que o tamanho do *buffer*, o comprimento médio da rajada deixa de ser crítico;
- o efeito de multiplexação estatística será maior para as fontes com maiores índices de rajada;
- quanto maior for o número de fontes multiplexadas, maior será o ganho de multiplexação estatística e menor será o valor de capacidade adicional necessária ao canal para a aceitação de uma nova conexão;
- para uma capacidade total do canal fixa, o ganho de multiplexação estatística será maior quanto menor for o valor da taxa de pico de cada fonte; Segundo Hong et al. [4], a capacidade do canal deve ser pelos menos dez vezes maior que a taxa de pico de cada fonte para que haja ganho de multiplexação estatística;
- o ganho de multiplexação estatística é maior para objetivos de taxa de perda de células (CLR) maiores. Além disto, o impacto da CLR sobre este ganho será maior quanto maior for o índice de rajada das fontes;
- a aproximação de uma fonte de tráfego VBR por uma fonte em rajadas pode reduzir significativamente o ganho de multiplexação estatística;

Todos estes resultados foram obtidos em um ambiente homogêneo, onde apenas fontes independentes e identicamente distribuídas e com os mesmos objetivos de qualidade de serviço são multiplexadas. Análises em um ambiente heterogêneo, onde fontes com diferentes características e/ou diferentes objetivos de qualidade de serviços são multiplexadas, são apresentadas no capítulo 4.