

# UM ESTUDO DE DESEMPENHO DE APLICAÇÕES TCP/IP SOBRE UMA REDE DE ACESSO BASEADA EM ATM SOBRE ADSL

Clidenor F. Araújo Filho e Paulo R. Guardieiro

Faculdade de Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Uberlândia  
38.400-902 Uberlândia - MG

## RESUMO

Este artigo apresenta um estudo de desempenho de aplicações TCP/IP sobre uma rede de acesso baseada em ATM sobre ADSL, o qual foi realizado por meio de modelagem e simulação. Neste processo considerou-se o problema da variação de banda passante no enlace ADSL provocada por alterações das condições operacionais e propriedades físicas do mesmo. Visando a solução deste problema, optou-se pelo emprego do controle de tráfego ATM realizado pelas categorias ABR e GFR. Além disso, neste trabalho propõe-se a implementação da categoria GFR utilizando-se um mecanismo de controle ABR. O estudo de desempenho realizado demonstrou a eficiência desta proposta em comparação com outras implementações.

## 1. INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da demanda por novos serviços de telecomunicações, tais como o acesso em banda larga, gerou a necessidade de capacitar as atuais linhas telefônicas a este tipo de acesso. Neste contexto, a tecnologia ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) foi desenvolvida visando a conversão da existente e bem distribuída malha telefônica em linhas dotadas da capacidade de transporte em banda larga. As linhas de acesso que contam com tal tecnologia são capazes de transmitir a taxas que variam entre 640 kbps e 8 Mbps para o fluxo *downstream*, e entre 128 kbps e 1,5 Mbps para o fluxo *upstream*.

Um problema observado na utilização da tecnologia ADSL é a variação de banda passante disponível no enlace. Estas variações são ocasionadas sobretudo pelas alterações das condições operacionais e propriedades físicas do enlace, tais como, variações de temperatura, interferências eletromagnéticas, etc.

A associação entre as tecnologias ATM e ADSL alia a flexibilidade na alocação de banda passante típica do ATM ao serviço de acesso em banda larga. Isto propicia uma nova plataforma de entrega de serviços de banda larga aos usuários de pequeno e médio porte, sem apresentar os excessivos custos inerentes à adoção de novas tecnologias.

Neste artigo, realiza-se um estudo de desempenho de aplicações TCP/IP sobre uma rede de acesso baseada em ATM sobre ADSL, o qual foi realizado por meio de modelagem e simulação. Considerando-se o problema da variação de banda passante no enlace ADSL, optou-se pelo emprego do controle de tráfego ATM, realizado pelas categorias de serviço ABR (*Available Bit*

*Rate*) e GFR (*Guaranteed Frame Rate*) nos fluxos *upstream* e *downstream*. Além disso, neste trabalho propõe-se a implementação da categoria GFR utilizando-se um mecanismo de controle ABR.

O restante deste artigo foi organizado da seguinte forma: na Seção II será apresentado o cenário de rede utilizado para o desenvolvimento do estudo de desempenho. Apresentado tal cenário, na Seção III serão apresentadas as técnicas de controle empregadas pelas categorias ABR e GFR, bem como uma breve descrição destas técnicas. Em seguida, na Seção IV serão apresentadas as principais características do modelo de simulação. Por fim, na Seção V serão apresentados e analisados, os resultados obtidos, e na Seção VI serão apresentadas as considerações finais a respeito do estudo de desempenho realizado.

## 2. CENÁRIO DE REDE

O cenário de rede utilizado para o desenvolvimento do estudo proposto está apresentado na Fig. 1. Neste modelo estão representados os equipamentos terminais (TE - *Terminal Equipment*), e as unidades de transmissão ADSL do lado da rede (ATU-C) e do lado das instalações do usuário (ATU-R), as quais são responsáveis pela moldagem e envio do tráfego ADSL.

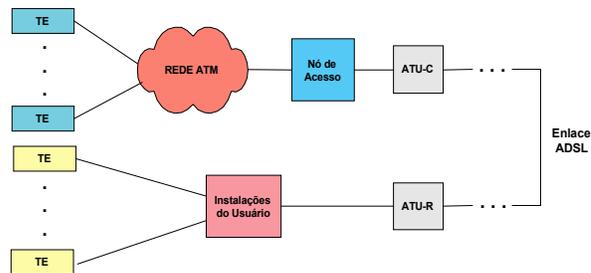


Figura 1. Cenário de Rede.

Em função da variação de banda passante no enlace ADSL, os ATUs, através da medida da relação sinal/ruído de cada portadora a ser transportada pelo enlace, determinam e eventualmente alteram o número de bits atribuído a cada

portadora, notificando um ao outro esta alteração. Como resultado desta alteração na alocação dos bits nas portadoras, a banda passante pode variar a cada instante [1] [4].

### 3. TÉCNICAS DE CONTROLE DE TRÁFEGO ATM

#### 3.1 Controle ABR

ABR é uma categoria de serviço que controla a taxa de emissão de células de cada VC (*Virtual Channel*) com base em informações a respeito das condições da rede. Tais informações são transportadas através de células especiais denominadas células RM (*Resource Management*), as quais são intercaladas pelo TE fonte entre as células de dados. A taxa de transmissão permitida, ou ACR (*Allowed Cell Rate*), ao TE fonte é atualizada utilizando-se as informações contidas nas células RM. A Fig. 2 apresenta o controle ABR.

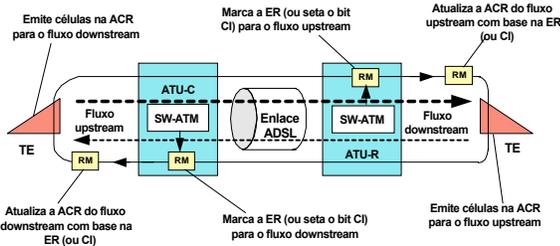


Figura 2. Controle ABR.

Especificamente, quando a banda passante no enlace ADSL sofre uma variação, por exemplo, no fluxo *upstream*, o *switch* ATM associado ao ATU-R marca no campo ER (*Explicit Rate*) das células RM, o valor da taxa correspondente a atual disponibilidade de banda passante no enlace. Alternativamente, esta marcação pode ser realizada através do bit CI das células RM, que passa a ter o seu valor igual a 1, caso o comprimento da fila de células no *buffer* do *switch* ATM exceda um limite pré determinado. Desta forma, é possível ajustar a ACR de cada TE fonte que esteja enviando dados, de acordo com as variações de banda passante do enlace ADSL. Vale ressaltar que para o estabelecimento deste controle, é necessário que os TEs associados à fonte e ao destino das informações, sejam capazes de cumprir com as exigências dos serviços ABR, como por exemplo, a transmissão de células RM e a atualização da ACR.

Para a implementação das ATUs podem ser utilizados dois tipos de *switches* ATM, o *binary-mode* e o *ER-mode*. A técnica de controle utilizada pelo *switch binary-mode* é denominada *ABR-Binary* e a técnica utilizada pelo *switch ER-mode* é denominada *ABR-ER*.

Na técnica *ABR-Binary*, durante o estabelecimento de uma conexão, as fontes ABR negociam diversos parâmetros de operação com a rede, entre os quais, os parâmetros PCR (*Peak Cell Rate*) e MCR (*Minimum Cell Rate*). O parâmetro PCR especifica a máxima taxa na qual as fontes podem transmitir em

cada VC, e o parâmetro MCR especifica a taxa mínima garantida. Durante o estágio de transmissão, a ACR é dinamicamente alterada entre a MCR e a PCR. São também especificados durante a fase de estabelecimento da conexão, os parâmetros RIF (*Rate Increase Factor*) e RDF (*Rate Decrease Factor*), os quais controlam respectivamente o acréscimo e o decréscimo na taxa de transmissão de células. As equações a seguir ilustram a atualização da ACR.

$$\text{Se } CI = 1, ACR := ACR - ACR * RDF$$

$$\text{Se } CI = 0, ACR := ACR + PCR * RIF$$

$$ACR := \min[\min(ACR, PCR), ER]$$

$$ACR := \max(ACR, MCR)$$

A técnica ABR-ER utiliza diversos tipos de algoritmos de controle da ER, como o ERICA+ (*Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance*) e o EPRCA (*Enhanced Proportional Rate Control Algorithm*).

O algoritmo ERICA+ foi criado com a preocupação de garantir uma justa e eficiente alocação da banda passante disponível entre as diversas fontes de uma conexão ABR. Este algoritmo utiliza o comprimento da fila de células nos *buffers* e a taxa de transmissão medida, para a determinação da ER, de forma que o atraso experimentado pelas células durante o período de permanência nos *buffers* (*Queuing Delay*) esteja próximo do seu valor ideal ( $T_0$  - *Target Queuing Delay*). Para cada medida da taxa na qual as células são enviadas ao enlace (*Rate*), a ER é calculada de acordo com as equações a seguir.

$$Q_0 = \text{Capacidade\_ABR} * T_0$$

$$R_0 = f(Tq) * \text{Capacidade\_ABR}$$

$$f(Tq) = \max(QDLF, \frac{a * Q_0}{(a - 1) * q + Q_0}) \text{ for } q > Q_0$$

$$f(Tq) = \frac{b * Q_0}{(b - 1) * q + Q_0} \text{ for } 0 \leq q \leq Q_0$$

$$ER = \max[R_0/m, R_0/(Rate * ACR)],$$

onde  $Q_0$  representa o comprimento ideal para a fila de células,  $R_0$  representa a taxa de transmissão ideal,  $q$  é o valor atual do comprimento da fila de células,  $f(Tq)$  é a função de controle das filas e  $m$  é o número de VCs ativos.

#### 3.2 Controle GFR

GFR é uma categoria de serviço que propicia uma taxa mínima de transmissão de células (MCR - *Minimum Cell Rate*), bem como a utilização da disponibilidade excedente de banda passante, a qual é entregue de acordo com as condições da rede. Vale ressaltar, que este excedente de banda passante será igualmente distribuído entre os VCs.

Logo, a utilização dos serviços da categoria GFR permite a um usuário esperar por uma taxa mínima de transmissão, quando a banda passante do enlace for reduzida, e por uma alta taxa de transmissão quando houver maior disponibilidade de banda [2].

Alguns mecanismos podem ser utilizados pela rede para a garantia da MCR nas conexões GFR. Entre eles merecem destaque os mecanismos de gerenciamento de *buffers* e de escalonamento (*scheduling*) [2].

A implementação da categoria GFR através da técnica Per-VC-WRR (*Weighted Round Robin*) é uma combinação do mecanismo de gerenciamento de *buffers* FBA (*Fair Buffer Allocation*), e do mecanismo de escalonamento WRR. Nesta técnica, estabelecida uma fila para cada VC, o mecanismo WRR as escalona em função do nível de ocupação dos *buffers* dos *switches* ATM, cabendo ao mecanismo FBA reduzir tal nível sempre que o comprimento da fila de células de um determinado VC ultrapasse o limite para o descarte de células [5] [6] [7].

#### 4. MODELO DE SIMULAÇÃO

O modelo de simulação foi implementado utilizando-se o simulador NIST ATM [8], considerando-se o cenário de rede apresentado na Fig. 1, para a realização do estudo de desempenho.

De acordo com a estratégia de execução adotada para a solução do modelo, inicialmente foram simuladas as variações de banda passante no enlace ADSL, a cada intervalo de tempo de *Tupstream* e *Tdownstream* segundos. A fim de simular variações a curto e longo prazo, os referidos intervalos de tempo variaram de 0,01 a 10 segundos. Para o fluxo de dados *upstream* a taxa de transmissão foi uniformemente variada entre 128 kbps e 1,1 Mbps, e para o fluxo de dados *downstream* entre 1,5 Mbps e 8 Mbps [1].

Visando avaliar o desempenho sobre várias condições de tráfego, foram implementados os seguintes cenários de simulação:

- Cenário 1 (Fluxo *Downstream*): as conexões TCP estabelecidas enviam dados apenas na direção *downstream*.
- Cenário 2 (Fluxo *Upstream*): as conexões TCP estabelecidas enviam dados apenas na direção *upstream*.

Deste modo, foi analisado como a variação de banda passante no enlace ADSL afeta a vazão alcançada pelo TCP e se o controle de tráfego ATM, realizado pelas categorias ABR e GFR, é capaz de reduzir esta degradação.

#### 5. ANÁLISE DE DESEMPENHO

Nesta seção serão apresentados e avaliados os resultados obtidos. Tal avaliação será realizada em função de medidas de desempenho como a vazão do TCP, a ACR e a justiça na distribuição de recursos (banda passante disponível no enlace) entre os VCs (*fairness*).

Para a obtenção dos resultados foram executadas diversas simulações baseadas nos cenários de simulação apresentados na

seção 4, com a duração média de 40 segundos para cada simulação.

Vale ressaltar que, a vazão alcançada pelo TCP e o *fairness* foram calculados em função das seguintes equações:

$$\begin{aligned}
 \text{VazãoIdeal} &= \text{Banda\_passante\_média} (\text{banda passante medida durante os 40 s de simulação}) \\
 &* 48/53 (\text{Carga útil ATM}) \\
 &* 9.140 (\text{MSS})/20 + 20 + 8 + 28 (\text{cabeçalho\_TCP} + \text{cabeçalho\_IP} + \text{AAL5\_trailer} + \text{padding}) \\
 &* 31/32 (\text{overhead ABR})
 \end{aligned}$$

$$\text{Fairness} = (\sum xi)^2 / (n * \sum xi^2)$$

onde  $x_i$  corresponde a vazão de cada fonte TCP ativa e  $n$  corresponde ao número de fontes TCP ativas.

#### 5.1 Desempenho obtido para o fluxo *Downstream*

Para o fluxo de dados *downstream*, o controle ABR apresenta um melhor desempenho ao lidar com as variações de longo prazo (1, 3 e 10 s), como mostra a Fig. 3, que representa a vazão alcançada pelo TCP para o referido fluxo de dados. Este comportamento é devido a rápida resposta do controle de tráfego ABR às variações de banda passante, o que ocasiona em excessivas alterações no valor da ACR dos TEs fontes. A exceção ao bom desempenho apresentado para a vazão do TCP, empregando-se o controle ABR é a técnica ABR-*Binary*, que alcançou um desempenho inferior ao apresentado quando não se utiliza qualquer tipo de controle.

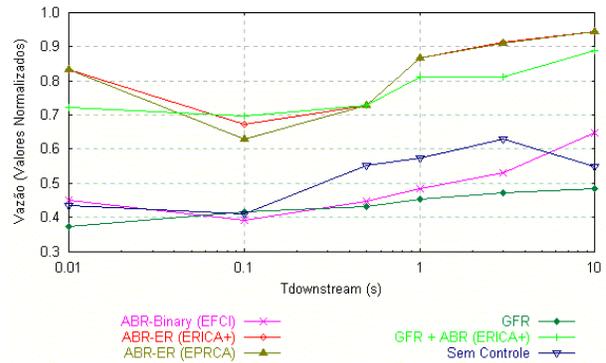
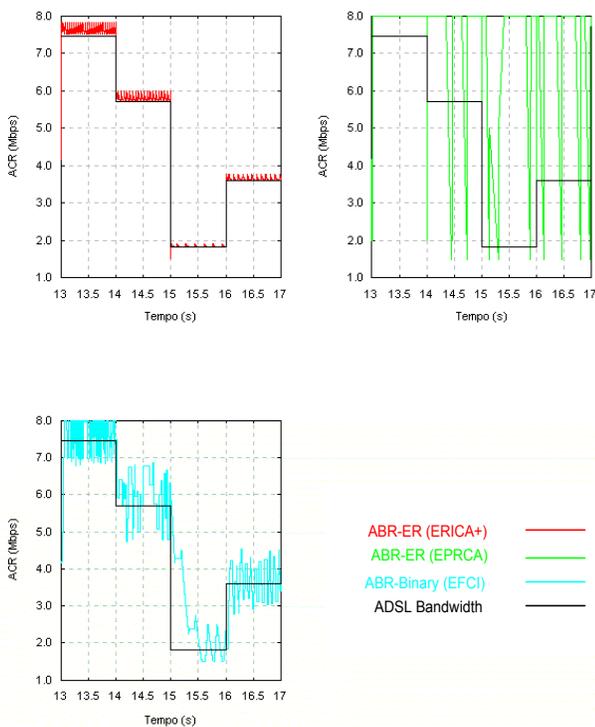


Figura 3. Vazão do TCP para o Fluxo *Downstream*.

Com relação à utilização dos serviços da categoria GFR, é possível observar através da Fig. 3, que foi obtido um melhor desempenho em termos da vazão alcançada pelo TCP, para as variações de longo prazo (1, 3 e 10 s), devido ao menor índice de descarte de células nos *buffers* para estas variações. Porém, tal desempenho foi inferior ao alcançado utilizando-se a categoria ABR, devido à taxa de emissão de células não acompanhar adequadamente as variações de banda passante no enlace ADSL.

Considerando-se que o controle realizado pela técnica Per-VC-WRR é baseado no nível de ocupação dos *buffers*, tem-se um aumento do atraso de enfileiramento e do nível de descarte de células realizado pelo mecanismo FBA, o que provocará o aumento do número de retransmissões de pacotes realizado pelo controle TCP, contribuindo decisivamente para o baixo desempenho apresentado em termos da vazão alcançada para o TCP.

A Fig. 4 ilustra a variação da ACR para as técnicas empregadas pelo controle ABR no intervalo de simulação de 13 a 17 s, com *Tdownstream* igual a 1 s. No que diz respeito ao controle ABR que emprega o algoritmo ERICA+, percebe-se que a ACR varia em torno da banda passante no enlace, como resultado da manutenção de um adequado nível de ocupação do *buffer* do switch ATM associado ao ATU-C. De forma mais específica, o comprimento das filas de células nestes *buffers* varia em função do atraso de enfileiramento ideal ( $T_0$ ).



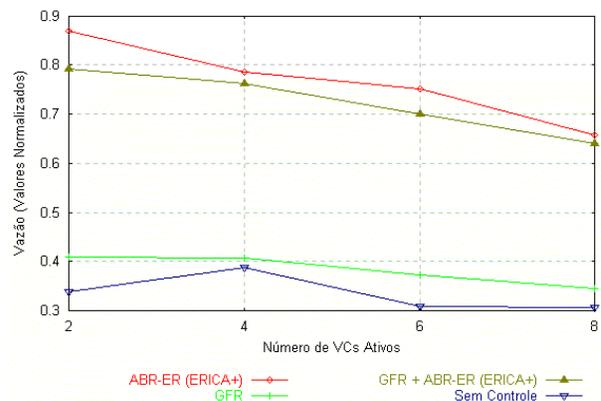
**Figura 4.** Variação da ACR para o fluxo *Downstream*.

Considerando-se o emprego do algoritmo EPRCA, percebeu-se que a ACR apresentou um comportamento independente das variações de banda passante do enlace ADSL, com amplitudes variando entre a MCR (1,5 Mbps) e a PCR (8 Mbps), devido ao uso da média ponderada MACR (*Mean Allowed Cell Rate*) no cálculo da atualização da ACR. Especificamente a MACR será rapidamente incrementada até que o valor limite para a detecção de estados de congestionamentos no enlace seja ultrapassado. Neste instante, a MACR será reduzida ocasionando a consequente redução da ACR até que seu valor se iguale a MCR. Reduzido o estado de congestionamento do enlace, a MACR

voltará a ser incrementada, desencadeando-se um incremento da ACR.

Já com o emprego da técnica *ABR-Binary*, a variação da ACR é resultado da alta sensibilidade desta técnica ao atraso no tempo de resposta do controle. Especificamente, mesmo após a fila de células ultrapassar o limite estabelecido para a detecção de congestionamentos, a ACR continua em seu comportamento atual por alguns instantes. Como consequência, a fila de células nos *buffers* também mantém o seu comportamento atual, aumentando o atraso de enfileiramento, o que ocasiona o descarte de células.

A Fig. 5 ilustra a vazão do TCP em função do número de VCs ativos, utilizando-se o controle realizado pelas categorias ABR e GFR, bem como a implementação dos serviços GFR associados ao mecanismo de controle ABR para o fluxo de dados *downstream*.



**Figura 5.** Vazão do TCP em função do número de VCs para  $T_{downstream} = 1$  s.

Através da Fig. 5, percebe-se que a categoria de serviço ABR apresentou o melhor desempenho em termos de vazão alcançada pelo TCP, enquanto que a utilização da categoria GFR associada ao mecanismo de controle ABR, apresentou um desempenho bem acima do observado para a categoria GFR, como analisado anteriormente.

Percebe-se ainda, que a vazão alcançada pelo TCP será reduzida à medida em que se aumenta o número de VCs ativos, em consequência da maior dificuldade de operação das técnicas de controle empregadas, uma vez que todas elas são baseadas no gerenciamento do nível de ocupação dos *buffers*.

O *fairness* obtido pelos VCs é mostrado na Fig. 6. Nota-se que ao contrário dos resultados obtidos para a vazão, neste caso, a categoria GFR apresenta o melhor desempenho, sendo acompanhada de perto pela implementação que utiliza a categoria ABR em associação com o mecanismo de controle ABR, devido à utilização, em ambas as implementações, da técnica Per-VC-WRR, a qual emprega o mecanismo FBA, que é responsável pela justa distribuição dos recursos entre os VCs. Com relação à categoria ABR, o desempenho em termos de *fairness* é também satisfatório, devido sobretudo ao eficiente controle da taxa de emissão de células realizado por esta categoria.

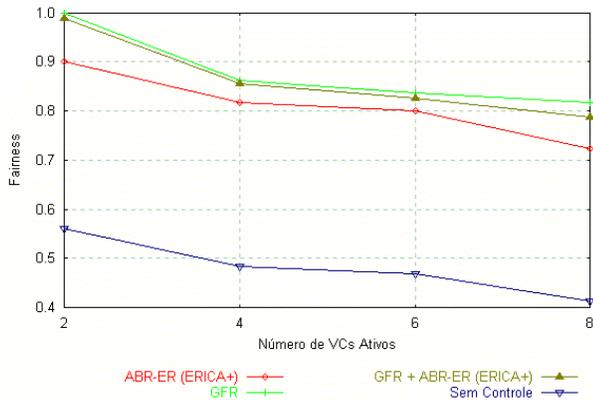


Figura 6. Fairness para  $T_{downstream} = 1$  s.

## 5.2 Desempenho obtido para o fluxo *Upstream*

Observando-se a Fig. 7, nota-se que a utilização do controle de tráfego ABR, através das técnicas ABR-ER (algoritmos ERICA+ e EPRCA) e ABR-Binary permitiu o alcance de um elevado desempenho em termos da vazão do TCP, se comparado ao desempenho obtido pela categoria GFR e sem a utilização de qualquer tipo de controle (sem controle).

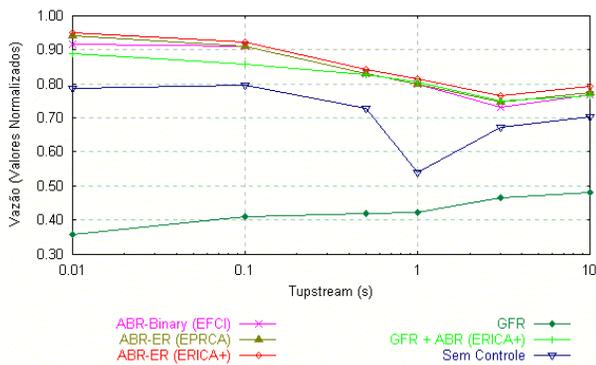


Figura 7. Vazão do TCP para o Fluxo *Upstream*.

Como no fluxo *downstream*, utilizando-se os serviços GFR, alcançou-se o melhor desempenho em termos da vazão do TCP para as variações de longo prazo, novamente como resultado do menor índice de descarte de células para estas variações. Contudo, seu desempenho ainda é relativamente baixo em função da ausência de um controle da taxa de emissão de células, problema que é resolvido pela associação desta categoria com o mecanismo de controle ABR.

Uma análise mais detalhada demonstra que independentemente do controle de tráfego ABR empregado, sua atuação foi mais efetiva com relação às variações de curto prazo (0,01 e 0,1 segundos) da banda passante. De modo geral, uma redução na banda passante do enlace corresponderá a uma redução no valor da ACR a ser utilizada pelos TEs fontes para estabelecerem suas taxas de emissão de células. Consequentemente, a frequência de transmissão das células RM também será reduzida. Neste caso,

quando ocorrer um aumento na banda passante disponível no enlace ADSL, o sistema não será capaz de responder imediatamente a este aumento, uma vez que, a atualização da ACR está associada ao recebimento das células RM. Para a técnica ABR-Binary, as variações na banda passante somente serão detectadas após o comprimento das filas de células nos buffers dos switches ATM excederem o limite preestabelecido para a detecção de congestionamentos, o que também ocorre com a técnica ABR-ER que utiliza o algoritmo EPRCA. Para estas técnicas o atraso na detecção das variações de curto prazo causará a redução da frequência de variações da ACR. No que diz respeito a técnica ABR-ER que utiliza o algoritmo ERICA+, embora o atraso na detecção das variações na banda passante do enlace ADSL seja menor, seu efeito é ainda relevante em termos das variações apresentadas pela ACR. A Fig. 8 apresenta as variações da ACR em função das variações de banda passante quando  $T_{upstream} = 0.1$  s.

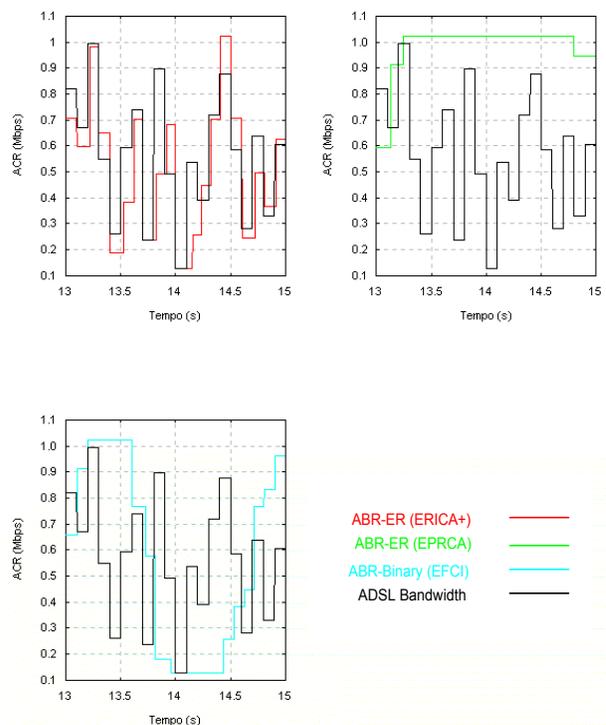


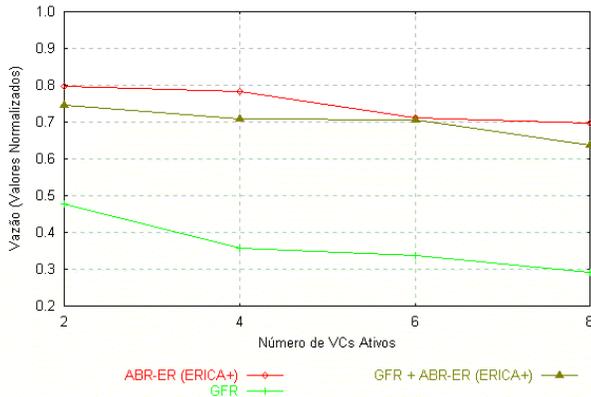
Figura 8. Variação da ACR para o fluxo *Upstream*.

Como mostram respectivamente as Figs. 9 e 10, a vazão alcançada pelo TCP e o *fairness*, para o fluxo de dados *upstream*, em função do número de VCs ativos, observou-se o mesmo nível de desempenho no que diz respeito às técnicas de controle empregadas para o fluxo *downstream*.

## 6. CONCLUSÕES

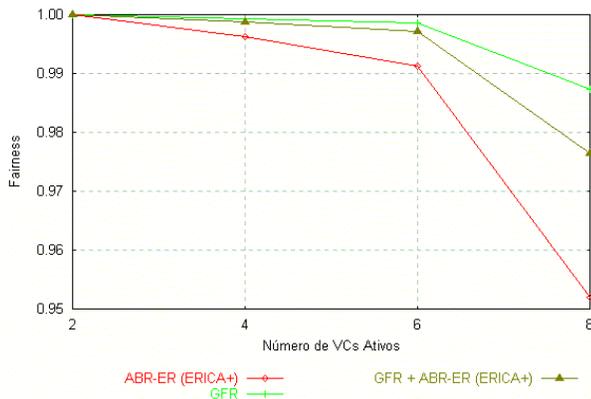
Neste trabalho avaliou-se o desempenho de aplicações TCP/IP sobre uma rede de acesso baseada em ATM sobre ADSL, utilizando-se o controle realizado pelas categorias ABR e GFR

na compensação dos efeitos das variações de banda passante disponível num enlace ADSL.



**Figura 9.** Vazão do TCP em função do número de VCs para  $Tupstream = 1$  s.

As análises realizadas mostraram que para o fluxo *upstream* as técnicas de controle ABR (ABR-ER e ABR-Binary) apresentaram um alto desempenho em termos da vazão alcançada pelo TCP. Isto se deve ao fato de que as variações de curto prazo não foram totalmente detectadas em decorrência do atraso de detecção das mesmas.



**Figura 10.** Fairness para  $Tupstream = 1$  s.

Com relação ao fluxo *downstream* o melhor desempenho em termos da vazão do TCP foi alcançado para as variações de longo prazo devido à rápida resposta do controle de tráfego ABR às variações de banda passante, o que ocasiona em excessivas alterações no valor da ACR dos TEs fontes. A exceção ao bom desempenho apresentado para a vazão do TCP empregando-se o controle ABR foi a técnica ABR-Binary, que alcançou um desempenho inferior ao observado quando não se utiliza qualquer tipo de controle.

No que diz respeito à implementação da categoria GFR através da técnica Per-VC-WRR, percebeu-se que o baixo desempenho em termos da vazão alcançada pelo TCP, para os fluxos *upstream* e *downstream*, foi ocasionado pela ausência de um controle da taxa de emissão de células. A implementação da categoria GFR

em associação com o mecanismo de controle ABR solucionou este problema e elevou o desempenho em termos da referida vazão a níveis próximos àqueles alcançados utilizando-se a categoria ABR. Já com relação ao *fairness*, a categoria GFR apresentou os melhores resultados, devido sobretudo à distribuição adequada do espaço disponível para o armazenamento de células nos *buffers* entre os VCs, realizada pelo mecanismo FBA da técnica Per-VC-WRR.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kawahara R. e Saito H. "Performance of TCP/IP over ATM over an ADSL", *IEICE Transaction Communications*, pp. 140 - 154, February 2000.
- [2] ATM FORUM TECHNICAL COMMITTEE, "Traffic Management Specification Version 4.1, March 1999.
- [3] Jain R., Kalyanaraman S. e Goyal R. "ERICA Switch Algorithm: A Complete Description", *ATM FORUM - Contribution / 96-1172*, August 1996.
- [4] Giroux N. e Ramanam S. "Handling Physical Rate Changes in ADSL and Other Technologies", *ATM FORUM - Contribution / 98-0825*, December 1998.
- [5] Kawahara R., Kamado Y., Omotani M. e Nagata S. "Method of Implementing GFR Service in Large-Scale Networks Using ABR Control Mechanism and Its Performance Analysis", *IEICE Transaction Communications*, pp. 2081 - 2093, December 1999.
- [6] Jain R., Kalyanaraman S., Goyal R. e Fahmy S. "UBR+: Improving Performance of TCP over ATM-UBR Service", *ICC 97*, pp. 8-12, June 1997.
- [7] Basak D. e Pappu S. "GFR Implementation Alternatives with Fair Buffer Allocation Schemes", *ATM FORUM - Contribution / 97-0528*, July 1997.
- [8] Golmie N. "The NIST ATM/HFC Network Simulator", Version 4.1, December 1998.