

Transmissão de vídeo sobre o serviço ABR/ATM para aplicações de videoconferência, em canais de baixa taxa de bits.

Alexandre M. Moraes

Jean-Marie Farines

Depto. de Automação e Sistemas (DAS) – LCMI – UFSC

Caixa Postal 476

88.040-900 – Florianópolis – SC – Brasil

e-mail: {sobral, farines}@lcmi.ufsc.br

Resumo: Neste artigo apresentamos um modelo para a transmissão de vídeo sobre o serviço ABR/ATM para aplicações de videoconferência sobre canais a baixa taxa de bits, baseado em um controlador de taxa que age sobre o codificador de vídeo cuja saída alimenta um *buffer* de suavização de taxa. O controlador de taxa recebe informações sobre o estado da rede ATM através da realimentação feita pelo mecanismo de gerenciamento de tráfego e, junto com as informações do estado do *buffer*, calcula uma nova taxa de transmissão dentro do limite permitido pela rede, mantendo ainda o atraso gerado pelo *buffer* de suavização dentro do limite imposto pela característica de interatividade da aplicação de videoconferência.

Abstract: In this article we present a model for video transmission over service ABR/ATM for videoconference applications on low bitrate links, based in a rate controller that acts on the video encoder whose output feeds a buffer smooth the rate. The rate controller receives information of the state from ATM network through the feedback made by traffic management mechanism and, together with the buffer state information, it calculates a new transmission rate inside of the network limit allowed, keeping still the generated buffer delay inside of the imposed limit for the videoconference application interactivity feature.

Palavras-chave: videoconferência, adaptação, redes de alta velocidade, ABR, xDSL.

1. Introdução.

As aplicações de videoconferência (transmissão de vídeo em tempo real interativo) caracterizam-se por requisitarem boa qualidade do vídeo reproduzido, qualidade esta que se traduz principalmente em imagens com nível perceptual mínimo e valores de atraso fim-a-fim aceitáveis, de forma a não interferir na interatividade entre os usuários.

Quanto ao primeiro aspecto, dois elementos estão diretamente relacionados, quais sejam, o esquema de codificação utilizado e a disponibilidade de largura de banda para a transmissão dos fluxos de vídeo codificados. No tocante a localização geográfica dos sistemas finais destes usuários, as tecnologias de acesso da "última milha" atualmente disponibilizadas ainda não oferecem valores de largura de banda elevados como os existentes no interior das redes de faixa larga. Desta forma, o primeiro elemento citado deve levar em consideração a restrição de um canal de comunicação com relativamente baixa taxa de bits.

Visando atender a estes requisitos, o presente artigo apresenta uma abordagem de garantias de qualidade de serviço (QoS) para os fluxos de vídeo que transportam as informações de um ambiente para o ensino à distância via videoconferência, tanto da instrução propriamente dita, quanto da participação interativa entre os demais membros participantes e o instrutor, possibilitando a criação de um ambiente básico de sala de aulas virtual. Esta abordagem utiliza como suporte de comunicação as redes ATM que apresentam, dentre as classes de serviço disponíveis, a classe ABR (*Available Bit Rate*), que se encaixa de forma eficiente para os fins

deste trabalho, contanto que algumas modificações sejam acrescentadas à forma padrão de como esta classe de serviço opera. Um outro ponto que torna possível a realização desta abordagem é a evolução das formas de acesso residencial às redes ATM, principalmente a família da tecnologia xDSL (*Digital Subscribe Line*), que também é componente deste modelo.

Nosso interesse na utilização do serviço ABR/ATM para este tipo de aplicação se deve ao fato deste serviço oferecer informações sobre o estado do tráfego na rede para os sistemas finais fonte, informações estas que são utilizadas para a adaptação da codificação de vídeo para que a taxa de transmissão requisitada pelos quadros codificados case com a disponibilidade de largura de banda da rede de forma dinâmica.

Apesar do serviço ABR/ATM não ter sido originalmente projetado para atender a restrições temporais (atraso e sua variação), neste trabalho optamos por utilizar um mecanismo de gerenciamento de tráfego interno a cada comutador intermediário da rede ATM, com a finalidade de influenciar no atraso, limitando-o a valores compatíveis com o requisito de interatividade em tempo real que a aplicação de videoconferência demanda.

Neste artigo, procuramos verificar através de simulações uma parte do modelo proposto com o objetivo de analisar os valores quantitativos para os parâmetros envolvidos na codificação dos fluxos de vídeo gerado nos sistemas finais fonte, bem como analisar o mecanismo de adaptação de taxa. A análise destes valores nos propiciará, em conjunto com os demais parâmetros para o estabelecimento de uma conexão ABR e com os parâmetros do mecanismo de controle de tráfego, a determinação dos níveis de qualidade aceitáveis e de atraso fim-a-fim que a aplicação de videoconferência requisita.

O presente artigo encontra-se assim subdividido. Na Sessão 2 mostramos os requisitos de aplicações de videoconferência para o ensino à distância. Na Sessão 3 analisamos as características do serviço ABR/ATM, bem como listamos alguns esquemas disponíveis para o gerenciamento de tráfego para o serviço ABR/ATM. Na Sessão 4 discutimos alguns trabalhos relacionados destacando onde nosso trabalho foi influenciado. Na Sessão 5 apresentamos o modelo proposto. Finalmente, na Sessão 6 mostramos os testes realizados e os resultados obtidos. A seguir, na Sessão 7, discutimos as conclusões e perspectivas do trabalho.

2. Aplicações de Videoconferência para o Ensino à Distância.

Um grande número de soluções atuais que se propõem a levar alguma forma de instrução a pessoas com localização geográfica dispersa utilizando como suporte de comunicação as redes de computadores são, na sua maioria, baseadas na relação espaço-temporal onde os participantes, localizados em suas residências, podem acessar o material da instrução a qualquer instante, conectando-se ao provedor de conteúdo da instrução, sem quase nenhum esquema de interatividade em tempo real. A passagem da instrução é geralmente feita através de navegadores (*browsers*) que disponibilizam o material da instrução na forma de hipertexto e/ou recursos multimídia audiovisuais. Uma outra abordagem permite a reprodução do paradigma aula a partir da comunicação audiovisual entre os membros (instrutor e participantes) de uma sessão de videoconferência em tempo real, fazendo com que a interatividade entre estes membros torne uma sessão de instrução dinâmica e participativa. Porém, neste último caso, percebe-se alguns pontos que ainda necessitam de soluções mais eficientes para que sua utilização para propósitos de ensino à distância sejam melhor atendidos. Este trabalho visa abordar a segunda situação.

Baseado na premissa de que para aplicações de ensino à distância com o intuito de se criar um ambiente de sala de aula virtual, onde os membros de uma sessão de instrução possam contar com os fatores presencial (mesmo que virtualmente) de todos os membros, e de interatividade mútua, o esquema de suporte a videoconferência voltado para ambientes residenciais deve apresentar características de qualidade mais rígidas fazendo com que seu objetivo principal – suportar com qualidade o transporte das mídias de áudio e vídeo geradas pelos sistemas finais dos membros da sessão de instrução – venha a atender de forma eficiente, as necessidades de uma aplicação de ensino à distância, contando com:

- boa resolução e qualidade na fidelidade das imagens;
- uma alta taxa de exibição dos quadros;
- e uma qualidade de áudio inteligível e sincronizado com o vídeo (os aspectos relacionados ao áudio não serão abordados neste trabalho).

Podemos distinguir diferentes requisitos de qualidade segundo o tipo de membro da sessão de instrução. Quanto à qualidade do vídeo gerado, podemos destacar dois tipos diferentes de fluxos:

- o fluxo gerado pelo(s) instrutor(es) que demandam de características mais específicas tais como grande resolução de imagem e altas taxas de exibição de quadros, visto que estes fluxos transportam o conteúdo da instrução e vão estar sendo exibidos durante toda a sessão de instrução;
- e o fluxo gerado pelos sistemas finais dos participantes que, por sua função eminentemente interativa, necessita de menor resolução de imagens e taxas mais baixas de exibição de quadros.

As características de resolução e taxa de exibição de quadros devem obedecer a valores que forneçam uma "qualidade mínima", abaixo da qual os fluxos de vídeo transmitidos não criarão o efeito presencial, desestimulando inclusive o caráter participativo entre os membros da sessão de instrução. Por outro lado, como os fluxos gerados pelos sistemas finais dos participantes podem originar-se de qualquer um dos participantes da sessão de instrução e por curtos períodos de tempo (sendo necessário apenas para fins de questionamentos, observações, arguições, etc), as características temporais envolvidas no processo de interatividade devem obedecer a prazos rígidos para não comprometerem, desta forma, a organização da interatividade, estabelecida sob-demanda em tempo real.

A última característica reflete na necessidade de manter os atrasos fim-a-fim dentro de um limite compatível com o intervalo de tempo "suportável" pelos membros participantes da sessão de instrução. Este limite permite ao decodificador dos fluxos de vídeo em cada sistema final de destino absorver os atrasos ocasionados pela rede e possibilitar o processo de interatividade entre os membros da sessão de forma a que não percebam quaisquer discontinuidades enquanto interagem.

3. Contexto.

Para a definição do modelo proposto é necessário antes de tudo, analisar todos os elementos do sistema, pois estes elementos irão compor a estrutura sobre a qual será desenvolvida a contribuição deste trabalho. Tais elementos são:

- as questões relativas à garantia da qualidade das mídias audiovisuais requeridas pelas aplicações que irão se utilizar do suporte à videoconferência;

- as questões relativas ao suporte de comunicação, tais como os serviços oferecidos para o transporte da informação multimídia em tempo real, e a distribuição de dados multi-usuários;
- o gerenciamento da comunicação para os membros da sessão de instrução e o controle da interação entre eles;
- e as questões relativas às características da rede de acesso ao suporte de comunicação, utilizada pelos sistemas finais localizados em ambientes residenciais geograficamente dispersos.

Os elementos do sistema físico global estão representados pela Figura 1 e devem ser analisados de forma conjunta, pois existem algumas interdependências entre eles e algumas escolhas tiveram que ser feitas para a formação de um contexto que melhor atendesse ao objetivo deste trabalho, que focaliza apenas o esquema de geração e transmissão dos fluxos de vídeo a partir de um sistema final fonte localizado geograficamente na residência de um membro participante da sessão de instrução (ou na instituição onde se encontra o(s) instrutor(es)).

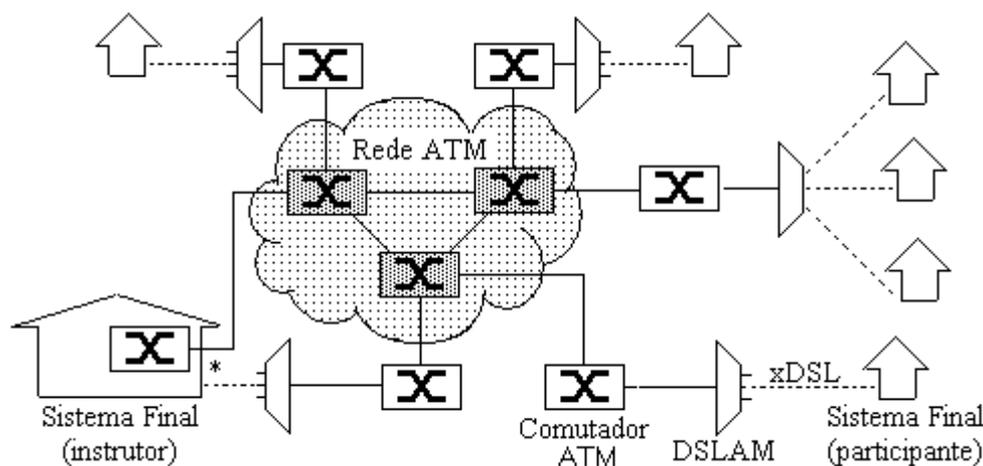


Figura 1. Representação do sistema físico global.

Visando então atender a todas estas características, optamos pela utilização dos seguintes elementos-chave para a realização deste trabalho:

- Codificador de vídeo padrão (no caso H.263). Este padrão permite a codificação de vídeo a baixas taxas de bit, gerando fluxos a taxa de bits variável (VBR) – mantendo constante o parâmetro de quantização (QP), ou a taxa de bits constante (CBR), gerando quadros com valores variáveis de QP.
- Serviço ABR (*Available Bit Rate*) das redes ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) como suporte de comunicação. Este serviço oferece garantias de reserva de largura de banda mínima, podendo utilizar a largura de banda disponível não utilizada pelos serviços de maior prioridade, até um limite máximo pré-definido. O serviço conta ainda com um controle de gerenciamento de tráfego, baseado em uma malha fechada de realimentação.
- Acesso residencial utilizando a tecnologia xDSL (*Digital Subscriber Line set*). Esta tecnologia de acesso para a "última milha" provê valores de largura de banda fixos de nível compatível com as aplicações de transmissão de vídeo (variando com a distância entre o assinante e a central operadora).

Dois fatores influenciam diretamente na qualidade do vídeo gerado: largura de banda disponível para a transmissão e o esquema de codificação utilizado. Quanto a largura de banda

disponibilizada para a transmissão dos fluxos de vídeo, a tecnologia de acesso escolhida (xDSL – *Digital Subscribe Line*) provê atualmente baixos valores de largura de banda, sendo seu valor máximo um dos fatores limitantes na qualidade dos quadros de vídeo gerados. Quanto ao esquema de codificação utilizado, o codificador de vídeo presente nos sistemas final fonte gera continuamente tráfego de vídeo variável (VBR – *Variable Bit Rate*), com parâmetro de quantização (QP) constante. O comportamento deste tipo de tráfego é de difícil modelagem, o que torna também difícil a alocação de largura de banda para o seu transporte. Além disso, o valor de QP influencia diretamente na qualidade (e na largura de banda). Desta forma, o valor de QP fica dependente também do limite imposto pela taxa de transmissão máxima disponibilizada pela tecnologia de acesso.

Além disso, a classe de serviços ABR/ATM escolhida não provê originalmente garantias de restrições de atraso fim-a-fim, influenciando diretamente no requisito de interatividade para uma aplicação de videoconferência.

Desta forma, a fim de melhor entender esta classe de serviços, a próxima sessão apresenta uma breve descrição destacando suas características e focalizando os principais elementos utilizados em nosso modelo.

3.1 A classe de serviços ABR/ATM.

No instante do estabelecimento da conexão, as fontes ABR negociam vários parâmetros operacionais com a rede. Alguns destes parâmetros estão indicados na Tabela 1, e uma listagem completa é dada em [JAIN 1996].

Símbolo	Parâmetro
MCR	<i>Minimum Cell Rate</i>
PCR	<i>Peak Cell Rate</i>
ICR	<i>Initial Cell Rate</i>
Nrm	# FRM cell among data cells
RIF	<i>Rate Increase Factor</i>
RDF	<i>Rate Decrease Factor</i>

Tabela 1. Parâmetros de uma conexão ABR.

O parâmetro PCR (*Peak Cell Rate*) é a taxa máxima na qual a fonte estará permitida a transmitir durante a conexão e recebe o valor máximo de taxa disponibilizada pela tecnologia de acesso na direção fonte/destino (*upstream*). A fonte pode requisitar também em valor de MCR (*Minimum Cell Rate*) que é a taxa mínima garantida. Desta forma, a fonte poderá utilizar esta faixa de largura de banda, de acordo com a disponibilidade deste recurso. Durante o estágio de transmissão de dados, a taxa na qual uma fonte é permitida transmitir em um dado instante particular é denominada ACR (*Allowed Cell Rate*) – uma variável interna à fonte, sendo ICR (*Initial Cell Rate*) seu valor inicial, geralmente configurada com o valor de PCR.

A rede consiste de comutadores que utilizam a informação de sua carga atual para calcular as taxas permissíveis para as fontes. Estas taxas são enviadas para as fontes como realimentação via células RM (*Resource Management*). O modelo de gerenciamento de tráfego ABR é um modelo em malha fechada fim a fim baseado na taxa de transmissão (Figura 2).

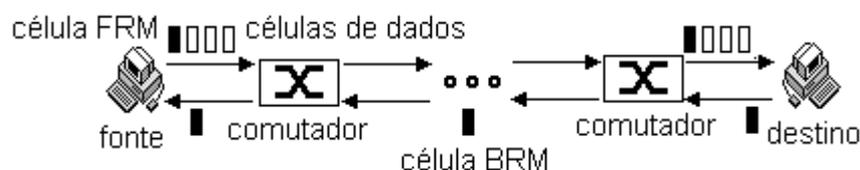


Figura 2. Mecanismo de gerenciamento do tráfego ABR.

As células RM movendo-se da fonte para o destino são denominadas células FRM (*Forward RM*). A cada $N_{rm}-1$ (Tabela 1) células de dados, a fonte insere uma célula FRM no circuito virtual utilizado para a transmissão (*in-band*). O destino devolve estas células RM de volta para a fonte como células BRM (*Backward RM*). As células FRM são transmitidas a intervalos regulares, mas as células BRM podem voltar a intervalos variáveis, devido aos atrasos causados pela rede. Quanto menor for o valor de N_{rm} , maior será a quantidade de células BRM que retornam à fonte, e mais rápida e precisa será a informação sobre o estado de congestionamento e disponibilidade de largura de banda da rede [GOYA 1998]. Porém um grande número de células RM é motivo de *overhead*.

As células FRM e BRM possuem campos que transportam as informações sobre as necessidades da fonte e sobre o estado da rede, respectivamente. Alguns destes campos podem ter seus valores modificados e são atualizados em cada um dos comutadores intermediários da rede e também no destino. Estes campos estão indicados na Tabela 2.

Símbolo	Parâmetro
DIR	<i>Direction</i>
BN	<i>Backward Notification</i>
CI	<i>Congestion Indication</i>
NI	<i>No Increase</i>
ER	<i>Explicit Rate</i>
CCR	<i>Current Cell Rate</i>
MCR	<i>Minimum Cell Rate</i>

Tabela 2. Campos das células RM.

Os campos CI, NI e ER das células BRM são utilizados pela fonte para atualizar o valor de ACR, através de um fator de incremento (RIF – *Rate Increase Factor*), ou de decremento (RDF – *Rate Decrease Factor*).

Os comutadores intermediários utilizam as células RM modificando seus campos, aplicando as regras do mecanismo de gerenciamento de tráfego. Na próxima sessão, discutiremos os tipos de mecanismos utilizados, destacando aquele utilizado em nosso modelo.

3.1.1 Mecanismos de gerenciamento de tráfego do serviço ABR/ATM.

Os mecanismos do serviço ABR permitem a rede ATM dividir a largura de banda disponível de forma justa e eficiente entre as fontes de tráfego ativas. No mecanismo de gerenciamento de tráfego ABR, os sistemas finais fonte ajustam a transmissão de dados a taxas permitidas pela rede.

Existem duas classes gerais de algoritmos que utilizam realimentação para o serviço ABR; os baseados em taxa e os baseados em créditos. Os primeiros controlam a taxa de transmissão das fontes utilizando a realimentação combinada fim-a-fim do caminho completo

de uma conexão ATM (ou circuito virtual). Uma realimentação binária (congestionada ou não congestionada) da rede é utilizada pelas fontes ABR para ajustar suas taxas de transmissão, habilitando-as a dinamicamente adaptarem-se às mudanças da condição da rede. Alguns esquemas baseados em taxa, tais como o EPRCA (*Enhanced Proportional Rate Control Algorithm*) [ROBE 1994], o EDERA (*Enhanced Distributes Explicit Rate Allocation*) [GHAN 2000] e o ERICA (*Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance*) [KALY 2000], estendem este algoritmo básico para permitir aos comutadores de marcar as células de realimentação com uma taxa explícita máxima em que as fontes podem transmitir.

Os algoritmos baseados em créditos, como o QFC (*Quantum Flow Control*) [QFC 1995], utiliza realimentação *hop-by-hop* para garantir que um comutador não transmita células de dados sem que ele saiba se o próximo comutador tem disponibilidade de espaço de *buffer*. Quando um comutador libera espaço no *buffer* após transmitir algumas células, ele envia créditos para que seu comutador vizinho possa enviar mais células.

A vantagem do serviço ABR a taxa explícita é que, diferentemente do tradicional transporte de "melhor esforço" em redes de dados como a Internet, este serviço pode garantir uma largura de banda mínima para conexões individuais utilizando o controle de admissão. Isto é particularmente útil para vídeo, uma vez que pode ser utilizado para garantir um nível mínimo de qualidade perceptual, justamente nos períodos de congestionamento. Nós vislumbramos que esta largura de banda mínima teria de ser determinada baseada nas experiências obtidas de experimentos com "fatores humanos" com uma classe de vídeo específica e, possivelmente, com modelos estatísticos de fontes de vídeo comprimidos.

O serviço ABR a taxa explícita também pode ser ajustado para manter pequenos atrasos em filas, assegurando que a taxa agregada de todas as fontes que compartilham um *canal* seja sempre menor que a largura de banda do *canal* e requisitando a cada fonte ABR manter um fluxo suave de células na taxa de transmissão corrente permitida. Desta forma, o serviço ABR a taxa explícita é também designado para se obter uma taxa baixa de perdas.

Em nosso modelo, utilizamos o algoritmo ERICA nos comutadores da rede ATM, por apresentar alta utilização do canal com baixos valores de atraso e rápida resposta a transitórios. A primeira característica sofre influência direta de outras possíveis conexões ABR compartilhando o mesmo canal. Os baixos valores de atraso favorecem aos requisitos de transmissão de vídeo em tempo real e a interatividade. A rápida resposta a transitórios permite que as informações repassadas pela rede reflitam seu estado de carga mais rápida e precisamente.

4. Trabalhos Relacionados.

Existem vários artigos recentes abordando a transmissão adaptativa de vídeo sobre o serviço ABR/ATM. Em [VICK 1996] um novo serviço denominado *Quasi-VBR* é baseado em uma recente versão do algoritmo de controle de taxa EPRCA, em uma versão modificada da disciplina de serviço T1/T2 de Sriram, e em um esquema de codificação de vídeo adaptativo. Os resultados mostram que o serviço de vídeo *Quasi-VBR* é capaz de se adaptar rapidamente às mudanças de condição da rede, provendo um alto serviço de qualidade de vídeo e uma boa utilização dos recursos da rede. Convém lembrar que esta proposta é para a criação de um novo serviço capaz de suportar o transporte de vídeo tanto de forma garantida, como na forma de melhor esforço. O trabalho também compara o serviço *Quasi-VBR* com o serviço ABR/ATM.

Em [BOLL 1997], um esquema de adaptação da taxa de quadros segundo as informações de realimentação do serviço ABR/ATM é apresentado, utilizando um esquema de simulação *trace driven*, com vídeo gerado a partir de um modelo analítico. A adaptação proposta leva em consideração o atraso fim-a-fim e a taxa de perda de quadros. Os resultados apresentaram grande variação nos valores da taxa de quadros, e altos valores de atrasos em WANs.

Em [LAKS 1999], é proposto um esquema para transmissão de vídeo comprimido (VBR) para aplicações interativas (através de um modelo estatístico para o vídeo, equivalente ao esquema de codificação H.261), utilizando os mecanismos de controle de congestionamento à taxa explícita, proposto pelo serviço ABR/ATM. Neste esquema, a taxa da fonte de vídeo é casada com a largura de banda disponível, modificando o nível de quantização utilizado durante a compressão. É feita também uma modificação no algoritmo de controle de congestionamento a taxa explícita dos comutadores, modificando o esquema de critério de alocação justa de banda, associando pesos para cada fluxo ABR, para que os fluxos de vídeo de mais alta atividade sejam degradados mais na qualidade que os que apresentam baixa atividade. Com este esquema, foi observado que quando um *canal* se apresenta próximo ao estrangulamento, o atraso fim-a-fim total dos quadros permaneceu dentro dos níveis aceitáveis (300 ms), sobre uma WAN com um atraso de propagação de 80 ms.

Em [GUIR 2000], uma nova arquitetura de fonte é proposta para a geração de fluxo de vídeo MPEG-4 multi-camadas em tempo real. Esta arquitetura combina a modelagem de tráfego, a modelagem de taxa, o descarte prematuro de VOP's (*Video Object Plane*), e a utilização das informações de realimentação das células BRM do serviço ABR/ATM. O principal objetivo da arquitetura proposta é proteger as células das camadas básicas (descartando as células das camadas avançadas se necessário), enquanto satisfaz as restrições de atraso especificadas pelos requisitos do usuário. O esquema proposto também é capaz de se adaptar às condições da rede, absorver alguns picos aleatórios (*glitches*) na largura de banda, e prover uma degradação suave da qualidade do vídeo em casos de congestionamento.

Nossa proposta é baseada neste último trabalho citado devido as características básicas semelhantes (codificador voltado para geração de fluxos de vídeo para canais a baixa taxa de bits, adaptação da qualidade de vídeo gerado através das informações das células BRM do serviço ABR/ATM, modelagem de tráfego e de taxa, e descarte de quadros). As principais diferenças são:

- em [GUIR 2000] foi utilizado um codificador MPEG-4 para a geração de vídeo em duas camadas (básica a 10 VOP/s, e avançada a 30 VOP/s), com seqüência de codificação IBBPBBPBBPBB. Em nosso modelo utilizamos um codificador H.263, com taxa de geração de quadros única, e seqüência de codificação IPPP.... Todos estes parâmetros influenciam diretamente na qualidade;
- apesar do codificador MPEG-4 também possuir 31 níveis de quantização, em [GUIR 2000] foram utilizados apenas 3 destes níveis para representar os diferentes níveis de qualidade, quais sejam 15, 20 e 31 (para alta, média e baixa qualidade, respectivamente). Em nosso modelo o mais alto valor de quantização é 10, pois nossos testes mostraram que com valores superiores a qualidade fica perceptualmente degradada;
- A faixa de largura de banda disponibilizada pelo canal em [GUIR 2000] foi de apenas 128 kbps (MCR = 128 kbps e PCR = 256 kbps). Em nosso trabalho exploramos valores maiores de faixa, disponibilizada pela escolha da tecnologia de acesso xDSL.
- o algoritmo para o controlador de taxa é uma adaptação do algoritmo proposto em [GUIR 2000], devido às diferenças anteriormente citadas.

Com este modelo pretendemos gerar e transmitir um fluxo de vídeo compatível com a qualidade requisitada para aplicações de videoconferência, mantendo o valor do atraso fim-a-fim dentro de níveis aceitáveis para fins de interatividade.

5. O modelo proposto.

Idealmente um mecanismo de transporte para vídeo comprimido sobre uma rede com comutação de pacotes deveria assegurar um alto ganho estatístico de multiplexação, suportar negociação freqüente de largura de banda entre a fonte e a rede para acomodar as rajadas da fonte, definir um mecanismo para permitir que a taxa das fontes se adapte à largura de banda disponível da rede, obter uma taxa de perda de quadros muito baixa, e garantir que os atrasos fim-a-fim permaneçam dentro de limites pré-estabelecidos, além de fornecer valores de largura de banda compatíveis com a qualidade mínima perceptual para o vídeo codificado. Neste trabalho, nós propomos uma arquitetura para adaptação de vídeo comprimido, utilizando o serviço ABR (*Available Bit Rate*) das redes ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), através do esquema de controle de congestionamento baseado na realimentação pela rede de taxa explícita (*Explicit Rate – ER*) [LEE 1998].

Nos esquemas ABR a taxa explícita, células de gerenciamento de recursos (*Resource Management – RM*) são periodicamente transmitidas por cada fonte para indicar sua taxa de transmissão desejada. A rede pode especificar esta taxa antes de devolver a célula RM de volta para a fonte se ela está inapta a prover a largura de banda desejada. A informação retornada nas células RM pode ser utilizada para adaptar a taxa de bit do codificador de vídeo. Isto provê uma forma natural de fazer uma renegociação de taxa entre a fonte e a rede. Esta renegociação de taxa pode ser feita freqüentemente, uma vez que o processamento das células RM é feito na mesma conexão (*in-band*), e, desta forma, não é restringida pelas limitações de um lento canal de sinalização compartilhado. Conseqüentemente é possível explorar a alta correlação do vídeo para precisamente renegociar taxas em intervalos de tempo muito curtos, levando a um maior ganho estatístico.

Neste trabalho propomos um modelo para o sistema final fonte que utiliza as informações do estado do tráfego da rede ATM para adaptar o fluxo de vídeo gerado pelo codificador, através de um controlador de taxa que atua tanto no codificador, quanto em um *buffer* de suavização de taxa. O controlador de taxa utiliza as informações inicialmente estabelecidas durante a fase de estabelecimento da conexão ABR e, no decorrer da conexão, fica monitorando as informações das células BRM (*Backward Resource Management*), que são utilizadas para o cálculo do valor da taxa de transmissão do próximo quadro a ser gerado.

5.1 Descrição do modelo

O objetivo principal do modelo é manter o vídeo sendo gerado na maior qualidade possível permitida pela disponibilidade de largura da rede, enquanto se mantém o atraso no *buffer* de suavização dentro do limite máximo pré-estabelecido pela aplicação.

Neste modelo, a taxa de transmissão da fonte de vídeo é casada com a largura de banda disponível retornada pela célula RM, modificando o nível de quantização utilizado durante a compressão. A qualidade perceptual total do vídeo é provavelmente mais elevada com esta forma de adaptação da fonte na congestão (onde as fontes modificam o quantizador) comparado com a situação onde a rede descarta pacotes quando congestionadas (levando à perda de quadros).

Porém, os dados de vídeo só podem ser armazenados por tempo muito limitado, pois o decodificador de vídeo nos sistema final de destino devem ter recebido todos os fragmentos de dados de um quadro (células) quando o tempo para exibir o último quadro acabar. Caso contrário, nenhuma seqüência correta de vídeo pode ser reproduzida pelo decodificador. Por esta razão o próprio codificador de vídeo deve reduzir sua taxa de saída se uma diminuição da taxa é requisitada pela rede. A idéia básica para tornar isto possível é controlar o codificador de vídeo através da realimentação da rede. Um codificador de vídeo pode adaptar sua taxa de envio para uma dada taxa mudando a taxa de geração de quadros e/ou a qualidade do quantizador. Nosso mecanismo de controle de taxa influencia apenas na qualidade do quantizador através das informações de realimentação da rede. Esta escolha se deve ao fato da taxa de geração de quadros requisitada pela aplicação de videoconferência ser a mínima necessária para o tipo de vídeo utilizado (vide os requisitos da Sessão 2).

O modelo proposto para o sistema final fonte é composto por um codificador H.263, um *buffer* de suavização de taxa, uma interface ATM que ofereça a classe de serviços ABR, e um controlador de taxa responsável pela coordenação das ações entre os três primeiros elementos (Figura 3).

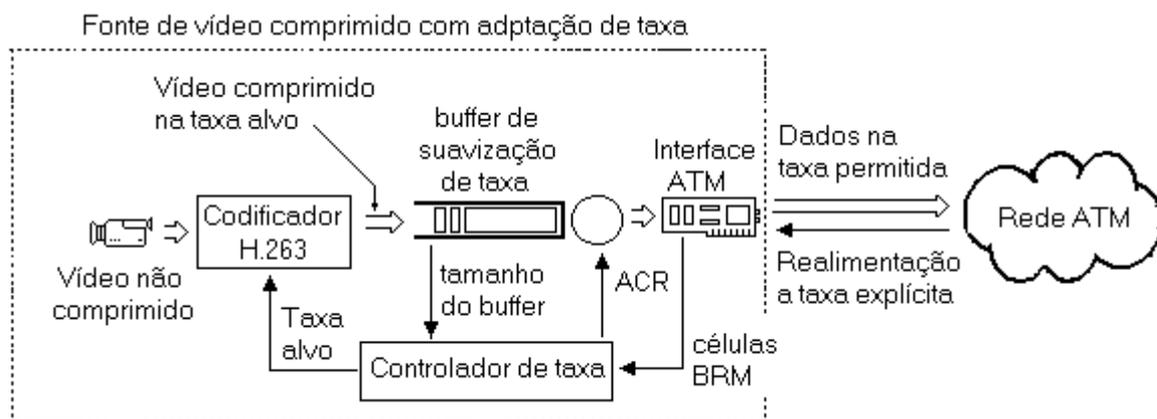


Figura 3. Arquitetura proposta para o sistema final fonte.

Existem dois instantes de tempo a ser considerados. Os instantes em que um novo quadro é codificado, e os instantes em que chega uma nova célula BRM. Cada quadro codificado completo chega ao *buffer* na saída do codificador em intervalos de tempo iguais $t_{frame-1}$, t_{frame} , $t_{frame+1}$, ..., tal que $(t_{frame} - t_{frame-1}) = (t_{frame+1} - t_{frame}) = 1/R$. As células BRM chegam na fonte a intervalos desiguais de tempo t_{BRM-1} , t_{BRM} , t_{BRM+1} , ..., onde $(t_{BRM} - t_{BRM-1}) \neq (t_{BRM+1} - t_{BRM})$, onde $t_{frame} > t_{BRM}$. Estes dois instantes de tempo são utilizados para a tomada de decisões sobre quais serão os novos valores para a nova taxa de bits alvo (R_{target}) a ser gerada pelo codificador, e para a taxa permitida de células (ACR). Estes dois valores de taxa são diferentes, pois R_{target} deve levar em consideração os bits de informação adicionais de cabeçalhos e caudas (*overhead*) anexados pela camada de adaptação (AAL5 – *ATM Adaptation Layer #5*) e pela camada ATM.

No instante de codificação de um novo quadro (t_{frame}), o novo valor de ACR é calculado, baseado no último valor da taxa explícita (ER) retornado em uma célula BRM, podendo ser incrementado pelo valor de RIF, ou decrementado pelo valor de RDF (Tabela 1). O valor de ACR é então utilizado para o cálculo do tamanho máximo do *buffer* (S_{max}), baseado no limite para o atraso (D_{max}) por ele provocado, ou seja, $S_{max} = D_{max} * ACR - S_{overhead}$, onde $S_{overhead}$ é a quantidade de bits adicional mencionada no último parágrafo. Da diferença entre o tamanho já

ocupado pelo *buffer* e o seu tamanho máximo para aquele instante específico de tempo, ou seja $S_{free} = S_{max} - S_{occupied}$, o valor da nova taxa alvo de bits é $R_{target} = S_{free} / D_{max}$.

O sistema final fonte tenta sempre requisitar da rede a possibilidade de enviar na taxa superior a do último quadro gerado no instante $t_{frame-1}$. Estas solicitações são feitas durante todo o período $t_{frame} - t_{frame-1}$, através do campo ER das células FRM, com a finalidade de sempre obter mais largura de banda para a transmissão e, conseqüentemente, maior qualidade para a geração dos quadros. Porém o estado da rede é quem vai determinar se estas solicitações podem ser aceitas ou não, e a resposta é obtida pelo sistema final fonte nos campos CI, NI e ER (Tabela 2) das células BRM.

Desta forma, nos instantes em que a rede não estiver congestionada, o valor de ACR é forçado a crescer, fazendo com que o *buffer* seja esvaziado mais rapidamente (diminuindo o atraso) e, ao mesmo tempo, forçando o codificador a gerar quadros de maior qualidade que, por sua vez, tentará preencher o *buffer* mais rapidamente, até que o limite da PCR seja atingido.

Nos instantes onde a rede experimentar períodos de congestionamento, o controlador de taxa tende a diminuir o valor de ACR, ao mesmo tempo em que também diminui a taxa de bits dos quadros codificados. Estas ações refletem no esvaziamento mais lento do *buffer* e, ao mesmo tempo, seu preenchimento com quadros menores. Esta situação pode se estender até o limite em que o valor da MCR é alcançado. Nesta situação inclusive, poderá haver descarte de octetos de um quadro (que para vídeo comprimido resultará no descarte completo do quadro).

O *buffer* de suavização de taxa absorve então as variações bruscas de demanda de largura de banda causadas pelos intraquadros I, ou pelas mudanças de cenas que provocam grandes diferenças de largura de banda entre os interquadros P consecutivos.

Na continuidade deste trabalho, estamos melhor descrevendo o algoritmo que leva em consideração todos os parâmetros de monitoração e de realimentação citados para o controle de tráfego a taxa explícita do serviço ABR/ATM, para que o cálculo dos valores de ACR e da taxa alvo de bits a ser utilizada pelo *buffer* de suavização de taxa e pelo codificador possibilitem ao controlador de taxa atuar de forma precisa sobre estes dois elementos, fazendo com que o equilíbrio de taxas provocado pelo *buffer* possa resultar em um fluxo de vídeo com qualidade mínima perceptual garantida e dentro do limite de atraso pré-estabelecido.

6. Testes e Resultados.

O esquema de simulação ilustrado na Figura 4 representa a parte do modelo testada, e através da qual pudemos observar seu comportamento. Os testes realizados têm por objetivo a verificação dos valores quantitativos para os parâmetros QP, taxa alvo de bits, ocupação do *buffer* de suavização de taxa, atraso provocado pelo *buffer* e taxa permitida de bits. A análise destes valores nos propiciará, em conjunto com os demais parâmetros para o estabelecimento de uma conexão ABR e com os parâmetros do mecanismo de controle de tráfego (Sessão 3.1), a determinação dos níveis de qualidade aceitáveis e de atraso fim-a-fim que a aplicação de videoconferência requisita.

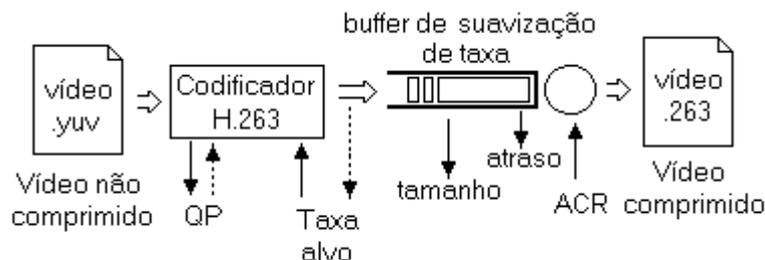


Figura 4. Esquema de simulação.

Os valores de QP e da taxa alvo de bits podem ser induzidos e/ou observados, sendo que a determinação de um implica na observação do outro. O valor de ACR também é induzido, sendo os valores do tamanho do *buffer* e o atraso por ele provocado, parâmetros de observação.

Para as simulações utilizamos um padrão de vídeo como entrada, com as seguintes características: arquivo de vídeo com pouco movimento não comprimido no formato QCIF (176x144), com taxa de captura de 25 quadros por segundo (padrão SECAM), e 24 bits de profundidade de cor. O tipo de vídeo representa bem os requisitos de uma aplicação de videoconferência por conter um cenário composto por objetos quase estáticos, e os movimentos do elemento principal (um apresentador de telejornal) são suficientemente moderados. Por esta razão optamos pela geração de apenas o primeiro quadro como intra-quadro (I) e os demais, interquadros (P).

Utilizamos o codificador TMN¹ versão 3.0.2 para a geração dos fluxos de vídeo a partir do arquivo de vídeo não comprimido acima citado. Este codificador gera quadro de vídeo comprimido no padrão H.263, e foi inteiramente implementado como um modelo de processo da ferramenta OPNET 6.0L².

A Figura 5 ilustra em (a) um quadro do vídeo utilizado e em (b) a largura de banda demandada pelo fluxo de vídeo gerado pelo codificador com o valor do parâmetro de quantização constante igual a 10 (b). Os primeiros dois segundos do vídeo representam bem a influência de um quadro I (o primeiro quadro gerado) na largura de banda demandada. Esta característica também pode ser observada quando existe alguma mudança drástica de cena, fazendo com que quadros P consecutivos apresentem o mesmo comportamento ilustrado no tempo inicial da Figura 5 (b). Nestas situações, o quadro gerado necessita de um valor maior de largura de banda que os demais quadros. Este tipo de tráfego VBR é de difícil modelagem para a obtenção dos parâmetros de estabelecimento de conexão, e necessita ser colocado em um *buffer* de suavização de taxa.

¹ Codificador baseado no TMN version 2.0 da Telenor© – Department of Electrical Engineering, University of British Columbia – Canada.

² Ferramenta de simulação de redes de comunicação da MIL3©.



Fig. (a)

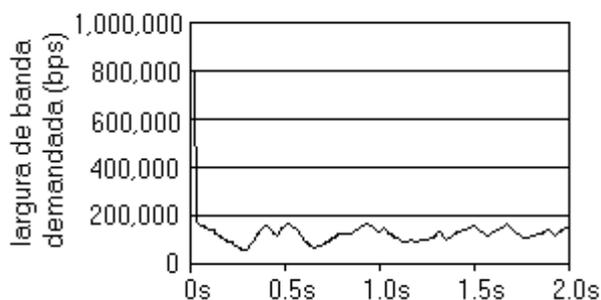


Fig. (b)

Figura 5. (a) Vídeo de testes, (b) Largura de banda demandada, com QP = 10.

Os valores de QP não mantêm uma relação linear com a taxa de bits requisitada para a transmissão dos quadros gerados. Para o padrão H.263, estes valores podem variar entre 1 e 31, sendo que para baixos valores de QP, temos melhor qualidade, porém maiores valores de taxa são necessários para a transmissão. Na Figura 5 utilizamos o valor de QP = 10 que representa uma boa qualidade no vídeo gerado. Para valores de QP maiores que 15, a imagem começa a apresentar distorções bastante perceptíveis (efeito reticulado).

A utilização de um *buffer* de suavização de taxa na saída do codificador introduz um atraso adicional – o que pode comprometer o processo de interatividade da aplicação de videoconferência. A Figura 6 representa este atraso, para o fluxo de vídeo sendo gerado com o parâmetro de quantização constante igual a 10, e a taxa de serviço do *buffer* (ACR) nos valores de 128, 256, 348 e 768 kbps. Estes valores foram escolhidos por representarem os valores mais comuns atualmente disponibilizados pela tecnologia de acesso ADSL (*Asynchronous DSL*) na direção *upstream* (do usuário para a rede).

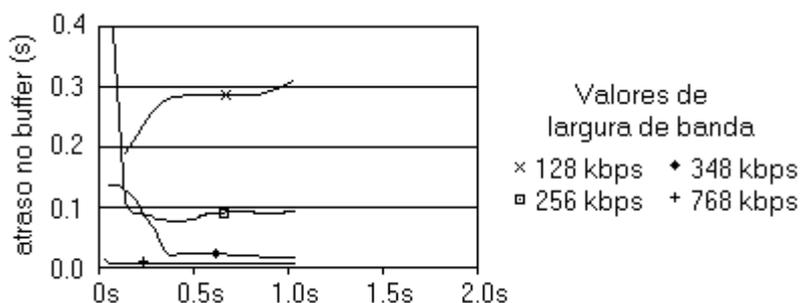


Figura 6. Atraso no *buffer* de suavização.

Notar que para valores maiores de taxa de serviço (ACR), o atraso no *buffer* permanece baixo. Para valores menores de taxa de serviço o atraso no *buffer* cresce bastante a ponto de ultrapassar o limite de 300ms. Outros resultados mostram que para valores maiores de QP, maiores serão os quadros codificados, e maiores serão os atrasos destes quadros no *buffer* de suavização de taxa, para as mesmas taxas de serviço analisadas.

Para manter o atraso abaixo do limite, impusemos a geração dos quadros codificados não mais com o parâmetro de quantização (QP) constante. Todos os quadros agora são gerados com valores (quase) constantes de largura de banda, fazendo com que o codificador ajuste o valor de QP através do seu controle interno de taxa. A Figura 7 (a) representa esta situação para os mesmos quatro valores de taxa, e a Figura 7 (b) ilustra os valores de QP modificados pelo

codificador. Notar, por exemplo, que para o fluxo gerado a taxa de 128 kbps, QP assume valores maiores que 10, gerando quadros de má qualidade perceptual. Para o fluxo gerado a taxa de 768 kbps, QP se mantém estacionário em 5, o que indica quadros de excelente qualidade. Lembrar que baixos valores de QP indicam melhor qualidade no vídeo gerado.

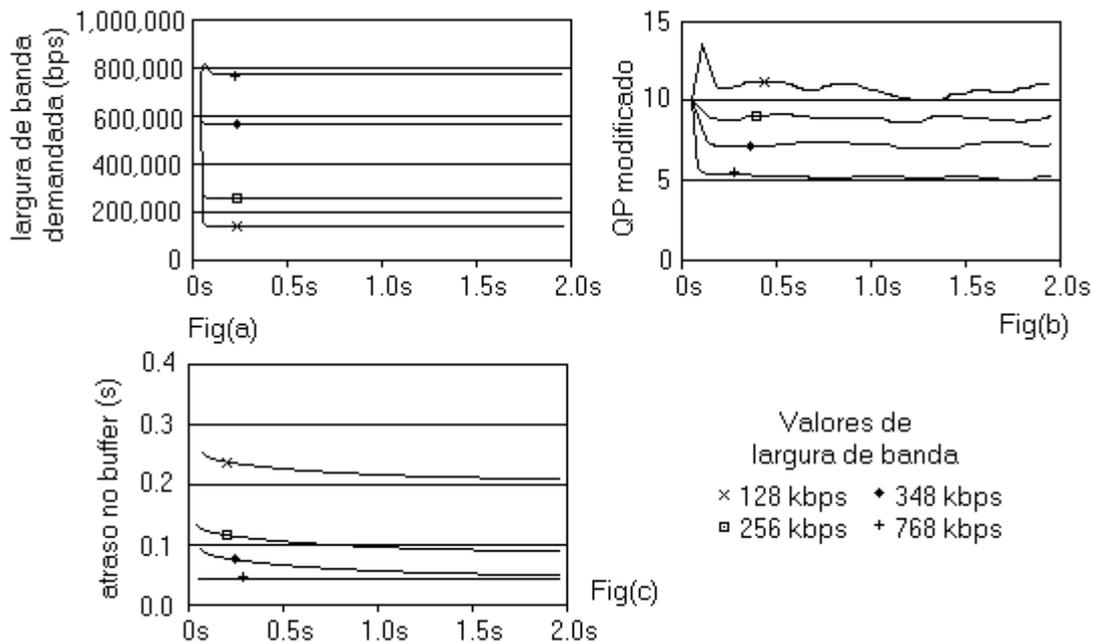


Figura 7. (a). Larg. de banda demandada, (b) Parâm. de quantização (QP), (c). Atraso no *buffer* de suavização.

Os fluxos de vídeo armazenados no *buffer* são servidos na mesma taxa a que foram gerados. Os valores de atraso provocados pelo *buffer* de suavização de taxa estão representados na Figura 7 (c). Para valores maiores de taxa de serviço (ACR), os atrasos são menores que para menores valores de taxa. Notar que estes valores permaneceram todos abaixo do limite de 300ms.

Como exposto inicialmente, a observação dos valores quantitativos do parâmetro de quantização e dos atrasos apresentados pelas simulações para os quatro valores mais comuns de taxa de transmissão disponibilizados pela tecnologia de acesso ADSL indica que a adaptação da qualidade na geração dos quadros de vídeo simulados neste trabalho (sem a utilização ainda do mecanismo de gerenciamento de tráfego do serviço ABR/ATM) atende aos requisitos da aplicação de videoconferência.

7. Conclusões e Perspectivas.

Neste artigo apresentamos um modelo para a transmissão de vídeo sobre o serviço ABR/ATM para aplicações de videoconferência sobre canais a baixa taxa de bits, baseado em um controlador de taxa que age sobre o codificador de vídeo cuja saída alimenta um *buffer* de suavização de taxa. O controlador de taxa recebe informações sobre o estado da rede ATM através da realimentação feita pelo mecanismo de gerenciamento de tráfego e, junto com as informações do estado do *buffer*, calcula uma nova taxa de transmissão dentro do limite permitido pela rede, mantendo ainda o atraso gerado pelo *buffer* de suavização dentro do limite imposto pela característica de interatividade da aplicação de videoconferência.

As simulações apresentadas neste trabalho focalizam a etapa de geração do fluxo de vídeo no sistema final fonte, utilizando o esquema de adaptação de taxa no codificador de vídeo.

Apesar de não utilizarmos ainda o controlador de taxa nem as informações provenientes do mecanismo de gerenciamento de tráfego, induzimos nas simulações a presença destes dois elementos e pudemos constatar via valores numéricos que os níveis de qualidade para os fluxos de vídeo apresentam-se compatíveis com os requisitos de qualidade solicitados, e que os valores do componente de atraso gerados pelo *buffer* de suavização de taxa encontram-se dentro dos limites pré-estabelecidos pela aplicação.

Neste artigo, não foi possível incluir no modelo de simulação o esquema de controle de taxa no sistema final fonte. Este esquema calcula a taxa alvo de bits na qual o codificador deva gerar novos quadros, através de um algoritmo. A partir das informações provenientes dos campos das células BRM que a rede envia para o sistema final fonte, e do estado atual de ocupação da fila do *buffer* de suavização, este algoritmo calcula o valor do tamanho do próximo quadro a ser gerado. Desta forma, tanto a qualidade do vídeo gerado (verificado através do parâmetro de quantização dos quadros), quanto ao atraso induzido pelo *buffer* de suavização devem permanecer dentro dos limites impostos pelos requisitos da aplicação.

Em trabalhos recentes, realizamos a simulação de vários cenários onde o tráfego da rede apresenta-se em instantes alternados de carga máxima, com o valor da taxa mínima (MCR) disponibilizada para a transmissão, e em instantes onde o sistema final fonte pode contar com a taxa máxima (PCR). Os resultados obtidos indicam que mesmo com as mudanças abruptas dos valores da taxa permitida para a transmissão de células (ACR), o mecanismo de adaptação age de forma a manter a qualidade do vídeo gerado dentro dos limites aceitáveis de visualização. O valor do atraso também permaneceu abaixo do limiar pré-estabelecido pelo requisito de interatividade que a aplicação demanda.

Referências.

- [JAIN 1996] Jain, R., et all., *Source Behavior for ATM ABR Traffic Management: An Explanation*, IEEE Communications Magazine, November, 1996, pp 50–57.
- [GUIR 2000] Ramy M. Guirguis and Samy Mahmoud., "Transmission of Real-Time Multi-layered MPEG-4 Video over ATM/ABR Service", International Conference on Communications – ICC2000, New Orleans, Louisiana, USA, June 18–22, 2000.
- [GOYA 1998] Rohit Goyal, Sonia Fahmy, Raj Jain, Bobby Vandalore., "Effect of RM cell interval on ABR feedback: A simulation study using OPNET", ATM Forum/98-0407, July, 1998.
- [LAKS 1999] T. V. Lakshman and K. K. Ramakrishnan., "Transporting Compressed Video Over ATM Networks with Explicit-Rate Feedback Control", IEEE/ACM Transactions on Networking, VOL. 7, NO. 5, October, 1999.
- [LEE 1998] David Lee, K. K. Ramakrishnan, W. Melody Moh., "A formal specification of the ATM ABR rate control scheme". Computer Networks and ISDN Systems 30 (1998) 1735–1748.
- [KALY 2000] Shivkumar Kalyanaraman, Sonia Fahmy, Rohit Goyal and Bobby Vandalore., "The ERICA Switch Algorithm for ABR Traffic Management in ATM Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, VOL. 8, NO. 1, February, 2000.
- [BOLL 1997] Ronald Bollow, "Video Transmission Using the Available Bit Rate Service", Master's Thesis, Department of Electrical Engineering, Berlin University of Technology, Berlin, January, 1997.
- [GHAN 2000] Nasir Ghani and Jon W. Mark., "Enhanced Distributed Explicit Rate Allocation for ABR Services in ATM Networks". IEEE/ACM Transactions on Networking, VOL. 8, NO. 1, February, 2000.

- [ROBE 1994] L. Roberts. "Enhanced PRCA (Proportional Rate-Control Algorithm)", ATM Forum-TM 94-0735R1, Aug., 1994.
- [QFC 1995] "Quantum Flow Control ver 2.0", Flow Control Consortium, FCC-SPEC-95-1, July 1995.
- [KARL 1996] G. Karlsson, "Asynchronous transfer of video", IEEE Commun. Mag. Vol. 24, no. 8, Aug., 1996, pp 118-26.
- [VICK 1996] Brett J. Vickers and Tatsuya Suda., "An ATM Service Architecture for the Transport of Adaptively Encoded Live Video", Proceedings of ICCCN'96, Washington - DC, pp. 179-186, Oct., 1996.