Um Serviço Ativo de Distribuição de Vídeo Multiponto*

Paulo André da Silva Gonçalves   José Ferreira de Rezende

Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte

Grupo de Teleinformática e Automação – GTA
Programa de Engenharia Elétrica – COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Cx. P. 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - Brasil
E-mails: {apaulo, rezende, otto}@gta.ufrj.br

Resumo

Este artigo propõe um serviço de distribuição de vídeo baseado em redes ativas. A capacidade que os nós ativos possuem de realizar computações específicas e armazenar dados não-transientes permitem a oferta de um serviço flexível, eficiente e capaz de se adaptar dinamicamente à disponibilidade de banda passante. O protocolo ativo proposto prevê o envio de cápsulas, dos receptores para o transmissor, que informam a taxa de vídeo suportada pela rede. Para evitar o efeito de implosão de cápsulas que chegam ao transmissor, o protocolo possui um mecanismo de fusão de cápsulas. Os resultados obtidos por simulação comprovam a grande flexibilidade do serviço e demonstram que o mecanismo de fusão pode resultar em índices de filtragem de cápsulas de até 96%, conseguindo ainda preservar informações que estavam contidas nas cápsulas filtradas.

Palavras-chave: distribuição de vídeo, redes ativas, multiponto, serviço adaptativo

Abstract

This paper proposes a service for multicast video distribution based on the active network paradigm. Active nodes can provide soft-state and perform customized computations on a per-user or per-application basis. These functionalities allow the deployment of an efficient and flexible service that can dynamically adjusts itself to the bandwidth availability. The source learns about the supported transmission rate of the video by receiving feedback messages from receivers. A fusion mechanism is used to prevent feedback-message implosion. Simulation results show that a capsule filtering level of 96% can be reached by using the fusion mechanism.

Keywords: video distribution, active networks, multicast, adaptive service

*Este trabalho foi realizado com recursos da UFRJ, FUJB, CNPq, CAPES, COFECUB, FAPERJ e REENGE.

1 Introdução

Os serviços de difusão de TV e de TV a cabo consistem na transmissão de um sinal de banda passante constante para receptores homogêneos. Portanto, a qualidade é fixa e a boa recepção só depende do nível de sinal (relação sinal-ruído) que chega aos receptores. Por outro lado, as novas aplicações de distribuição de vídeo pela Internet visam diversos níveis de qualidade. A resolução da imagem, o número de cores, zoom etc. poderão ser escolhidos por cada usuário receptor, uma vez que, a Internet, por ser um meio interativo, possibilita a seus usuários o recebimento de informações de acordo com os seus próprios interesses. Além disto, a distribuição de vídeo pela Internet possui características distintas dos serviços de TV convencionais [1, 2, 3], pois a informação de vídeo é transmitida em pacotes que são roteados, nó a nó, da fonte ao destino e a banda passante da rede é compartilhada dinamicamente pelas diversas aplicações em andamento.

Atualmente, a abordagem mais utilizada para distribuição de vídeo com diferentes níveis de qualidade é baseada na codificação de vídeo em camadas ou hierárquica. Um codificador de vídeo hierárquico comprime o vídeo em uma ou mais camadas de diferentes prioridades. A camada com a mais alta prioridade, chamada de camada base, contém as partes mais importantes do fluxo de vídeo. Camadas adicionais, cada qual com prioridade decrescente, podem ser codificadas para refinar a qualidade da camada base. Para a distribuição multiponto do vídeo em camadas, várias propostas encontram-se na literatura [1, 4, 5].

Recentemente, um novo modelo de redes, denominado redes ativas [6, 7, 8, 9, 10], foi proposto. Neste novo paradigma, os nós da rede podem executar computações específicas a cada pacote ao invés de simplesmente encaminhá-los. Os pacotes, denominados cápsulas no contexto de redes ativas, podem conter códigos a serem executados pelos nós da rede, modificando e estendendo as funcionalidades da rede. Assim, a rede adquire uma certa "inteligência" garantindo-lhe uma enorme flexibilidade uma vez que pode adequar-se dinamicamente às especificidades das aplicações [11, 12, 13].

Este artigo propõe um serviço ativo e adaptativo para a distribuição de vídeo multiponto baseado em redes ativas. O serviço utiliza computações específicas nos nós da rede para se adequar às condições dinâmicas de disponibilidade de banda passante entre a fonte e os receptores da aplicação. O serviço proposto utiliza apenas uma árvore para a distribuição do vídeo em camadas e impede que um receptor interfira na qualidade do vídeo recebido por outro, tornando-os independentes. Neste artigo também é apresentada uma avaliação do desempenho do mecanismo de fusão utilizado para impedir a implosão de cápsulas resultantes do mecanismo de realimentação que permite informar à fonte a taxa de envio de vídeo suportada pela rede.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na seção 2 é apresentada a descrição do serviço ativo proposto. A seção 3 descreve o protocolo implementado. Os resultados obtidos por simulações são apresentados na seção 4. Na seção 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2 O Serviço Ativo Proposto

O serviço ativo proposto provê a distribuição de vídeo multiponto orientada a receptor. A qualquer instante um receptor pode se conectar/desconectar do serviço e selecionar/alterar a qualidade de vídeo que deseja receber, sendo que a qualidade está limitada apenas à capacidade computacional do receptor ou à quantidade de banda passante disponível entre a fonte e o receptor.

O serviço denominado RLM (*Receiver-driven Layered Multicast*) [5] é um serviço com funcionalidades similares ao serviço proposto neste artigo porém, baseado em redes passivas. No RLM, cada camada de vídeo gerada pela fonte se serve de uma árvore multiponto identificada por diferentes endereços. Assim, cada receptor se associa a um ou mais grupos multipontos de acordo com a disponibilidade de banda passante entre ele e a fonte. Para aumentar a qualidade do vídeo, o receptor realiza um "experimento" se associando ao grupo multiponto correspondente à camada imediatamente superior a que estava recebendo e monitora os pacotes que chegam. Se o número de pacotes perdidos ultrapassar um certo limiar, o receptor conclui que não há banda passante disponível para esta nova camada e sai do grupo associado. Isto significa que este experimento pode causar congestionamentos na rede e, conseqüentemente, perda de pacotes destinados aos vários receptores. Neste caso, um receptor interferirá na qualidade do vídeo recebido por outros receptores. Além disto, o uso de múltiplas árvores multipontos, uma para cada camada de vídeo, requer o estabelecimento de um número elevado de árvores multipontos, o que significa introduzir estados a serem mantidos pelos roteadores. Assim, mesmo que a fonte possa fornecer uma granulosidade mais elevada com o objetivo de prover uma qualidade de serviço melhor para cada receptor, este efeito limita o número de camadas que a rede pode suportar.

O serviço ativo proposto se utiliza de uma fonte de vídeo em camadas. Para gerar um número de camadas adequado a caminhos com diferentes características de banda passante e que atenda melhor às necessidades de cada receptor, a fonte recebe periodicamente informações sobre a disponibilidade atual de banda passante na rede.

O roteamento das cápsulas de dados de vídeo de cada camada é auxiliado por marcações no *soft-state* dos nós ativos. Estas cápsulas seguem somente para os receptores que desejam receber a camada em questão e cuja disponibilidade de banda passante no caminho entre eles e a fonte permitir.

A figura 1 ilustra o serviço. Nela, uma fonte de vídeo gera três camadas, cada qual a uma taxa de 1 Mbps. A banda passante de cada enlace e a qualidade desejada do vídeo por cada receptor estão representadas nesta figura. Todos os receptores, exceto o quarto, recebem um número de camadas adequado à disponibilidade de banda passante na rede. O quarto receptor, apesar de poder receber uma camada a mais de vídeo, só está recebendo aquilo que deseja, ou seja, a camada base e uma camada adicional que compõem a qualidade desejada de 2 Mbps. Para tentar receber uma qualidade diferente da atual, o receptor deve se utilizar da escala de ajuste de qualidade, conforme sua própria conveniência.

Supondo que o terceiro receptor se desconecte do serviço, a fonte passará a gerar somente duas camadas. Sendo assim, ela estará gerando o número de camadas necessário para melhor atender os receptores e não desperdiçar banda passante na rede.

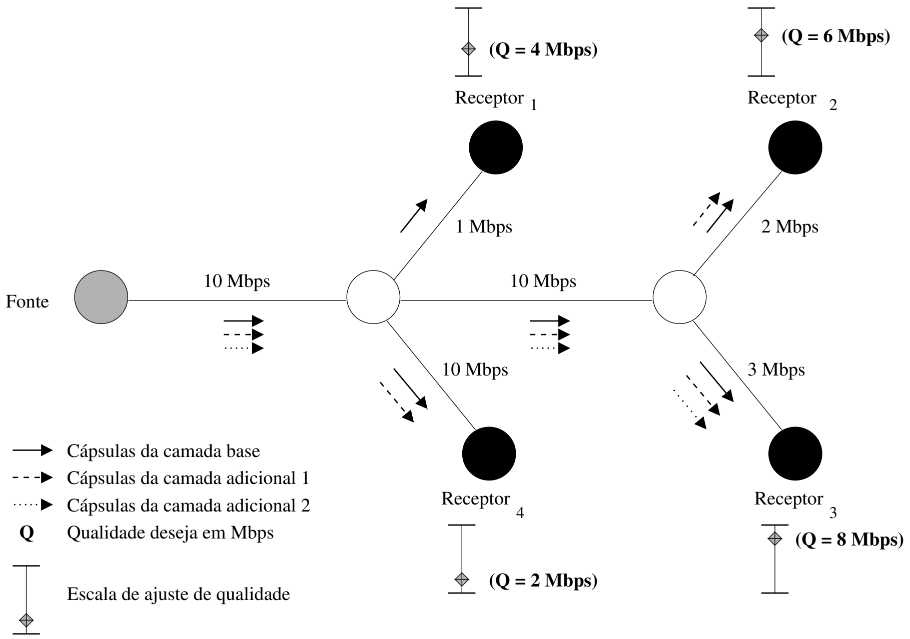

Figura 1: Exemplo da distribuição de vídeo.

3 O Protocolo Ativo Proposto

O protocolo ativo proposto para este serviço de distribuição de vídeo multiponto é composto por cinco tipos de cápsulas: cápsula de inscrição/manutenção, cápsula de disponibilidade, cápsula de dados de vídeo, cápsula de fim de sessão e cápsula de desligamento. A cápsula de desligamento é utilizada pelos receptores e tem como função desconectar-lhes do serviço. A cápsula de fim de sessão é utilizada pela fonte de vídeo e tem como função alcançar todos os receptores do grupo multiponto, informando-lhes sobre o fim da sessão. A função das outras será apresentada ao longo desta seção.

3.1 A Cápsula de Inscrição/Manutenção

A função da cápsula de inscrição/manutenção é a formação e a manutenção da árvore multiponto. Este tipo de cápsula é utilizada por todos os receptores que desejam receber dados de vídeo do serviço, devendo ser enviada periodicamente para a fonte. Ao percorrer o caminho em direção à fonte, a cápsula instala um apontador no *soft-state* dos nós ativos com o objetivo de marcar o caminho por onde as cápsulas de vídeo devem passar. Esta situação está ilustrada na figura 2.

Os caminhos novos devem ser marcados e todos os caminhos devem ser remarcados de tempos em tempos devido ao tempo de expiração dos *soft-states*. No entanto, nem todas as cápsulas de inscrição/manutenção precisam percorrer o caminho completo entre os receptores e a fonte. Assim, utiliza-se a capacidade de se realizar computações nos nós ativos para filtrar as cápsulas desnecessárias e com isso, evitar uma implosão de cápsulas na fonte [14, 15, 10].

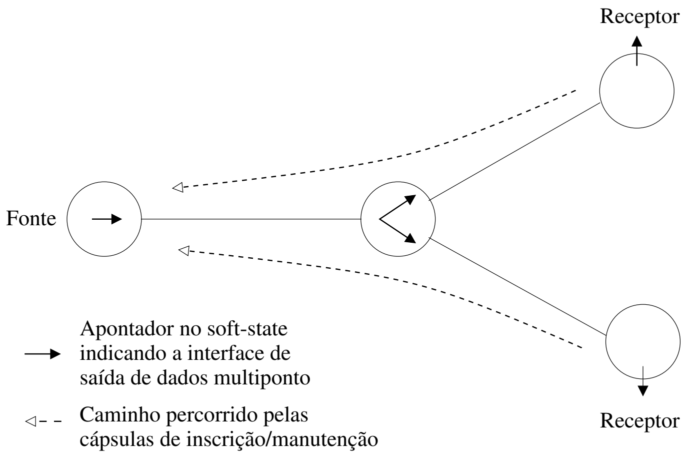

Figura 2: Formação da árvore multiponto.

3.2 A Cápsula de Disponibilidade

Para auxiliar no roteamento das cápsulas de dados de vídeo, é construída no *soft-state* de cada nó ativo uma tabela de disponibilidade. Esta tabela contém, para cada interface de saída marcada como pertencente ao grupo multiponto, a informação da taxa máxima permitida para o vídeo. Também é construída no *soft-state* de cada nó, exceto nos receptores, uma tabela auxiliar associada à tabela de disponibilidade. Esta tabela contém, sob o ponto de vista do nó, a qualidade do vídeo desejada pelos nós vizinhos pertencentes à sub-árvore com raiz neste nó, cada qual alcançado por uma determinada interface. As tabelas de disponibilidade e suas respectivas tabelas auxiliares são construídas pela cápsula de disponibilidade enviada pelo receptor, logo após o envio da primeira cápsula de inscrição/manutenção.

A figura 3 mostra como estas tabelas são construídas com a entrada do primeiro receptor (receptor A) no grupo multiponto. A numeração dos nós é correspondente ao ponto de vista do receptor. O identificador de cada nó é apresentado imediatamente acima dele. A banda passante disponível em cada enlace para o vídeo está indicada sobre seu respectivo enlace. Depois da entrada do receptor no grupo multiponto, este envia uma cápsula de disponibilidade trazendo no campo TX de seu cabeçalho a informação da qualidade Q, em termos de banda passante, que ele deseja receber. Este valor também é colocado na tabela de disponibilidade construída no receptor. Ao chegar no nó n_1, esta cápsula cria uma tabela auxiliar contendo uma entrada que informa a interface por onde chegou, a identificação do nó anteriormente visitado e o valor contido no seu campo TX. Em seguida, ela verifica a disponibilidade de banda passante para vídeo no enlace que permite alcançar o último nó visitado. A cápsula então marca na tabela de disponibilidade do nó em questão o menor valor entre a banda passante disponível e o valor da qualidade na tabela auxiliar, seguindo para o próximo nó com esta informação em TX. Aplica-se o mesmo algoritmo ao se passar pelos nós n_2 e n_3. Ao receber a cápsula de disponibilidade, a fonte de vídeo utiliza a informação do campo TX para saber exatamente quantas camadas deve gerar de modo a atender da melhor forma possível o receptor.

A figura 4 mostra a entrada do segundo receptor (receptor B) no grupo multiponto. Os receptores A e B estão conectados à mesma interface do nó identificado por D. A banda passante disponível para o vídeo é a mesma para ambos. A numeração dos nós

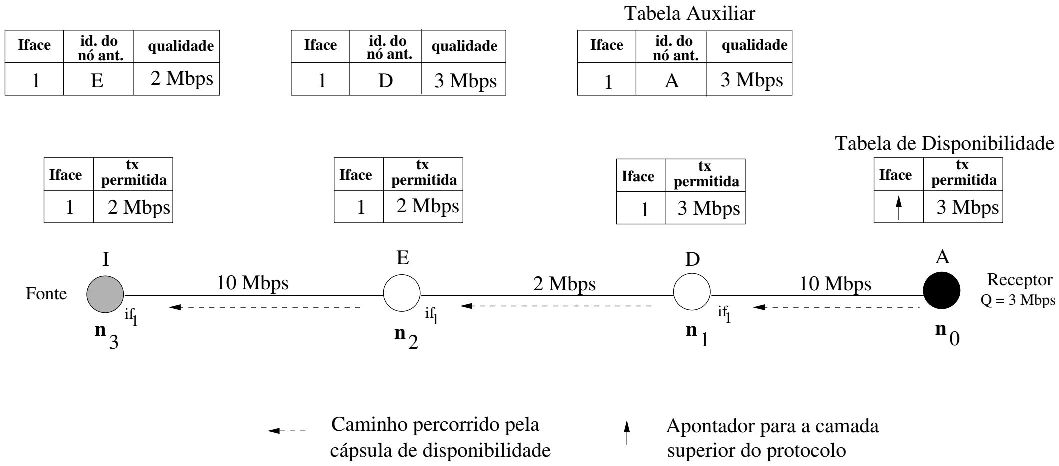

Figura 3: Construção das tabelas auxiliares e de disponibilidade. Entrada do primeiro receptor.

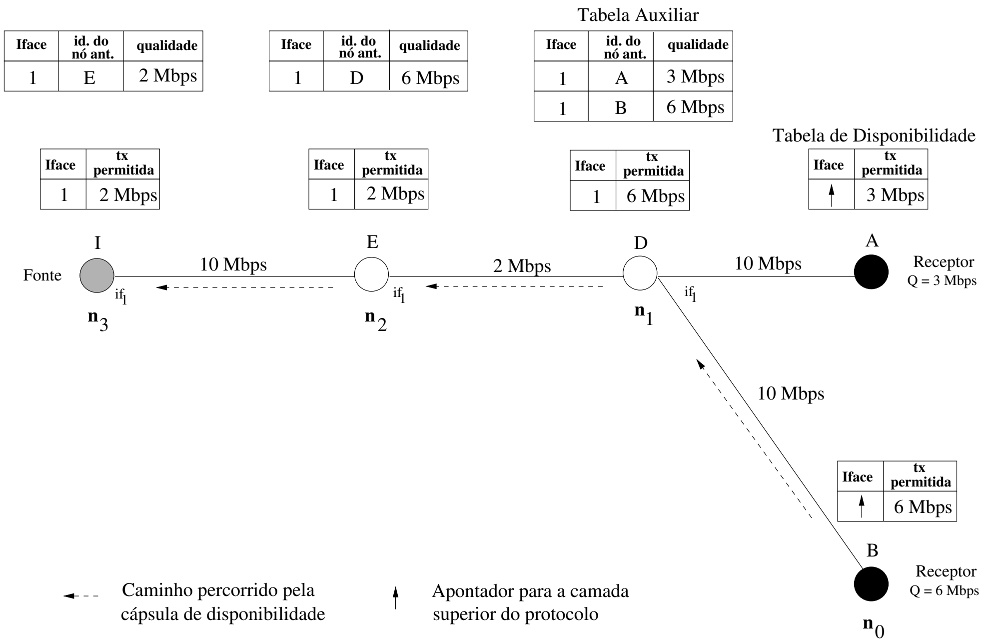

Figura 4: Construção e atualização das tabelas auxiliares e de disponibilidade. Entrada do segundo receptor no grupo multiponto.

apresentada corresponde ao ponto de vista do receptor B. Após a construção da tabela de disponibilidade do receptor B, a cápsula de disponibilidade enviada chega ao nó n_1 trazendo em TX a qualidade que este receptor deseja. Um nova entrada é adicionada na tabela auxiliar do nó n_1 contendo a tripla $\{1,\ B,\ 6\ Mbps\}$, ou seja, a qualidade de 6 Mbps, indicada no campo TX da cápsula, desejada pelo receptor B, alcançado pela interface 1. Em seguida, a cápsula atualiza a entrada, na tabela de disponibilidade, respectiva a esta interface. O novo valor para a taxa permitida para o vídeo por esta interface é computado como sendo o menor valor entre a banda passante disponível para o vídeo no enlace que permite alcançar o receptor B e o maior valor entre todas as qualidades relacionadas à interface 1 na tabela auxiliar. O resultado desta computação é posto no campo TX da cápsula que segue para o nó n_2. Neste nó, a entrada da tabela auxiliar é atualizada com o valor de TX. Em seguida, computa-se o menor valor entre a banda passante disponível para o vídeo e o valor contido no campo *qualidade* na tabela auxiliar. É feita a atualização na entrada da tabela de disponibilidade com este resultado e, posteriormente, a cápsula segue para o nó n_3 com esta informação em TX. O procedimento de atualização das tabelas neste nó é o mesmo.

Sob o ponto de vista do nó cujo identificador é D, a tabela auxiliar contém a qualidade desejada por cada receptor do grupo multiponto. Sob o ponto de vista do nó cujo identificador é E, a tabela auxiliar contém a qualidade "desejada" pelo nó com identificador D. Sendo assim, de uma forma geral, a tabela auxiliar de um nó contém a qualidade desejada pelos nós vizinhos pertencentes à sub-árvore com raiz nesse nó.

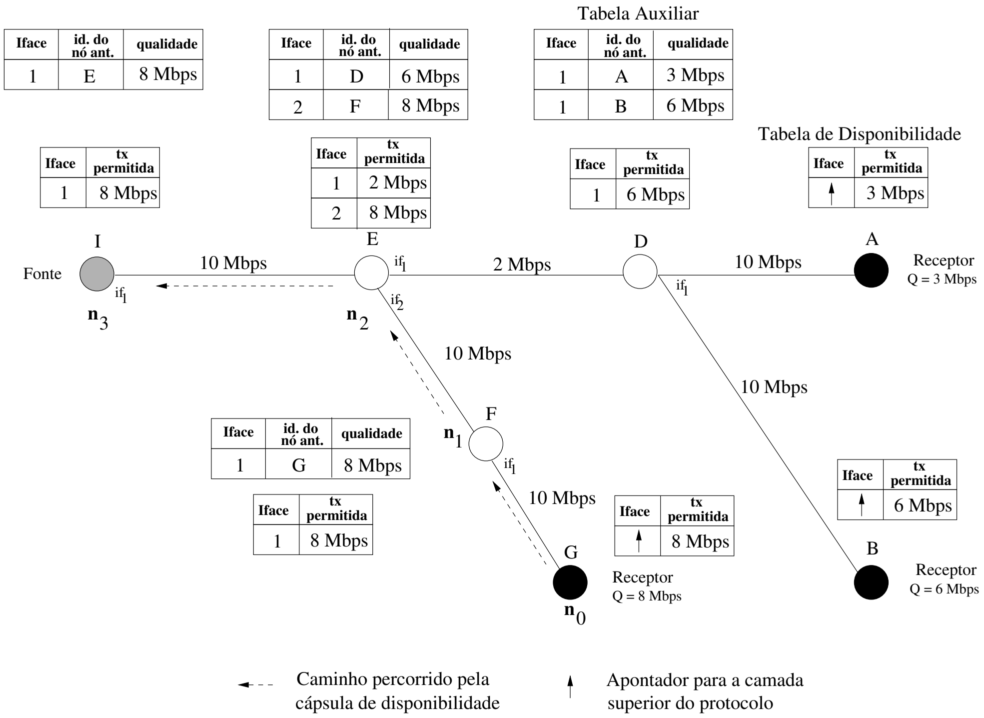

Figura 5: Construção e atualização das tabelas auxiliares e de disponibilidade. Entrada do terceiro receptor no grupo multiponto.

A entrada do receptor G no grupo multiponto é apresentada na figura 5. O algoritmo aplicado para a construção das tabelas nos nós n_0 e n_1 segue os mesmos passos descritos anteriormente. O principal ponto a ser observado é com relação à inclusão da interface 2 nas tabelas do nó n_2. Ao chegar neste nó, a cápsula de disponibilidade adiciona à tabela auxiliar uma entrada relativa à qualidade desejada pelo seu nó vizinho, cujo identificador é F, e que pode ser alcançado através da interface 2. A nova entrada na tabela de disponibilidade é computada como sendo o menor valor entre a banda passante disponível para o vídeo no enlace que permite alcançar o nó anterior visitado e a entrada relacionada à interface 2 na tabela auxiliar. Ou seja, o valor computado é o mínimo entre 10 Mbps e 8 Mbps. As entradas referentes à interface 1 que porventura existam na tabela auxiliar não são consideradas. Com a nova entrada na tabela de disponibilidade, a informação a ser colocada no campo TX da cápsula de disponibilidade que seguirá para o nó n_3 é o maior valor observado nesta tabela. Neste caso, os dados referentes a todas as interfaces são considerados.

A figura 6 resume o relacionamento entre as entradas na tabela auxiliar, as entradas na tabela de disponibilidade e o campo TX da cápsula de disponibilidade a ser enviada para o próximo nó no caminho para a fonte. Cada entrada na tabela de disponibilidade é obtida através da comparação de um subconjunto de entradas na tabela auxiliar e da banda passante disponível para o vídeo no enlace alcançado pela interface relativa a este subconjunto de entradas. A informação contida no campo TX da cápsula de disponibilidade é obtida a partir de todas as entradas contidas na tabela de disponibilidade.

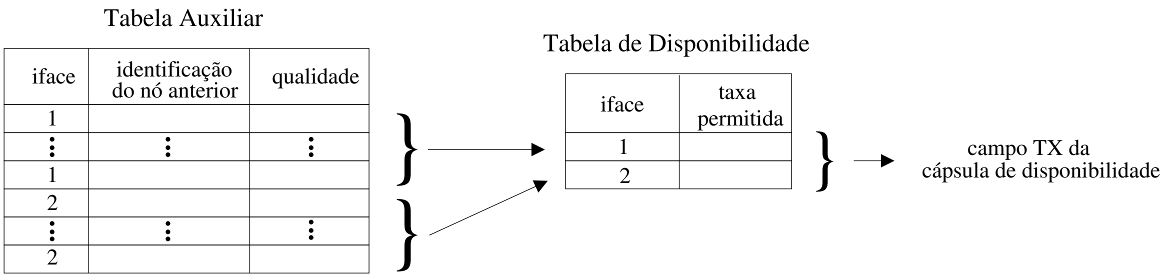

Figura 6: Resumo do relacionamento entre a tabela auxiliar, a tabela de disponibilidade e o campo TX da cápsula de disponibilidade a ser enviada para o próximo nó.

Sendo assim, de uma forma geral, o algoritmo aplicado para adicionar ou atualizar uma entrada na tabela auxiliar segue a equação 1.

$$\Gamma^{(i)}_{n,n-1} = TX_{n-1} \text{ para } n \geq 1 \tag{1}$$

onde i é a interface por onde chegou a cápsula de disponibilidade, $\Gamma^{(i)}_{n,n-1}$ representa, sob o ponto de vista do nó n, a qualidade desejada pelo nó $n-1$, alcançado pela interface i. O valor do campo TX do cabeçalho da cápsula de disponibilidade ao sair do nó $n-1$ é representado por TX_{n-1}.

O algoritmo aplicado para adicionar ou atualizar uma entrada na tabela de disponibilidade segue a equação 2.

$$tx^{(i)}_n = \begin{cases} \min\{\max(\Lambda^{1,(i)}_n, \ldots, \Lambda^{\sigma^{(i)},(i)}_n), b^{(i)}_n\} & \text{para } n \geq 1 \text{ e } \sigma^{(i)} \geq 1 \\ Q & \text{para } n = 0 \end{cases} \tag{2}$$

onde i é a interface por onde chegou a cápsula de disponibilidade, $b_n^{(i)}$ representa a banda passante disponível para o vídeo no enlace alcançado pela interface i do nó n, $tx_n^{(i)}$ representa a taxa máxima permitida para vídeo no enlace alcançado pela interface i do nó n quando $n \geq 1$ e representa a qualidade Q desejada pelo receptor quando $n = 0$. O número de entradas relativas à interface i na tabela auxiliar é representado por $\sigma^{(i)}$. Os valores $\Lambda_n^{1,(i)}$ a $\Lambda_n^{\sigma^{(i)},(i)}$ representam as entradas do campo *qualidade*, referentes à interface i, na tabela auxiliar do nó n.

O valor a ser colocado no campo TX da cápsula de disponibilidade que será enviada em direção à fonte é computado seguindo a equação 3.

$$TX_n = \begin{cases} \max\left(\Omega_n^1, \ldots, \Omega_n^\theta\right) & \text{para } n \geq 1 \text{ e } \theta \geq 1 \\ Q & \text{para } n = 0 \end{cases} \tag{3}$$

onde, Q é a qualidade do vídeo, em termos de banda passante, desejada pelo receptor, TX_n representa o valor do campo TX do cabeçalho da cápsula de disponibilidade ao sair do nó n. O número de entradas na tabela de disponibilidade é representado por θ. Os valores Ω_n^1 a Ω_n^θ representam as entradas do campo *taxa permitida* na tabela de disponibilidade do nó n.

3.2.1 O Mecanismo de Realimentação

Para manter a fonte sempre informada sobre a melhor taxa de envio do vídeo, e assim, sobre o número de camadas que ela deve gerar, se faz necessário um mecanismo de realimentação por parte dos receptores do grupo multiponto. Para isso, todos os receptores enviam periodicamente cápsulas de disponibilidade à fonte. A interatividade entre a fonte e os receptores é alcançada, uma vez que, a fonte pode se adaptar ao receber a cápsula de disponibilidade que traz consigo, de forma direta ou indireta, a qualidade desejada por cada receptor ou a qualidade suportada pela rede. Ajustes de qualidade realizados por um receptor, durante a sessão, são automaticamente incorporados às novas cápsulas de disponibilidade enviadas em direção à fonte.

3.2.2 O Mecanismo de Fusão

O envio periódico de cápsulas de disponibilidade por todos os receptores do grupo multiponto acarreta em dois efeitos indesejáveis. O primeiro é a atualização descoordenada das tabelas auxiliares e de disponibilidade e o segundo, é a possibilidade da implosão de cápsulas de disponibilidade que chegam à fonte.

A figura 7 apresenta uma idéia do primeiro efeito. Nela, um nó ativo possui duas interfaces de chegada de cápsulas de disponibilidade. Para a interface 1 existem quatro entradas na tabela auxiliar e para a interface 2 existem três. As cápsulas de disponibilidade provindas dos nós identificados na tabela auxiliar chegam por estas interfaces. Cada cápsula atualiza uma entrada na tabela auxiliar e na tabela de disponibilidade, levando consigo para o próximo nó o maior valor observado nesta última tabela. Considerando que essas cápsulas chegam ao nó em um intervalo de tempo curto, a atualização das tabelas ocorrerá de forma descoordenada. Cada cápsula realizará sua função e seguirá para o próximo nó independentemente das outras cápsulas que estão por chegar. Além disto, considerando este intervalo de tempo curto, somente a última cápsula carregará consigo a informação mais atualizada a ser enviada.

Tabela Auxiliar

iface	id. do nó ant.	qualidade
1	J	1 Mbps
1	K	3 Mbps
1	L	2 Mbps
1	M	8 Mbps
2	N	6 Mbps
2	O	4 Mbps
2	P	1 Mbps

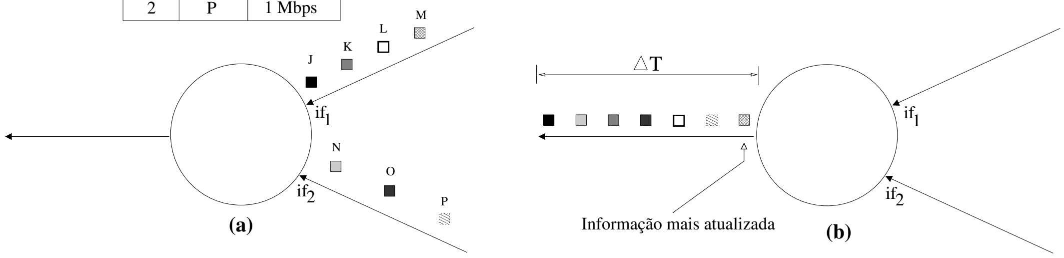

Figura 7: Efeito indesejável do envio periódico de cápsulas de disponibilidade à fonte.

Para impedir que ocorra a implosão de cápsulas de disponibilidade e coordenar a atualização das tabelas, suprimindo cápsulas com informações desatualizadas, é adotado um mecanismo de fusão destas cápsulas. Esta fusão é realizada na ocorrência de uma das seguintes condições: (1) pelo menos uma cápsula de disponibilidade referente à cada entrada na tabela auxiliar tenha chegado; (2) o temporizador de fusão tenha expirado. A figura 8(a) ilustra a primeira condição, onde uma cápsula de disponibilidade referente à cada entrada na tabela de disponibilidade chega pelas respectivas interfaces antes da expiração do temporizador de fusão. Neste caso, ao chegar a última cápsula esperada, para cada cápsula armazenada é atualizada a respectiva entrada na tabela auxiliar com base na equação 1. Em seguida, com base na equação 2 é atualizada de uma só vez a tabela de disponibilidade e transmitida apenas uma cápsula de disponibilidade contendo em TX o resultado da equação 3. A atualização de um campo na tabela de disponibilidade, relativo a uma interface, ocorre somente quando existir pelo menos uma cápsula armazenada que tenha chegado por esta interface. A figura 8(b) ilustra a segunda condição. Neste caso, chegaram cápsulas de disponibilidade relativas à somente duas entradas na tabela auxiliar. Ao expirar o temporizador de fusão, para cada cápsula armazenada, a respectiva entrada na tabela auxiliar é atualizada seguindo a equação 1. Após o término destas atualizações, com base na equação 2, são atualizadas as entradas na tabela de disponibilidade e é transmitida uma única cápsula contendo o resultado da equação 3. Se antes de ocorrer a fusão mais de uma cápsula de disponibilidade relativa à mesma entrada na tabela auxiliar chegar, a informação armazenada é descartada em favor do novo dado recebido.

Tabela Auxiliar

iface	id. do nó ant.	qualidade
1	Q	1 Mbps
2	R	3 Mbps
3	S	2 Mbps

Tabela Auxiliar

iface	id. do nó ant.	qualidade
1	Q	1 Mbps
2	R	3 Mbps
3	S	2 Mbps

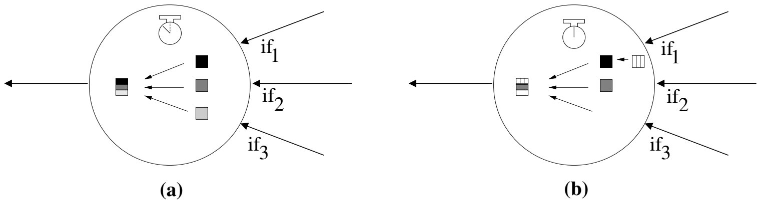

Figura 8: O mecanismo de fusão.

3.3 A Cápsula de Dados de Vídeo

A cápsula de dados de vídeo utiliza as informações contidas na tabela de disponibilidade dos nós e o valor contido no campo TX de seu cabeçalho para tomar decisões de roteamento. Possíveis decisões incluem o auto-descarte, seguir por uma interface ou replicar-se para várias interfaces de saída. Para auxiliar esta tomada de decisão, a fonte coloca no campo TX de cada cápsula de dados de vídeo a taxa cumulativa referente à camada a qual pertence a cápsula, ou seja, o campo TX é marcado de acordo com a seguinte regra:

$$TX = \sum_{i=1}^{c} TC_i \ \text{ para } 1 \leq c \leq N \qquad (4)$$

onde c é a camada a qual pertence a cápsula, TC_i é a taxa da i-ésima camada e N é o número máximo de camadas que a fonte pode gerar.

Ao chegar em um nó, a cápsula de dados de vídeo verifica se existe um *soft-state* para o grupo multiponto ao qual ela pertence. Caso não exista, ela se auto-descarta. Havendo *soft-state* para o seu grupo, ela verifica, para cada interface de saída contida na tabela de disponibilidade, se a taxa indicada é maior ou igual a taxa informada no campo TX. Neste caso, ela segue por esta interface, devendo ser replicada quando mais de uma interface atender a esta condição. Se nenhuma interface atender a esta condição, a cápsula então se auto-descarta. Desta forma, o mecanismo de formação e manutenção da árvore multiponto associado à filtragem das cápsulas de dados de vídeo elimina a necessidade do estabelecimento de múltiplas árvores multipontos para a distribuição do vídeo em camadas. A única árvore multiponto existente é a percorrida por cápsulas da camada base. As cápsulas das camadas adicionais podem percorrer toda esta árvore ou simplesmente trechos dela. Além disto, a quantidade de recursos alocados nos nós torna-se independente do número de camadas sendo geradas pela fonte.

O mecanismo de criação e atualização das tabelas de disponibilidade associado à filtragem realizada pelas próprias cápsulas de dados de vídeo permite que cada receptor receba um número determinado de camadas, de acordo com a característica do caminho individual entre a fonte e este receptor e a qualidade Q desejada.

4 Resultados

O serviço proposto foi implementado no simulador de rede ns-2 [16, 17] e utilizou-se o suporte básico às redes ativas desenvolvido em [10]. Foram implementados novos tipos de agentes, novas cápsulas, o mecanismo de fusão e os mecanismos de monitoração dos enlaces para estimar a banda passante disponível.

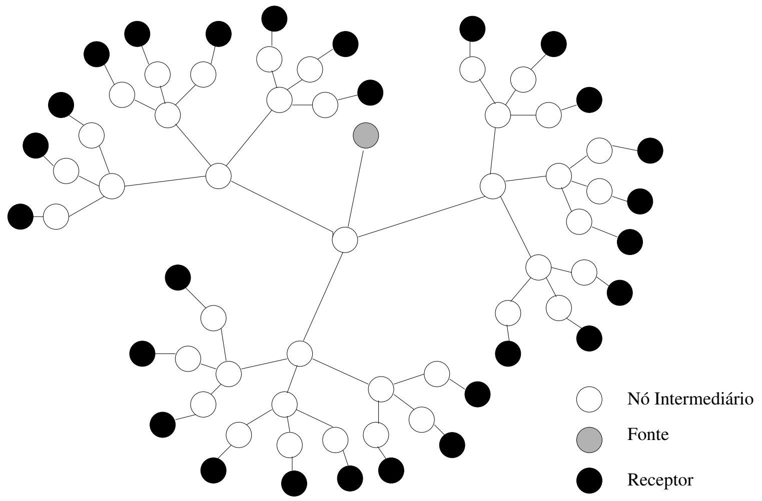

Figura 9: Topologia simulada.

Para avaliar o mecanismo de fusão, foi utilizada a topologia em árvore apresentada na figura 9. Todos os enlaces possuem banda passante de 10 Mbps. O atraso em cada enlace foi definido de forma aleatória, uniformemente distribuído no intervalo entre [1, 10] ms. A expiração do temporizador de fusão ocorre a cada 100 ms. A entrada de cada receptor no grupo multiponto foi escolhida de forma aleatória, uniformemente distribuída no intervalo [0, 10] segundos. O tempo total de simulação foi de 100 segundos. Todos os resultados apresentados possuem um intervalo de confiança de 90%.

A curva apresentada na figura 10 mostra os índices de filtragem de cápsulas de disponibilidade alcançados quando se varia o intervalo de envio destas cápsulas. O índice de filtragem é definido como o percentual de cápsulas de disponibilidade que não chegam à fonte do total de cápsulas de disponibilidade enviadas pelos receptores. Os índices de filtragem alcançados encontram-se no intervalo entre 91% e 96%. O índice de filtragem máximo ocorre quando o intervalo de envio de cápsulas de disponibilidade é inferior a 25 ms , ou quando o intervalo de envio destas cápsulas é igual ou a metade do tempo de expiração do temporizador de fusão.

Na figura 11 é apresentado o percentual de fusões que ocorrem na rede de acordo com as duas condições necessárias para haver uma fusão. O resultado mostra que quando o intervalo de envio de cápsulas de disponibilidade é inferior à 25 ms, igual ou metade do tempo de expiração do temporizador de fusão, praticamente todas as fusões ocorrem devido a chegada de uma cápsula de disponibilidade relacionada a cada entrada na tabela auxiliar no *soft-state* do nó ativo. Isso significa que as atualizações nas tabelas ocorrem de forma mais coordenada, fazendo com que a informação que chega à fonte represente melhor a disponibilidade atual de banda passante da árvore multiponto, e não apenas a disponibilidade atual de banda passante de trechos da árvore.

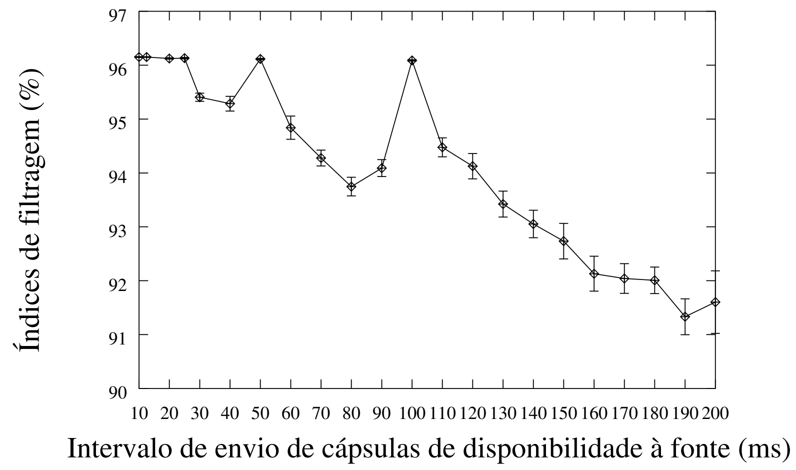

Figura 10: Índices de filtragem observados variando-se o intervalo de envio de cápsulas de disponibilidade à fonte.

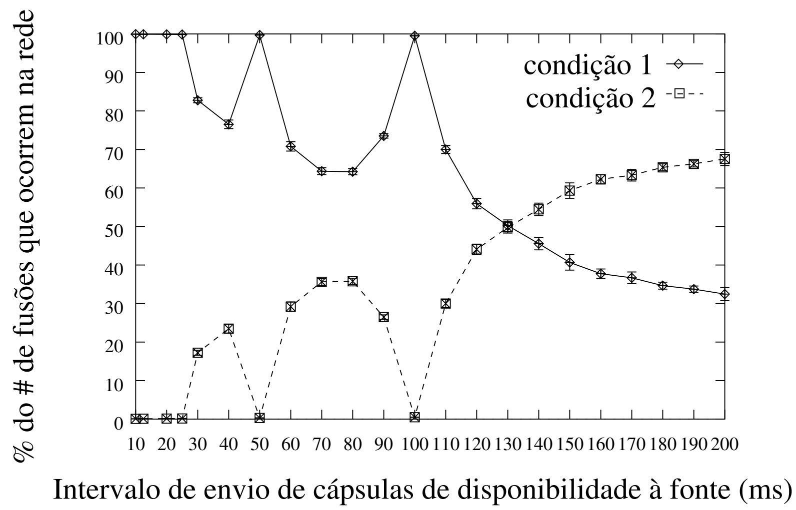

Figura 11: Percentagem das fusões que ocorrem na rede por cada condição versus intervalo de envio de cápsulas de disponibilidade à fonte.

A curva da figura 12 mostra o comportamento do intervalo médio de chegada de cápsulas de disponibilidade à fonte quando se varia o intervalo de envio destas cápsulas. Este resultado mostra que quando o intervalo de envio de cápsulas de disponibilidade é inferior à 25 ms, igual ou a metade do tempo de expiração do temporizador de fusão, o intervalo médio de chegada de cápsulas de disponibilidade à fonte se mantém praticamente igual ao intervalo de envio destas cápsulas pelos receptores.

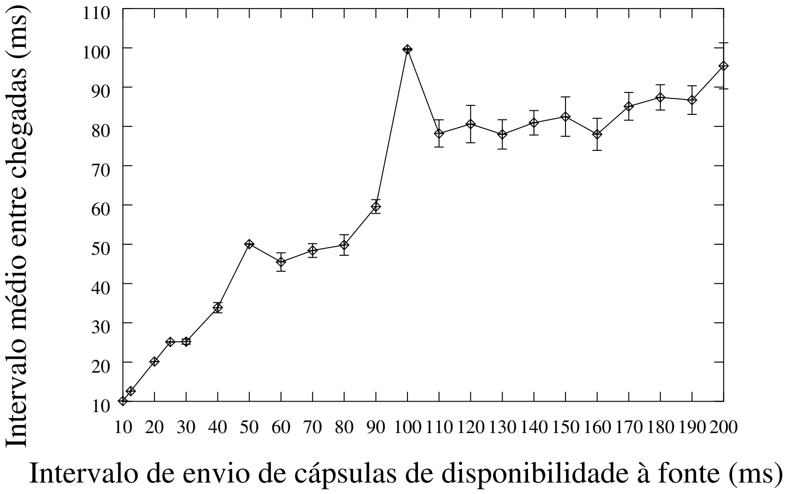

Figura 12: Comportamento do intervalo médio entre chegadas de cápsulas de disponibilidade à fonte de acordo com o intervalo de envio dessas cápsulas pelos receptores.

Na figura 13 é apresentado o percentual de substituições de cápsulas de disponibilidade que estão armazenadas no nó ativo aguardando a fusão. Este resultado é referente ao percentual de cápsulas substituídas no primeiro nó intermediário que possui mais de uma entrada na tabela auxiliar do total de cápsulas de disponibilidade enviadas pelos receptores. Este resultado mostra que menos de 0.06% das cápsulas de disponibilidade enviadas pelos receptores são substituídas quando o intervalo de envio é de 10 ms. Quando o intervalo de envio aumenta, este percentual diminui, sendo zero a partir do intervalo de envio de 100 ms.

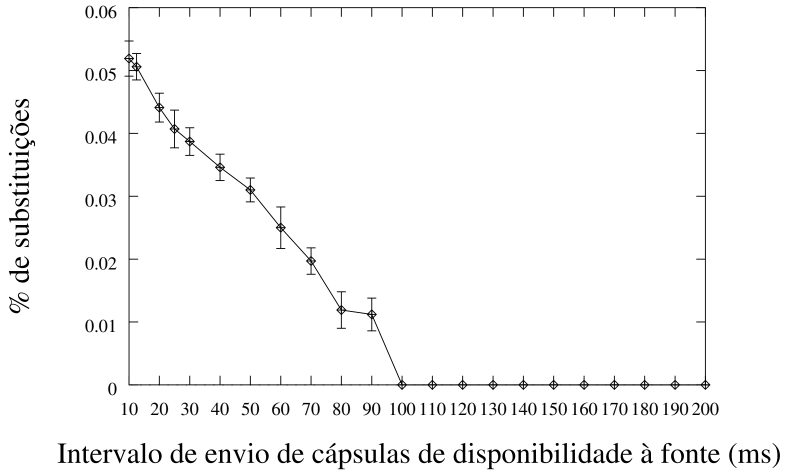

Figura 13: Percentagem de substituições de cápsulas de disponibilidade no primeiro nó ativo com mais de uma entrada na tabela auxiliar versus intervalo médio de envio destas cápsulas pelos receptores.

5 Conclusões

Neste artigo foi apresentado um serviço ativo de distribuição de vídeo. O serviço permite que os receptores escolham, quantas vezes desejarem e a qualquer instante da sessão, a qualidade do vídeo que desejam receber. A limitação ao atendimento da qualidade desejada está na disponibilidade de banda passante na rede. Os receptores são independentes, não interferindo na qualidade do vídeo recebido por outros. O mecanismo de formação e manutenção da árvore multiponto associado à filtragem das cápsulas de dados de vídeo elimina a necessidade do estabelecimento de múltiplas árvores multipontos. Os resultados de desempenho obtidos do mecanismo de fusão apresentam um alto índice de filtragem, o que significa a eliminação do efeito de implosão de cápsulas de disponibilidade que chegam à fonte, tornando assim, o serviço proposto escalável.

Referências

[1] X. Li, S. Paul e M. H. Ammar, "Layered video multicast with retransmission (LVMR): Evaluation of hierarchical rate control", in *IEEE INFOCOM'98*, São Francisco, CA, abril de 1998.

[2] M. D. Amorim, O. C. M. B. Duarte e G. Pujolle, "An improved MPEG behavioral analysis with autonomous parameter-extracting algorithm for strict video applications", To appear in *IEEE ICC'2000*, Nova Orleans, Estados Unidos, junho de 2000.

[3] M. D. Amorim e O. C. M. B. Duarte, "A novel deterministic traffic model based on a two-level analysis of MPEG video sources", in *IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM'98*, Sydney, Austrália, pp. 244–249, novembro de 1998.

[4] L. Wu, R. Sharma e B. Smith, "ThinStreams: An architecture for multicasting layered video", in *NOSSDAV'97*, 1997.

[5] S. McCanne, V. Jacobson e M. Vetterli, "Receiver-driven layered multicast", in *Proceedings of SIGCOMM'96*, Stanford, CA, agosto de 1996.

[6] J. Biswas *et al.*, "The IEEE P1520 standards initiative for programmable network interfaces", *IEEE Communications Magazine*, vol. 36, no. 10, pp. 64–70, outubro de 1998.

[7] K. L. Calvert, S. Bhattacharjee e J. Sterbenz, "Directions in active networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 36, no. 10, pp. 72–78, outubro de 1998.

[8] D. L. Tennenhouse, J. M. Smith, W. D. Sincoskie e D. Wetherall, "A survey of active network research", *IEEE Communications Magazine*, pp. 80–86, janeiro de 1997.

[9] D. L. Tennenhouse e D. J. Wetherall, "Towards an active network architecture", *Computer Communication Review*, vol. 26, no. 2, abril de 1996.

[10] F. P. Junqueira e O. C. M. B. Duarte, "Comunicação multiponto confiável para estações móveis em redes ativas", in *XVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores SBRC'99*, Salvador, BA, pp. 389–404, maio de 1999.

[11] D. Feldmeier *et al.*, “Protocol boosters”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 3, pp. 437–444, abril de 1998.

[12] W. S. Marcus *et al.*, “Protocol boosters: Applying programmability to network infrastructures”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 36, no. 10, pp. 79–83, outubro de 1998.

[13] U. Legedza, D. Wetherall e J. Guttag, “Improving the performance of distributed applications using active networks”, in *IEEE INFOCOM'98*, São Francisco, CA, pp. 590–599, abril de 1998.

[14] D. J. Wetherall, J. V. Guttag e D. L. Tennenhouse, “ANTS: A toolkit for building and dynamically deploying network protocols”, in *IEEE OPENARCH'98*, São Francisco, CA, abril de 1998.

[15] D. Wetherall, J. Guttag e D. Tennenhouse, “ANTS: Network services without the red tape”, *IEEE Computer*, vol. 32, no. 4, pp. 42–48, abril de 1999.

[16] K. Fall e K. Varadhan, “NS notes and documentation”, relatório técnico, The VINT Project, julho de 1999.

[17] S. Bajaj *et al.*, “Improving simulation for network research”, relatório técnico, University of Southern California, Departament of Computer Science, março de 1999.