

Uma Análise do MBone

Cristina Melchioris

e-mail: cristina@inf.ufrgs.br

Liane Margarida Rockenback Tarouco

e-mail: liane@penta.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituto de Informática

Av. Bento Gonçalves, 9500. Bloco IV. Porto Alegre, RS.

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo da estratégia MBone, utilizada para canalizar tráfego multimídia na Internet. O MBone (*Multicast Backbone*) é uma rede virtual construída sobre a Internet que utiliza *multicast* IP para as transmissões de dados, sendo uma importante alternativa para uso de videoconferência também em redes Intranet.

A rede virtual MBone é composta por sub-redes que possuem roteadores com capacidades de difusão seletiva IP. A comunicação entre estes roteadores é realizada utilizando o conceito de túneis - enlaces virtuais criados entre os roteadores, o que possibilita a transmissão de datagramas de difusão seletiva mesmo entre os roteadores que não suportam esta forma de transmissão.

O uso do MBone para uma transmissão multimídia proporciona um ganho na utilização de banda e processamento das máquinas envolvidas, já que um único datagrama de difusão seletiva pode atingir diversas estações em uma mesma sub-rede sem a necessidade de ser replicado. Algumas medidas de impacto do tráfego MBone na rede são apresentadas e comentadas.

Abstract

This paper presents a study about the MBone, a strategy used to route multimedia traffic into Internet. The MBone (*Multicast Backbone*) is a virtual network built on Internet that uses *multicast* IP in its data transmissions, being an important alternative to the use of videoconferencing also in Intranets.

The virtual network MBone is composed of subnets with multicasting routers, i.e., routers that understand multicast IP addressing. The communication among those routers is made by using the tunneling concept - virtual links created between two routers, that enables the transmission of multicast datagrams even between non multicasting routers.

The use of MBone by a multimedia transmission saves the network bandwidth and computational processing of the machines involved, since only one multicast datagram reach several hosts in the same subnet, avoiding unneeded replications. Some measures of network MBone's traffic impact are presented and discussed.

1. Introdução

Centenas de organizações, hoje em dia, tem percebido que instalar uma Intranet traz grandes benefícios para seus negócios. Uma Intranet - rede interna de uma organização, que usa os recursos e tecnologias da Internet - traz facilidade e rapidez no acesso às informações, diminuição de custos e aumento da efetividade operacional.

A Intranet proporciona os serviços que são utilizados normalmente em redes corporativas, tais como correio eletrônico, transferência de arquivos, acesso a banco de dados, acesso a aplicações *on-line*, para todos os sistemas da rede, independentes das plataformas utilizadas. E, em adição a estes serviços, oferece os serviços típicos do ambiente Internet que incluem o tratamento de informação multimídia: o WWW, um dos grandes impulsos para o crescimento das Intranets, graças a sua estrutura de hiperdocumentos; e os sistemas interpessoais de comunicação, que proporcionam co-autoração de documentos e videoconferência.

As aplicações multimídia causam grande impacto para os serviços das redes, podendo ser usadas para treinamento de pessoal e *tours* visuais pela corporação, com o WWW, assim como para reuniões remotas de membros da organização, vídeos com áudio sincronizado de treinamento e divulgação da empresa, com videoconferência.

Neste contexto, o MBone (*Multicast Backbone*), usado para canalizar tráfego multimídia na Internet, constitui forte tendência para apoio às aplicações de videoconferência, já que proporciona grande economia de banda e processamento das máquinas envolvidas, tanto em transmissões internas como externas, e pode ser difundido e recebido em todas as partes do mundo facilmente, proporcionando acesso à conferências externas e permitindo que palestras e divulgação da organização sejam disponibilizados para todas as redes

pertencentes a rede Mbone.

A rede Mbone adota para suas transmissões uma forma de endereçamento IP diferente das habitualmente utilizadas em *unicast* e *broadcast*. Nesta forma de transmissão, denominada *multicast* (difusão seletiva), o datagrama é enviado com o endereço de um grupo e é recebido por todos os membros deste grupo que estejam acessíveis pela rede - no caso, os participantes da videoconferência, tanto outros transmissores como apenas receptores.

2. Difusão Seletiva IP

Para a melhor compreensão do Mbone, é importante relembrarmos inicialmente os diferentes tipos de transmissão existentes. Normalmente, para a transmissão de pacotes, é utilizado *unicast*, onde os pacotes são enviados de uma estação de origem para apenas uma estação destino. Existe, também, a forma de transmissão *broadcast* (difusão), onde o pacote é enviado de uma estação para todas as estações naquela sub-rede. E, por fim, existe a forma de transmissão *multicast* (difusão seletiva), quando a estação envia um pacote para um grupo de outras estações.

A difusão é uma forma de transmissão suportada por diversas tecnologias de hardware de rede local, tais como as tecnologias de rede Ethernet e Token Ring. Em muitas destas tecnologias, a especificação de transmissões de difusão se dá através da utilização de um endereço especial como destino, um endereço de difusão. Em redes Ethernet, por exemplo, os 48 bits do endereço físico são marcados com o valor 1 para indicar difusão. O hardware de cada máquina reconhece o endereço de difusão e interpreta os quadros como destinados para seus próprios endereços, e com apenas uma cópia todos os nodos recebem o quadro.

Da mesma forma que a difusão, a difusão seletiva também é utilizada em algumas tecnologias de hardware. Tipicamente, estão reservados dentro de cada tecnologia um conjunto de endereços para uso com difusão seletiva, que são selecionados por um grupo de máquinas quando estas desejam se comunicar. As interfaces de rede são configuradas para reconhecer o endereço selecionado, e todas as máquinas pertencentes ao grupo passam a receber uma cópia de cada quadro enviado para aquele endereço de difusão seletiva.

Assim como em tecnologias de hardware redes locais, as formas de transmissão de difusão e difusão seletiva existem também em redes TCP/IP [COM 91]. Estas redes utilizam endereços de 32 bits, que são organizados de acordo com uma das cinco classes de endereçamento IP: classes A, B e C, utilizadas para identificar uma determinada estação em uma determinada sub-rede, sendo associado um campo para sub-rede e um campo para estação dentro da sub-rede; classe D, utilizada para identificar grupos de difusão seletiva e classe E, que é reservada para uso futuro. A difusão IP é realizada fazendo uso do valor 1 no identificador da estação no endereço IP, transmitindo assim datagramas para todas as estações da sub-rede. A difusão seletiva IP, porém, utiliza a classe D, endereçando grupos que são identificados por um valor, em notação decimal, no intervalo de 224.0.0.0 a 239.255.255.255.

A difusão seletiva IP [DEE 89] permite que um datagrama IP seja transmitido para um conjunto de máquinas que formam um grupo de difusão seletiva identificado por um endereço IP classe D. Os grupos de difusão seletiva são formados por um conjunto de zero ou mais estações, que podem estar espalhadas em redes físicas separadas. Os datagramas deste tipo de transmissão possuem as mesmas características de confiabilidade encontradas nos datagramas regulares *unicast* IP, não havendo garantia contra perda, retardo, duplicação ou entrega fora de ordem para nenhum dos membros do grupo [COM 91].

Os membros de um grupo são dinâmicos: estações podem entrar ou deixar grupos a qualquer momento, não havendo restrições para o número de membros de um grupo. Uma estação pode participar de mais de um grupo simultaneamente, sendo que pertencer a um grupo determina que uma estação receberá os datagramas enviados para o grupo com difusão seletiva.

A difusão seletiva IP pode ser utilizada em redes físicas simples ou através de várias sub-redes TCP/IP. No segundo caso, os datagramas são transmitidos utilizando *gateways* com capacidades de difusão seletiva denominados roteadores de difusão seletiva, que podem ser os mesmos ou diferentes dos utilizados como *gateways* para as transmissões *unicast*. As estações transmitem os datagramas de difusão seletiva como uma difusão seletiva local, que atingirá todos os membros do grupo de difusão seletiva pertencentes a sub-rede local. Se os datagramas possuírem o campo *time-to-live* (TTL) do datagrama com valor superior a um, o roteador de difusão seletiva transmite o pacote para todas as outras redes que possuem membros do grupo, onde os roteadores de difusão destas redes completam a entrega transmitindo o datagrama como difusão seletiva local, desde que estes membros sejam atingíveis dentro do controle oferecido pelo TTL do datagrama.

As comunicações de associação a grupos entre as estações e os roteadores de difusão seletiva é feita através do protocolo *Internet Group Management Protocol* (IGMP). Quando uma estação deseja se tornar membro de um grupo, ela envia uma mensagem de notificação IGMP do tipo *Host Membership Report* contendo como endereço destino o grupo a que deseja pertencer. O roteador, que receberá o datagrama mesmo sem este estar enviado explicitamente para ele já que recebe todos os datagramas de difusão seletiva, se comunicará então com os outros roteadores de difusão seletiva a que está ligado solicitando os datagramas daquele grupo, e os colocará na rede local. Além destas mensagens geradas pelas estações, existem também as mensagens IGMP de consulta, do tipo *Host Membership Query*, que o roteador envia periodicamente para a rede local. Estas mensagens são respondidas pelas estações informando os grupos a que pertencem, a fim de que o roteador possa descobrir quando um grupo não possui mais

membros na rede local e atualizar sua tabela dos grupos presentes na rede, suspendendo então a transmissão destes datagramas para a rede local.

O uso de difusão seletiva nas transmissões, como acontece no MBone, proporciona um enorme ganho na utilização de banda e processamento das máquinas envolvidas, já que um único datagrama pode atingir várias sub-redes que possuem uma mesma rota de comunicação com o nodo transmissor sem a necessidade de ser replicado. Como o tráfego de videoconferência, que engloba áudio e vídeo, é bastante intenso, os ganhos obtidos com o uso de difusão seletiva são ainda mais relevantes.

3. A Rede Virtual MBone

O MBone foi criado como uma rede experimental de difusão seletiva para o protocolo IP, desenvolvido e testado na rede de pesquisa DARTnet. Na rede DARTnet eram transmitidas freqüentemente conferências entre seus pesquisadores, porém a primeira grande transmissão do MBone ocorreu somente em março de 1992, durante o encontro do *Internet Engineering Task Force* (IETF) em San Diego, EUA, quando muitas sessões do encontro foram transmitidas em áudio, utilizando difusão seletiva, do site do IETF para participantes em 20 sites em três continentes [CAS 92].

Desde o evento, o MBone tem experimentado um crescimento exponencial. Dois anos mais tarde, no encontro do IETF em Seattle, EUA, já participavam das transmissões de dois canais paralelos, de áudio e vídeo, 567 nodos em quinze países [ERI 94]. Atualmente, o MBone conta com mais de 20000 usuários, distribuídos em mais de 20 países [TRE 96]. Possui *backbones* principais e enlaces de reserva formando uma topologia em malha, situados entre os maiores provedores de serviço da Internet, e formando nas extremidades uma topologia em árvore, numa estrutura que visa servir todos os usuários obtendo o maior aproveitamento da banda com as facilidades da difusão seletiva, possibilitando uma distribuição eficiente dos pacotes sem congestionar nenhum nodo ou enlace inadequadamente. Porém, como nem todos os roteadores na Internet suportam difusão seletiva, são necessários alguns mecanismos para interligar os roteadores do MBone utilizando a rede física da Internet, criando assim uma rede virtual do MBone.

A rede virtual MBone é composta por sub-redes que suportam difusão seletiva, denominadas ilhas, conectadas umas as outras através de enlaces ponto-a-ponto virtuais. Cada uma das ilhas é composta por uma ou mais redes locais conectando um número de estações e um nodo, que implementa o *multicast routing daemon* (*mrouterd*), que é o roteador de difusão seletiva. Este nodo é denominado *mrouter*.

A comunicação entre esses roteadores é realizada utilizando túneis - enlaces virtuais ponto-a-ponto entre os roteadores que possibilitam a transmissão dos datagramas de difusão seletiva entre os roteadores que não suportam esta forma de endereçamento, utilizando para isso encapsulamento dos datagramas de difusão seletiva dentro de datagramas *unicast*.

Os *mrollers* têm a responsabilidade de replicar e distribuir os quadros de dados de difusão seletiva para os túneis que conduzem a estações participantes do grupo e para a rede local, caso exista um membro daquele grupo nela. Quando um datagrama é enviado por uma estação, que o coloca na rede local, ele é apanhado pelo *mrouter* da sub-rede. O roteador consulta sua tabela de roteamento e transmite o datagrama para os túneis que conduzem a membros do grupo. No outro lado do túnel, o outro roteador recebe os datagramas e consulta sua tabela de roteamento para decidir se o pacote deve ser enviado para algum outro túnel e se há alguma estação em sua sub-rede que está inscrita neste endereço, colocando-o então na sub-rede local para ser recebido pela estação.

3.1 Mecanismos Utilizados nos Túneis

Para enviar um datagrama através de um túnel, ele deve ser empacotado dentro de um datagrama IP *unicast*, de modo a ser compreendido pelos nodos físicos pertencentes ao túnel. O MBone utiliza duas formas de *tunneling* dos pacotes de difusão seletiva IP: utilizando a opção IP *Loose Source and Record Route* (LSRR) e utilizando encapsulamento IP. A forma LSRR foi utilizada nas primeiras implementações de *mrollers*, até março de 1993. Com ela, os roteadores modificavam o datagrama de difusão seletiva originário de uma estação acrescentando a opção LSRR para o cabeçalho do pacote IP, movendo o endereço IP destino de difusão seletiva para a rota de origem e modificando o endereço IP destino para o endereço *unicast* do *mrouter* no outro lado do túnel. No outro lado do túnel, o roteador restaurava o endereço destino original (o endereço de difusão seletiva) e removía a rota de origem antes de enviar o datagrama adiante.

Esta forma de implementação apresentava porém algumas deficiências [ERI 94], de modo que foi estudado e implantado um novo método de *tunneling*, desta vez utilizando encapsulamento real ao invés da opção LSRR. No novo método, o pacote de difusão seletiva original é colocado dentro da parte de dados de um datagrama IP normal, que é endereçado para o *mrouter* no outro lado do túnel com o campo *protocolo* do datagrama contendo o valor 4, indicando que o próximo protocolo é IP. Este roteador, por sua vez, retira o encapsulamento e envia o datagrama adiante. Esta forma de implementação é utilizada na maioria dos túneis da Internet hoje, que são também compatíveis com os roteadores que ainda usam a opção LSRR [KUM 95].

Os túneis possuem associados a eles algumas variáveis, que são utilizadas para controle. Uma delas é a métrica. A métrica especifica o custo de roteamento que é usado pelo protocolo de roteamento, definindo assim túneis primários e túneis de reserva. Assim, quando um roteador recebe um datagrama de uma de suas estações ele analisa o caminho de menor custo para cada um dos túneis associados a ele e envia o datagrama pelo túnel escolhido: o túnel primário. Quando este túnel cai, ele envia o datagrama pelo túnel de reserva. A

figura a seguir apresenta um exemplo de uma rede com túneis de diferentes métricas [ERI 94]. Na rede exemplificada pela figura, em situações normais o túnel entre os roteadores R1 e R3 não será usado, já que o custo associado a ele é 3, contra o custo de 2 utilizando os túneis R1-R2 e R2-R3.

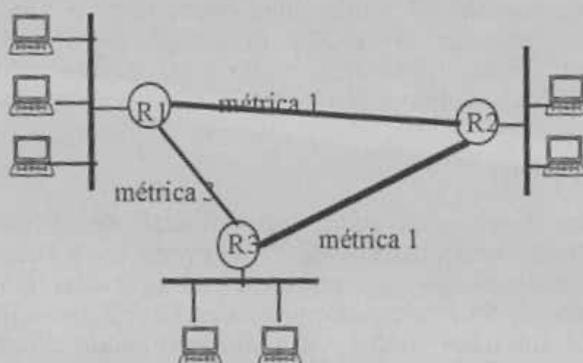


Figura 1 - Rede com túneis de diferentes métricas

Além da métrica, outra variável que é utilizada na configuração dos túneis é o *threshold*, que é usado para limitar o escopo de distribuição dos pacotes de difusão seletiva. O *threshold* representa o *time-to-live* (TTL) mínimo que um datagrama precisa para ser transmitido através de um dado túnel. Cada pacote que é enviado de uma estação para a rede local possui um TTL específico, selecionado através da aplicação utilizada, que é decrementado em uma unidade a cada *mrouter* que o pacote passa. Se o TTL de um pacote apresentar um valor menor que o *threshold* do túnel pelo qual o roteador deseja enviar o pacote, o pacote é descartado.

Assim, existem alguns valores que são geralmente utilizados pelas aplicações para o TTL, em função dos valores de *threshold* que são associados de modo padrão aos túneis. O valor 16, por exemplo, limita o tráfego da difusão seletiva para dentro de organizações, já que para os túneis entre organizações é utilizado *threshold* 32, assim como o valor 127 no TTL é utilizado para transmissões intercontinentais, já que se utiliza *threshold* 64 para túneis que interligam continentes.

Os túneis possuem também algumas outras variáveis, tais como a opção *rate-limit*, que possibilita definir o valor máximo da largura de banda que pode ser utilizado para o tráfego de difusão seletiva, e a opção *boundary*, que permite que seja definida uma fronteira para um endereço específico, que não permitirá que os pacotes deste endereço sejam transmitidos numa determinada interface definida.

Além do controle oferecido pelo TTL associado ao *threshold* dos túneis sobre a distribuição dos datagramas de difusão seletiva pela Internet, existe também uma outra forma de limitar esta distribuição: o uso de *pruning*. Nas primeiras fases do Mbone, os pacotes eram roteados apenas utilizando o controle disponibilizado pelo TTL, e o único controle de distribuição relacionado ao interesse de estações receberem os pacotes era feito nos nodos folhas das árvores de distribuição seletiva, onde o *mrouter* local somente colocava o datagrama na rede local se alguma estação participava daquele grupo. Eram os chamados túneis truncados, numa forma de distribuição conhecida como *truncated broadcast*. Como resultado, muitos *mrollers* que não possuíam membros do grupo nem sua rede local nem em túneis inferiores na árvore de distribuição recebiam todo um tráfego relacionado ao grupo desnecessário, consumindo grande largura de banda desnecessariamente. Assim, foi estudado um mecanismo mais eficiente, que é utilizado na maioria dos túneis hoje em dia, onde o interesse em receber os datagramas de cada grupo fosse considerado, criando os chamados túneis *pruned* (podados).

Nestes tipos de túneis, quando um *mrouter* recebe um pacote para um grupo do qual nenhuma estação ou *mrouter* vizinho participa, ele descarta o pacote e envia um sinal para o roteador no nível acima da árvore de difusão seletiva (o *mrouter* do qual ele recebeu o datagrama) informando que não deseja os pacotes com aquele endereço. O roteador do nível acima interpreta a mensagem e para de enviar os pacotes por aquele túnel. Se, posteriormente, o *mrouter* detecta, através de suas mensagens IGMP, que uma estação deseja participar do grupo que foi eliminado, ele envia um sinal para o roteador acima informando que deseja receber os pacotes novamente, e a transmissão é reiniciada normalmente, respeitando porém ainda o controle oferecido pelo campo TTL.

3.2 Protocolos de Roteamento

Como o uso de difusão seletiva não é compreendido em todos os roteadores da Internet, a topologia do Mbone e da Internet são diferentes, e os roteadores de difusão seletiva precisam executar um protocolo de roteamento que descubra sua própria topologia, a fim de identificar para onde enviar os datagramas.

Um dos protocolos de roteamento mais utilizado no Mbone é o *Distance Vector Multicasting Routing* (DVMP), desenvolvido por Steve Deering. Existe uma versão do protocolo DVMP apresentada em [DEE 88], porém os roteadores utilizam uma versão diferente da versão deste documento, possuindo diferenças quanto ao formato dos pacotes, aos tipos de pacotes adicionais, etc [CAS 95].

Os roteadores baseados no DVMP mantêm o conhecimento topológico através de um protocolo de roteamento *distance-vector*, como o *Routing Information Protocol* (RIP), sobre o qual é implementado um

algoritmo de transmissão com difusão seletiva chamado *Truncated Reverse Path Broadcasting* [KUM 95]. Com o DVMRP, a topologia do MBone é tratada como um domínio único. Cada roteador mantém uma entrada na tabela de roteamento para cada sub-rede no MBone e troca mensagens de roteamento periodicamente com cada um de seus vizinhos identificando todas as sub-redes. Como o número de sub-redes tem crescido exponencialmente, o custo de roteamento cresce também exponencialmente, e os recursos de memória e processamento estão ficando sobrecarregados [DEE 95].

Este problema já é conhecido no roteamento *unicast*, e tem como solução o uso de roteamento hierárquico, onde a topologia é particionada logicamente em um número de domínios separados, cada um executando sua própria instância do protocolo de roteamento. Outro protocolo de roteamento, ou mesmo outra instância do mesmo protocolo são utilizados para o roteamento entre domínios. A informação da topologia de cada domínio é mantida somente pelo protocolo de roteamento daquele domínio, enquanto que o protocolo entre domínios mantém informações somente sobre as interconexões dos domínios, não possuindo conhecimento das topologias internas. Com a aplicação de particionamento hierárquico recursivamente, é possível realizar o roteamento de uma grande área topológica com pequena quantidade de informação mantida em cada roteador.

Existe uma proposta do uso de roteamento hierárquico para o MBone, proposta por Thyagarajan e Deering em [DEE 95], usando inicialmente hierarquia de dois níveis de regiões. No roteamento de difusão seletiva dentro das regiões pode ser utilizado uma série de protocolos, inclusive o DVMRP, enquanto que no roteamento entre as regiões deve ser utilizado uma versão modificada do DVMRP, que calcula rotas de difusão seletiva entre as regiões ao invés de entre as sub-redes.

O uso de roteamento hierárquico traz uma série de outros benefícios além da diminuição topológica armazenada em cada roteador. Diferentes protocolos podem ser utilizados dentro das regiões, que utilizarão uma interface clara entre elas, eliminando os problemas gerados pela mistura de diferentes protocolos de roteamento e permitindo que novos protocolos sejam testados e desenvolvidos. Mudanças da topologia, como a falha de um enlace ou roteador, são detectadas somente entre os roteadores da mesma região, da mesma forma que mudanças na topologia das interconexões das regiões são limitadas aos roteadores entre regiões, o que é particularmente benéfico para o uso do DVMRP, que pode demorar longo tempo para detectar as mudanças topológicas. E, por fim, o limite de diâmetro máximo de topologia imposto por alguns protocolos de roteamento, como o DVMRP, pode ser relaxado, já que diferentes instâncias do protocolo são utilizadas para diferentes partes da rede e o limite se relaciona somente com estas partes [DEE 95].

Outro protocolo de roteamento de difusão seletiva é o *Multicast Open Shortest Path First* (MOSPF) [MOY 94][MOY 94a], a extensão para difusão seletiva do protocolo de roteamento *IP Open Shortest Path First* (OSPF), que é baseado no estado dos enlaces, diferente do RIP, que é baseado na contagem dos nodos.

O MOSPF transmite os datagramas IP de difusão seletiva da origem para os vários membros do grupo sem formar laços, gerando uma árvore. Esta árvore tem como raiz o nodo origem do datagrama, e todos os braços terminam em membros do grupo. Seguindo a filosofia da difusão seletiva, o datagrama é replicado apenas quando surge uma divisão, um braço, na árvore. Este esquema de roteamento, onde o caminho dos datagramas depende da origem e dos destinos dos datagramas, já que a árvore possui raiz na origem, é diferente da maioria dos algoritmos de roteamento *unicast*, incluindo o OSPF, que se baseiam somente no destino do datagrama para o roteamento. A necessidade de considerar a origem para tomar as decisões do roteamento causa maior quantidade de cálculos de roteamento, porém resulta em melhores caminhos em termos de utilização da rede e menor retardo para membros individuais do grupo. O protocolo, porém, não necessariamente otimiza o uso da rede como um todo.

No MOSPF, assim como no OSPF, os datagramas são marcados com a sua classificação do *Type of Service* (TOS), baseada em um dos cinco valores mutuamente exclusivos *minimize delay*, *maximize throughput*, *maximize reliability*, *minimize monetary cost* e *normal service*. O caminho do datagrama de difusão seletiva no MOSPF pode variar de acordo com a classificação TOS utilizada [MOY 94]. Por exemplo, um tráfego de uma difusão seletiva sensível ao retardo pode seguir rotas diferentes de uma aplicação de difusão seletiva de alta vazão. A classificação TOS no protocolo MOSPF é, assim como no OSPF, opcional, e os roteadores que a suportam podem ser misturados livremente com os que não a suportam.

O MOSPF possui como vantagem sobre o DVMRP um aumento de estabilidade. A tecnologia de estado dos enlaces do MOSPF converge mais rapidamente e com menos inclinação a laços durante o tempo de convergência que o DVMRP, que sofre dos mesmos problemas que o protocolo RIP quando em face de mudanças na topologia de uma rede com topologia redundante [MOY 94].

Algumas implementações do protocolo MOSPF incluem a implementação do protocolo DVMRP, utilizado em grande parte dos roteadores pertencentes ao MBone, e possibilitam que as informações de roteamento sejam passadas entre os dois protocolos de roteamento. Desta forma, os Sistemas Autônomos executando o MOSPF podem fazer parte do MBone [MOY 94].

Os mecanismos de roteamento de difusão seletiva do protocolo DVMRP e MOSPF são apropriados para uso em regiões onde os grupos possuem muitos participantes e há vasta largura de banda disponível. Estes esquemas, porém, não são muito eficientes quando os membros de um grupo e os transmissores para este grupo estão distribuídos de modo esparsa numa ampla área. O tráfego de dados de difusão seletiva (no DVMRP) ou o relatório de informação dos membros do grupo (no MOSPF) são periodicamente enviados sobre muitos enlaces que não conduzem a membros do grupo [KUM 95].

Existe um protocolo que foi desenvolvido com o objetivo de estar apto para rotear pacotes de difusão seletiva sem ser dependente dos esquemas de roteamento IP *unicast* básicos: o *Protocol Independent*

Multicasting (PIM) [DEE 95a][DEE 95b]. O PIM possui dois modos: o *Sparse Mode PIM*, que é otimizado para um grupo que está distribuído em diferentes regiões da Internet, e o *Dense Mode PIM*, protocolo otimizado para grupos com membros próximos.

O modo *Dense Mode PIM* utiliza uma técnica denominada *Reverse Path Multicasting (RPM)*, onde um datagrama de difusão seletiva é transmitido apenas se a interface de recebimento do datagrama é a interface que seria utilizada para enviar datagramas *unicast* para o nó origem do pacote. Nestes casos, o datagrama de difusão é enviado para todas as outras interfaces [DEE 95e]. Este modo é dirigido a dados: um nó cria uma entrada de transmissão de difusão seletiva para uma particular árvore de distribuição com raiz na origem quando o pacote de dados vindo daquela origem para aquele grupo chega pela primeira vez. Na criação desta entrada é assumido que todos os nós inferiores a eles na árvore de transmissão desejam receber os datagramas, e este é enviado para todos eles.

Em grupos com muitos participantes ou em redes onde há largura de banda abundante esta linha de comportamento, que supõe interesse dos nós inferiores pelo grupo, é eficiente. Nas áreas da rede onde não houverem membros do grupo ou os participantes deixarem o grupo, a árvore de transmissão terá os seus braços correspondentes a estas áreas podados, graças ao esquema de poda que é utilizado pelo protocolo.

O *Dense Mode PIM*, como apresentado acima, utiliza distribuição dos dados para todos os roteadores da rede para estabelecer as árvores de distribuição dos grupos. Diferente deste, o modo *Sparse Mode PIM* prefere tentar conter a distribuição dos dados para o número mínimo de roteadores da rede. Este modo difere dos outros esquemas de difusão seletiva IP em dois pontos fundamentais [DEE 95e].

O primeiro ponto diz respeito ao envio explícito de mensagens de associação a grupos feito pelos roteadores que possuem membros do grupo em sua rede local ou em roteadores inferiores. Estas mensagens inserem o roteador na árvore de distribuição, e só assim este passa a receber os datagramas.

A segunda diferença se situa no fato de que, enquanto a construção da árvore de difusão seletiva do *Dense Mode PIM* é orientada aos dados, a construção da árvore do modo *Sparse Mode PIM* deve ser feita através do grupo para que os receptores identifiquem novas origens para os datagramas do grupo. Pontos de associação são utilizados pelos nós remetentes de um novo datagrama para anunciar sua existência e pelos nós receptores para aprenderem sobre estas novas origens.

As informações relacionadas à árvore de menor custo mantida pelos roteadores é parecida com as informações de transmissão mantidas pelos roteadores de outros protocolos de difusão seletiva IP, como o MOSPF, englobando o nó origem, o endereço do grupo, o conjunto de interfaces de saída e a interface de recebimento dos datagramas.

Os roteadores que utilizam o PIM entendem pacotes IP de difusão seletiva no seu modo natural, além de que túneis não são mais necessários para rotear tráfego entre eles. O uso de túneis será utilizado apenas quando forem integrados roteadores DVMRP [KUM 95].

3.3 Protocolo de Transporte

Acima do nível de rede, onde o MBone utiliza um protocolo de roteamento de difusão seletiva, o MBone utiliza, no nível de transporte, o protocolo *User Datagram Protocol (UDP)*, diferente do tradicionalmente usado em redes TCP/IP para aplicações interativas *Transmission Control Protocol (TCP)*. O TCP é um protocolo orientado-a-conexão confiável, enquanto que o UDP não fornece quase nenhum controle. O motivo para o uso do UDP, porém, é exatamente que o controle de fluxo e a confiabilidade oferecidos pelo TCP não são adequados para, por exemplo, transmissão de áudio ao vivo.

A transmissão de quadros de dados multimídia em tempo real requer transporte com baixo *overhead*. A perda de pacotes ocasional gerada pelos usuários do UDP é aceitável, enquanto que o retardo de retransmissão, ocasionada pelo uso do TCP, não é aceitável para conferências interativas. Além disso, o protocolo TCP não pode ser facilmente utilizado para realizar difusões seletivas [ERI 94]. Entretanto, como o UDP é um protocolo não confiável, não há garantia de ordenação e não duplicação dos pacotes, sendo assim necessário algum suporte de programação no nível de aplicação a fim de garantir estas características ao usuário final.

Muitas aplicações multimídia que transmitem dados em tempo real, como áudio e vídeo, utilizam para suas transmissões *unicast* e com difusão seletiva o protocolo *Real Time Transport Protocol (RTP)* [SCH 96] sobre o protocolo UDP. É o caso de aplicações do MBone como a VIC e a NV, aplicações de vídeo, que utilizam a versão dois do protocolo. O protocolo fornece funções de transporte de rede fim-a-fim tais como identificação da carga, numeração de seqüência e carimbo de temporização (*timestamp*), porém, não efetua reserva de recursos, nem garante a qualidade para serviços de tempo real. É utilizado geralmente pelas aplicações sobre o protocolo UDP, a fim de utilizar os serviços de multiplexação e controle de erro.

Junto a ele, é utilizado o protocolo *RTP Control Protocol (RTCP)* [SCH 96], que possibilita a monitoração da entrega de dados para grandes redes de difusão seletiva e fornece funcionalidades de identificação e controle mínimas. Este protocolo se baseia na transmissão periódica de pacotes de controle de todos os participantes de uma sessão, utilizando o mesmo mecanismo de distribuição dos pacotes de dados. Ambos protocolos, assim, contribuem para funcionalidades de protocolo de transporte.

O protocolo RTP não fornece nenhum mecanismo para garantir tempo de entrega ou reordenação de pacotes, características que, como foi visto, são decorrentes do protocolo UDP, utilizado no MBone. Porém, com as informações de temporização e número de seqüência incluídas no cabeçalho do protocolo RTP, a aplicação receptora dos datagramas pode reconstruir a temporização da origem e a seqüência de pacotes

enviada, podendo também estimar a quantidade de pacotes perdidos. Com a numeração de seqüência, é possível também que seja determinada a correta localização de um pacote sem necessariamente decodificar os pacotes em seqüência, como em decodificações de vídeo.

Na utilização do RTP para conferências com transmissões de áudio com difusão seletiva, é selecionado um endereço de difusão seletiva para o grupo e duas portas, uma utilizada para os datagramas de dados de áudio e outra utilizada para controle dos pacotes, com o protocolo RTCP. Este controle é utilizado para identificar os participantes de uma sessão a cada momento, assim como identificar como estes participantes estão recebendo os dados, fatores necessários em conferências de difusão seletiva já que os membros de um grupo entram e saem deste grupo durante a transmissão.

Assim, cada aplicação de áudio na conferência envia periodicamente, com difusão seletiva na porta de controle, uma notificação de que está recebendo os dados, informando o nome do usuário participante e como está a qualidade dos dados recebidos. Quando uma estação deixa o grupo da conferência, envia um pacote do tipo RTCP BYE para a origem, notificando que não é mais participante do grupo.

Em conferências onde é utilizado áudio e vídeo, os meios são transmitidos como sessões separadas. Os pacotes RTCP são transmitidos para cada meio utilizando dois endereços classe D e dois pares de portas UDP diferentes. Não há ligação direta no nível RTP entre as sessões de áudio e vídeo, exceto que o participante em ambas as sessões deveria utilizar o mesmo nome (nome que distingue a conferência) nos pacotes RTCP para áudio e vídeo, de modo que as sessões possam ser associadas.

3.4 Aplicações

Atualmente, existem poucas classes de aplicações no Mbone, que se concentram principalmente em áudio, vídeo e documento compartilhado, além das ferramentas de anúncio de sessão. Estas ferramentas são utilizadas para criar, reservar e anunciar as sessões de difusão seletiva que são utilizadas para transmitir eventos. No momento da criação, é reservado um endereço e várias portas para o evento, uma porta para cada mídia. Uma vez criados, estes endereços ficam reservados para o evento por um período de tempo determinado na criação.

Além de serem utilizadas pelas estações responsáveis pela transmissão de um evento, as aplicações de anúncio de sessão são também utilizadas pelos usuários que desejam participar de grupos específicos. A ferramenta anuncia todos os eventos que estão sendo transmitidos no momento, identificando-os pelos seus nomes, e fornece informações tais como a descrição do evento, o período de transmissão, os meios de mídia utilizados pelo evento e os endereços e portas reservados para cada uma das mídias. Em posse destas informações, o usuário pode escolher quais os grupos que deseja participar, e se associar a eles automaticamente pela ferramenta, bastando solicitar que as mídias sejam ativadas. Entre as principais aplicações de anúncio de sessão do Mbone estão a *Session Directory* (SDR) e a *Multimedia Conference Control* (MMCC) [KUM 95].

A aplicação SDR, que pode ser obtida por *FTP* em [XER 97], é apresentada na figura abaixo. Na figura, é possível visualizar a janela principal onde são apresentadas as sessões que estão sendo transmitidas no momento. No exemplo da janela capturada, existiam diversos eventos sendo transmitidos, alguns permanentes, como o Mbone RTP Audio, outros temporários, como o NASA-Space Shuttle STS-80 Coverage. Com a seleção de um evento, são apresentadas as informações sobre ele e as mídias utilizadas na transmissão podem ser ativadas automaticamente. Além disso, a SDR também apresenta um calendário dos eventos no Mbone já criados, mesmo que ainda não estejam no período de transmissão.

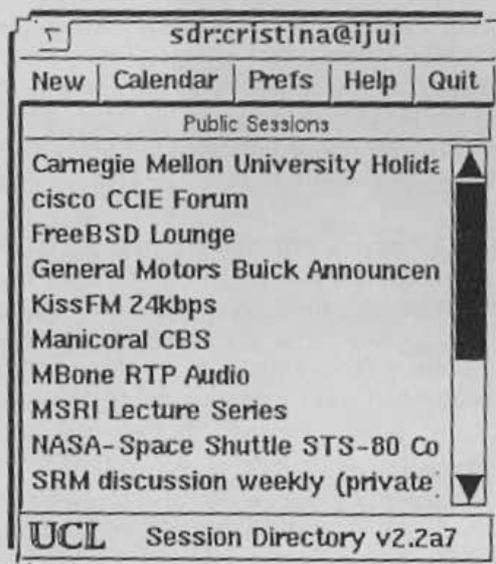


Figura 2 - A aplicação *Session Directory* (SDR)

As outras classes de aplicações do Mbone são utilizadas para a transmissão das mídias pelas quais o

evento está sendo transmitido. Muitas destas aplicações podem ser obtidas por *FTP Anonymous* na Internet, podendo ser encontrada uma relação de diversas aplicações em [KUM 97].

Entre as aplicações usadas para áudio, podemos citar a *Visual Audio Tool (VAT)*, a *Network Voice Terminal (Nevot)*, a *INRIA Videoconferencing System (IVS)* e a *MAVEN* [KUM 95]. Estas ferramentas suportam diversos padrões de compressão de áudio, tais como o *Pulse Code Modulation (PCM)*, o *Adaptative Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)*, o *General Special Mobile (GSM)* e o *Linear Predictive Coder (LPC)*. Estas ferramentas são utilizadas facilmente, necessitando apenas, em estações apenas receptoras, de um alto-falante ou caixas de som. Permitem que sejam identificados os membros participantes do grupo e fornecem ainda informações sobre eles.

As aplicações de vídeo são também utilizadas facilmente, não necessitando de nenhum equipamento adicional na estação receptora. Utilizam vários algoritmos de compressão, que comprimem os quadros de vídeo de forma bastante significativa numa taxa de até 20:1 [TRE 96]. Entre as ferramentas de vídeo podemos citar a *Videoconference (VIC)*, a *NetVideo (NV)* e a *INRIA Videoconferencing System* (utilizada também para áudio).

A aplicação *VIC* [LBL 97] pode ser visualizada abaixo. Na figura, são apresentadas a janela principal da aplicação (a) e a janela de vídeo aumentada (b). A janela principal apresenta a imagem de vídeo em forma diminuída e informações sobre a transmissão, tais como nome, nodo de origem, método de compressão utilizado, taxa de frames e velocidade dos datagramas.



Figura 3 - Aplicação de vídeo *Videoconference (VIC)*

Por fim, além das aplicações de áudio e vídeo, temos entre as principais aplicações do Mbone as aplicações de documentos compartilhados. Estas ferramentas permitem que os membros de um grupo compartilhem documentos em tempo real, possibilitando que sejam efetuadas anotações sobre estes a qualquer momento da transmissão. São especialmente indicados para transmissões de conferências e aulas de ensino a distância, já que podem ser utilizados como um retroprojeter virtual. Assim, cópias de transparências de uma apresentação para o público local podem também ser apresentadas para os membros virtuais da conferência.

Entre as principais aplicações desta classe está a *WhiteBoard (WB)* [LBL 97], aplicação que pode ser executada mesmo em condições de pequena quantidade de largura de banda da rede, atingindo uma vazão muito menor que as aplicações de áudio e vídeo [KUM 95]. Com a WB, podem ser compartilhados documentos em texto ASCII, desenhos, anotações a mão livre e páginas em PostScript, com um controle informal, onde todos os participantes podem fazer anotações no documento, desde que o membro criador da sessão não tenha selecionado a opção que não transmite alterações de outros membros.

4. A Rede do Mbone no Brasil

Atualmente, a rede do Mbone no Brasil é formada por dois grupos de túneis. Um dos grupos de túneis tem origem em São Paulo, no roteador `lsi.poli.usp.br`, que se interliga com o nodo `dec3800.1-fddi-0.WestOrange.mci.net` nos EUA, e, o outro, tem origem no Rio de Janeiro, no roteador `ceop4.rederio.br` que se interliga com o nodo `mbone.cerf.net` também nos EUA. A partir de São Paulo, os principais túneis saem para Campinas (de onde parte um túnel para São Carlos), e para Brasília, de onde partem túneis para Recife e Porto Alegre (onde há ainda um túnel para Passo Fundo). A partir do Rio de Janeiro, há um túnel para Florianópolis. Estes são os principais túneis, havendo ainda alguns

túneis com outros laboratórios e organizações nas mesmas cidades. Esta topologia não é fixa: os túneis citados foram detectados em dezembro de 1996, com as ferramentas *mrinfo* e *map-mbone* [KUM 95], podendo ser inseridos e removidos túneis para outras cidades a todo momento. A figura abaixo apresenta estes principais túneis, indicando a métrica e *threshold* associados a cada um destes.

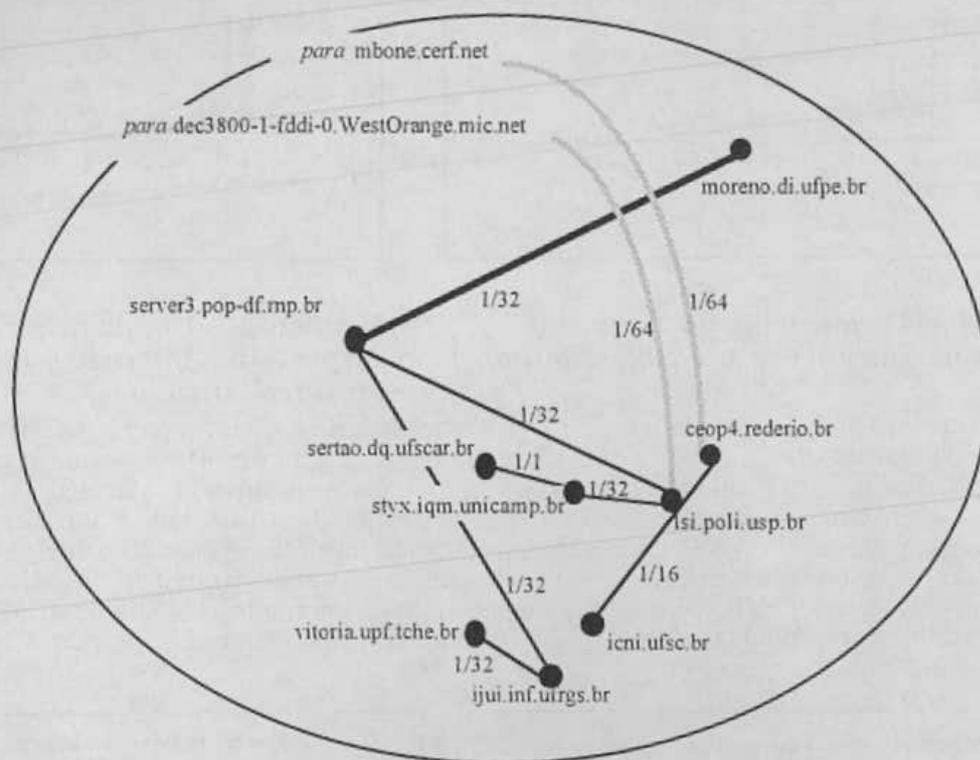


Figura 4 - Principais túneis do Mbone no Brasil

Para que uma nova organização se conecte ao Mbone, ela deve contatar o nodo do Mbone mais próximo a si. Para descobrir este nodo, pode ser consultada a lista de discussão do Mbone no Brasil, no endereço `mbone-l@nce.ufrj.br`.

5. Pesquisa da Variação dos Tempos de Resposta

Uma pesquisa foi realizada sobre o impacto dos serviços do Mbone nos canais de comunicação, sendo consultados os tempos de resposta de um nodo pertencente a Intranet e um pertencente a Internet. Foi efetuado um conjunto de testes pelo período de uma semana, onde o tempo foi consultado para três condições: (i) sem o *daemon mrouted*, (ii) com o *daemon mrouted* ativado, e (iii) com uma aplicação de vídeo sendo utilizada. Ao longo da semana, para períodos fixos do dia, foram realizadas sessões de amostragem de 10 minutos de duração cada, à taxa de uma consulta por segundo, totalizando 600 tempos de resposta coletados por sessão.

Abaixo, apresentamos os dados obtidos relativos a uma sucessão de três sessões de amostragem realizada em um único dia. Cada sessão se destina a extrair os tempos de resposta fornecidos pela Internet e Intranet para uma determinada condição entre as acima mencionadas (i, ii, iii). Os dados obtidos em tal sucessão estão representados pelos gráficos 1-6 através da distribuição de frequência do tempo de resposta obtido por uma estação da mesma sub-rede da estação que implementa o *mrouted*, frente aos nodos da Intranet e Internet. Devido à grande dispersão dos tempos obtidos, tornou-se necessário desconsiderarmos os valores extremos ao traçarmos os gráficos, pois estes pouco ou nada contribuíam para a inteligibilidade dos mesmos; os valores assumidos para as abscissas estão compreendidos no intervalo entre a média e dois e meio desvios padrões. Ressaltamos que estes valores extremos foram desconsiderados somente ao traçarmos os gráficos, não ocorrendo o mesmo para o cálculo das médias ou desvios, que teve um tratamento estatístico, apresentado posteriormente, semelhante ao restante do conjunto de testes.

Inicialmente, foi consultado o tempo de resposta sem o *daemon mrouter* ativado, representando assim

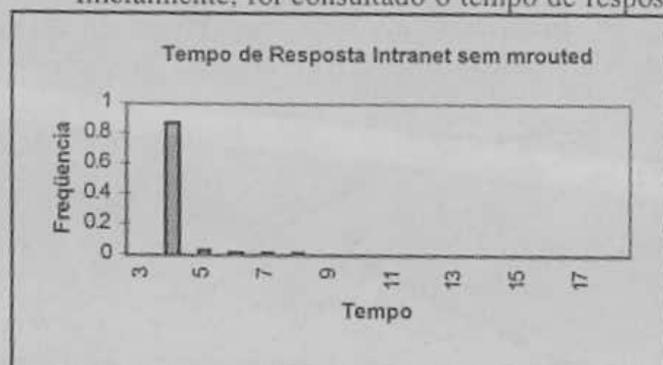


Gráfico 1 - Frequências do tempo de resposta na Intranet sem *daemon mrouter* ativado

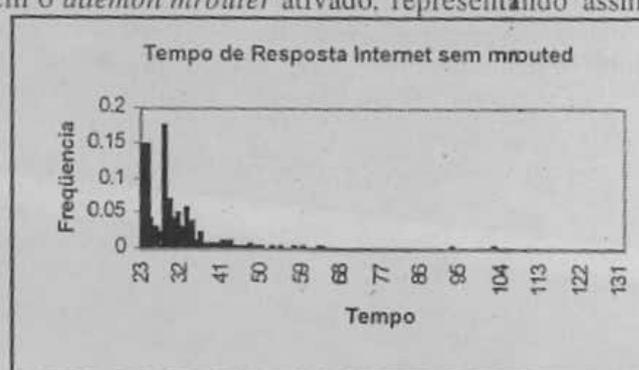


Gráfico 2 - Frequências do tempo de resposta na Internet sem *daemon mrouter* ativado

uma rede sem acesso ao MBone (gráficos 1 e 2). Os dados desta consulta apresentaram um tempo médio de 4,23s com desvio padrão de 1,01 para a Intranet e um tempo médio de 30,048s com desvio padrão de 7,444 para a Internet. Foi também realizada a pesquisa com o *daemon* ativado, que deu origem aos dados dos gráficos 3 e 4, com tempo médio de 5,042s e desvio padrão de 4,749 para a Intranet e tempo médio de 29,23s com desvio padrão de 6,869 para a Internet. E, por fim, foi consultado o tempo de resposta quando estava havendo a participação em um evento que possui várias transmissões de vídeo, sendo utilizada a aplicação *VideoConference* (VIC). Esta última consulta apresentou tempo médio de 4,798 com desvio padrão de 2,144 para a Intranet e tempo médio de 32,807 com desvio padrão de 13,568 para a Internet.

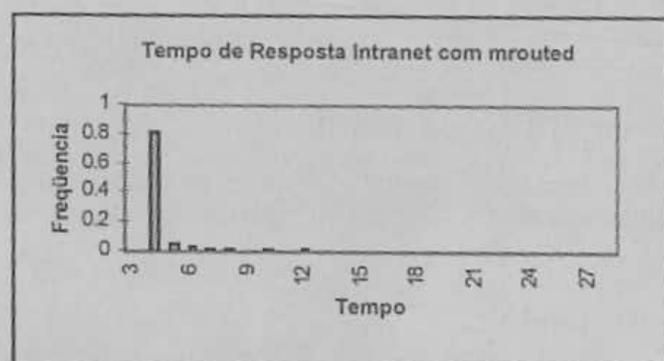


Gráfico 3 - Frequências do tempo de resposta na Intranet com o *daemon mrouter* ativado

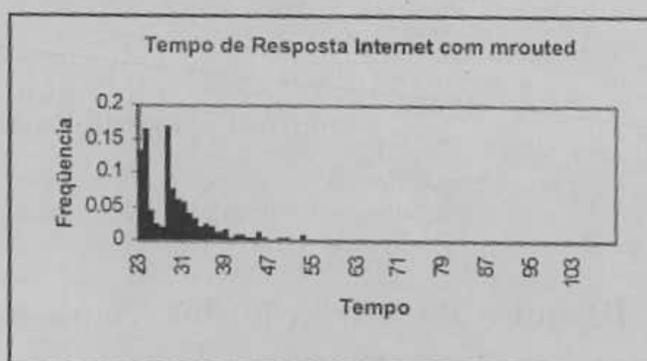


Gráfico 4 - Frequências do tempo de resposta na Internet com o *daemon mrouter* ativado

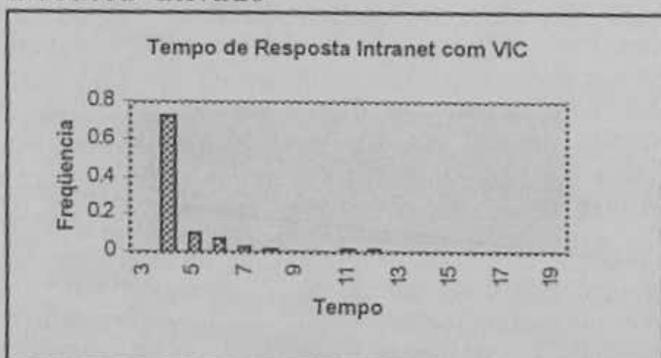


Gráfico 5 - Frequências do tempo de resposta na Intranet com o uso da aplicação VIC

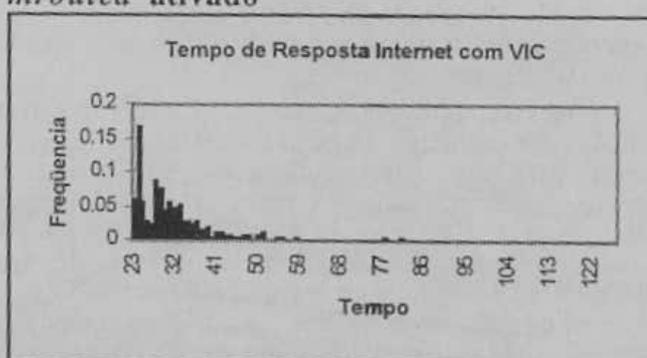


Gráfico 6 - Frequências do tempo de resposta na Internet com o uso da aplicação VIC

As curvas de distribuição de frequência dos gráficos acima possuem uma distribuição bem semelhante à exponencial, possuindo um desvio padrão significativo.

Os dados abaixo referem-se também às demais sucessões de medidas feitas. Apresentamos a distribuição dos tempos de resposta obtidos durante todo o conjunto de testes realizado. A fim de tornar os dados mais representativos, cada teste efetuado teve 0,5% dos tempos extremos desconsiderados, o equivalente a 3 tempos de resposta do total de 600 por sessão.

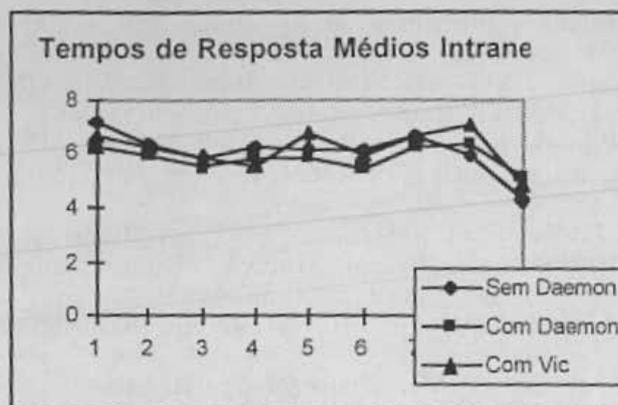


Gráfico 7 - Tempos de resposta médios na Intranet

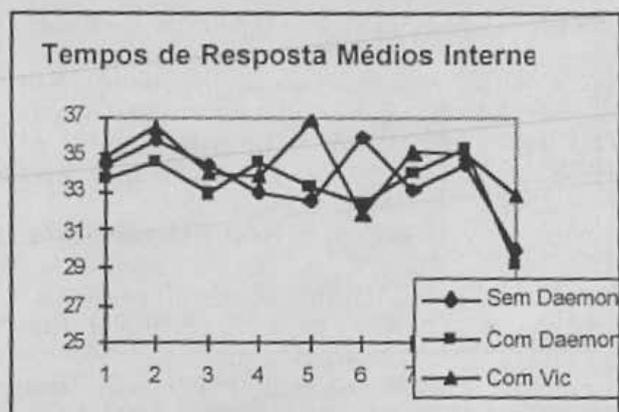


Gráfico 8 - Tempos de resposta médios na Internet

As médias e desvios obtidos nas sessões de amostragens não apresentaram grandes diferenças, seja em presença do *daemon mrouter*, seja na sua ausência. O mesmo acontece para a curva de distribuição de frequências, que permanece praticamente inalterada de uma sessão de amostragem para outra.

A partir destes gráficos, pode-se concluir que a presença do *mrouter* não parece causar uma grande perturbação nos tempos de respostas da rede, o que talvez se explique pelo esquema de *pruning* utilizado nos túneis.

Da mesma forma, com o uso de sessões de vídeo não foi observado impacto do tráfego MBone na



Gráfico 7 - Variação do tráfego na rede com e sem o uso da VIC

Intranet porque, no caso da rede da Universidade, a concepção distribuída leva à existência de tráfego bem baixo no *backbone*. Portanto, o acréscimo devido ao MBone não leva a que seja ultrapassado o limiar dos 30% de tráfego Ethernet o que na prática resulta em impacto insignificante de cada parcela de tráfego uma sobre a outra.

No caso Internet, a rota do MBone segue via Brasília e o tráfego no canal Porto Alegre-Brasília também comporta o adicional gerado pelo MBone.

Em conclusão, pelas medidas efetuadas, pode-se verificar que o aumento do tráfego decorrente do MBone pode ser absorvido numa rede Ethernet com tráfego abaixo do limiar de 30% e em enlaces E1 com menos de 25% de carga, sem que seja observado impacto significativo sobre o tráfego restante em tais canais.

6. Conclusões

O MBone, já utilizado com frequência na Internet, é uma importante e atraente alternativa de suporte para aplicações de videoconferência em Intranets. Conforme foi visto ao longo deste trabalho, possibilita a racionalização dos recursos envolvidas, seja largura de banda seja tempo de processamento gasto no encaminhamento dos pacotes, graças as facilidades obtidas com o uso de difusão seletiva nas transmissões. E proporciona reuniões virtuais entre os membros da corporação, que se tornam mais produtivas graças a possibilidade de áudio e vídeo sincronizado; acesso a conferências mundiais para os funcionários sem necessidade de locomoção; divulgação de materiais e palestras da corporação para centenas de usuários da rede MBone, que podem ser realizadas controlando a abrangência da transmissão, graças à escolha do correto TTL; além de muitas outras aplicações na empresa para o suporte oferecido pela estratégia de transmissão.

Neste contexto, mais pesquisas sobre o impacto dos serviços do MBone nos canais de comunicação são necessárias. Trabalhos futuros tal como este aqui apresentado devem ser conduzidos para permitir melhor avaliar os impactos do MBone nas redes envolvidas.

Referências Bibliográficas

- [CAS 92] CASNER, S., DEERING, S. **First IETF Internet Audiocast**, ACM SIGCOMM Computer Communications Review, San Diego - California, jul.1992, pp. 92-97.
- [CAS 95] CASNER, S. et al. **Frequently Asked Questions (FAQ) on Multicast Backbone (MBONE)**, dez. 1995. Documento disponível em <http://www.research.att.com/mbone-faq.html>
- [COM 91] COMER, D.E. **Internetworking with TCP/IP**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, Vol. 1, 1991
- [DEE 88] DEERING, S. et al. **Distance Vector Multicasting Routing Protocol**. Request For Comment 1075, nov. 1988
- [DEE 89] DEERING, S. **Host Extensions for IP Multicast** Request For Comment 1112, ago. 1989
- [DEE 95] DEERING, S., THYAGARAJAN, A. **Hierarchical Distance-Vector Multicast Routing for the MBone**. Proceedings of ACM SIGCOMM'95 Conference, pp60-66, 1995.
- [DEE 95a] DEERING, S. et al. **Protocol Independent Multicast (PIM): Motivation and Architecture**. Internet Draft, jan. 1995.
- [DEE 95b] DEERING, S. et al. **Protocol Independent Multicast (PIM): Protocol Specification**. Internet Draft, jan. 1995.
- [ERI 94] ERIKSSON, H. **MBONE: The Multicast Backbone**. Communications of the ACM, Vol. 37 #8, ago. 1994, pp. 54-60
- [KUM 95] KUMAR, V. **MBone: Interactive Multimedia on the Internet** Indianapolis: New Riders Publishing. 1995 232p.
- [KUM 97] KUMAR, V. **The MBone Information Web**. Patrocinado por ICAST Communications, Inc. Disponível em <http://www.mbone.com/mbone/mc-soft.html>, 1997.
- [LBL 97] Anonymous FTP service from Network Research Group at the Lawrence Berkeley Laboratory. Disponível em <ftp://ftp.ee.lbl.gov/conferencing/>
- [MAC 94] MACEDONIA, M. et al. **MBone Provides Audio and Video Across the Internet**. IEEE Computer, Vol. 27 #4, abr. 1994, pp. 30-26
- [MEL 97] MELCHORS, C. TAROUCO, L.M.R. **Sistemas Interpessoais de Videoconferência (MBone)**. Trabalho Individual 596, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jan. 1997.
- [MOY 94] MOY, J. **Multicast Extensions to OSPF**, Request For Comments 1584, mar. 1994, 102pp.
- [MOY 94a] MOY, J. **Multicast Routing Extensions for OSPF**. Communications of the ACM, ago. 1994, Vol. 37 #8 pp.61-66
- [MUS 95] MUSEY, L. et al. **Desktop (video) conferencing/screen sharing systems**. Documento disponível em <http://www.web.soi.city.ac.uk/homes/f516/idconf/index.html>
- [SCH 96] SCHULZRINNE, H et al. **RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications**. Request for Comments 1889, jan. 1996, 75pp.
- [TAN 96] TANENBAUM, A. **Computer Networks**. Third Edition, Prentice Hall, 1996
- [TRE 96] TRENTIN, M., TAROUCO, L.M.R. **Suporte multimídia para educação à distância**. I Workshop de Educação à Distância (I WEAD), 14 SBRC, Fortaleza, Ceará, mai. 1996
- [XER 97] Anonymous FTP service from XEROX. Disponível em <ftp://ftp.parc.xerox.com/pub/net-research/apps>. 1997