

# Uma Comparação entre Protocolos de Roteamento *Multicast* para Distribuição de TV na Internet

Igor M. Moraes e Otto Carlos M. B. Duarte

**Resumo**—Dado o enorme número de usuários envolvidos, a distribuição de TV será a aplicação que irá disparar a implantação do serviço *multicast* na Internet. Um serviço *multicast* é composto por protocolos de roteamento, que são os responsáveis pela criação da árvore de distribuição do tráfego. Portanto, determinar qual o protocolo é mais adequado à TV na Internet é fundamental. Neste trabalho foi desenvolvida uma plataforma de testes para analisar o desempenho dos protocolos PIM, nos seus três modos de operação, e DVMRP. Os resultados mostram que o protocolo PIM-SSM possui a menor taxa de utilização da rede e a menor carga de controle de roteamento.

**Palavras-Chave**—Roteamento, *multicast*, TV na Internet.

**Abstract**—Due to the enormous number of users involved, the TV distribution will be the application which will accelerate the development of the multicast service in the Internet. A multicast service is constituted of routing protocols, whose function is to create the traffic distribution tree. Therefore, it is essential to determine which multicast routing protocol is the most adequate for Internet TV. In this paper, a testbed was developed to evaluate the performance of PIM, in its three modes of operation, and DVMRP. The results show that PIM-SSM is the protocol with the lowest network usage rate and routing control load.

**Keywords**—Routing, multicast, Internet TV.

## I. INTRODUÇÃO

A distribuição de vídeo na Internet difere significativamente da distribuição convencional de televisão. Na distribuição convencional, o sinal transmitido tem banda passante fixa e os receptores são homogêneos. A qualidade é fixa e a boa recepção só depende do nível de sinal que chega aos receptores. Já na distribuição de vídeo pela Internet, a informação de vídeo é transmitida em pacotes, a banda passante da rede é compartilhada dinamicamente pelas aplicações em andamento e os receptores são heterogêneos. Cada receptor possui uma capacidade de processamento diferente e está conectado à Internet por uma rede com características específicas de banda passante. Essa diversidade na capacidade dos receptores impede que um único fluxo de vídeo, codificado com uma determinada taxa de transmissão, seja difundido por toda a rede e atenda satisfatoriamente todos os receptores da Internet.

Uma solução é enviar um fluxo de vídeo específico para cada receptor. Isto é inviável em termos dos recursos da rede e da capacidade de processamento dos roteadores e receptores, uma vez que, no caso da distribuição de TV, o número de

receptores pode chegar a milhões. Por isso, um serviço de distribuição *multicast* eficiente é necessário.

Proposto há mais de dez anos, o IP Multicast [1] vem sendo implantado lentamente como serviço nativo na Internet, em virtude da complexidade para configurar e gerenciar o conjunto de protocolos de rede necessários à sua implantação. A razão desta complexidade deve-se ao fato do modelo de serviço IP Multicast definir um grupo como uma conversação muitos-para-muitos, da qual qualquer estação pode participar sem exigência de autorização. Além disso, uma estação pode pertencer a vários grupos e uma fonte pode enviar dados para um grupo, pertencendo ou não a este grupo.

Uma alternativa ao IP Multicast é o serviço SSM (*Source-Specific Multicast*) [2] que está, atualmente, em fase final de padronização pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*). O serviço SSM usa o conceito de canal proposto no protocolo EXPRESS (*EXPLICITly REquested Single Source multicast*) [3]. Um canal possui uma única fonte por grupo e é identificado por um par de endereços (fonte, grupo). Esta definição reduz a conversação *multicast* para um-para-muitos, simplificando a arquitetura do serviço.

Os protocolos de roteamento *multicast* são os responsáveis pela criação da árvore de distribuição do tráfego. Cada um dos protocolos constrói um tipo de árvore usando diferentes mecanismos, enviando pacotes de dados e de controle em diferentes quantidades e em diferentes partes da rede. Por isso, analisar o desempenho de protocolos de roteamento *multicast* é fundamental para determinar o mais adequado à aplicação de distribuição de TV na Internet.

Em [4], Wei *et al.* comparam dois tipos de árvores de distribuição: as árvores por fonte e as árvores compartilhadas. Por meio de simulações, as árvores são analisadas quanto o tamanho do caminho, o custo dos enlaces e a concentração do tráfego. Os testes envolvem cenários com centenas de nós, vários grupos e dezenas de fontes. Os resultados comprovam que as árvores por fonte apresentam caminhos com menores atrasos entre cada fonte e seus receptores e geram uma melhor distribuição do tráfego por toda a rede. No entanto, consomem mais banda do que as árvores compartilhadas, considerando cada grupo *multicast* individualmente. Billhartz *et al.* [5] comparam especificamente os protocolos CBT (*Core Based Trees*), que usa apenas árvores compartilhadas, e PIM (*Protocol Independent Multicast*), que dependendo do seu modo de operação pode usar árvores por fonte ou árvores compartilhadas. Através de simulações, os protocolos são comparados segundo o atraso fim-a-fim e a utilização dos recursos da rede. São analisados diversos cenários, que diferem quanto ao número de grupos e ao número de integrantes

Igor M. Moraes e Otto Carlos M. B. Duarte, Grupo de Teleinformática e Automação, COPPE/POLI – Programa de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, E-mails: {igor, otto}@gta.ufrj.br. Este trabalho foi realizado com recursos do CNPq, CAPES, FAPERJ e RNP/FINEP/FUNTEL.

de um grupo. Os resultados mostram que os protocolos que constroem árvores por fonte possuem um menor atraso, porém o atraso absoluto para todos os protocolos é pequeno. Além disso, todos os protocolos apresentam uma taxa de utilização da rede similar, exceto o modo denso do PIM, devido à inundação periódica da rede.

Neste trabalho, é feita uma comparação entre o desempenho de alguns protocolos de roteamento *multicast*. Para a realização dos testes comparativos, foi desenvolvida uma plataforma que simula um domínio simplificado da Internet, composta por roteadores e estações com suporte aos protocolos necessários para implementar os serviços IP Multicast e SSM. Os testes envolvem o protocolo DVMRP (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*) e os três modos de operação do protocolo PIM: o modo denso (PIM-DM – *Dense Mode*), o modo esparsa (PIM-SM – *Sparse Mode*) e o modo SSM (PIM-SSM – *Source-Specific Multicast*). Os experimentos simulam uma transmissão de um programa de TV na Internet: enquanto a fonte distribui o vídeo e os clientes entram e deixam o grupo, os enlaces da rede são monitorados. As métricas usadas para comparar o desempenho dos protocolos são a taxa de utilização da rede durante a construção da árvore de distribuição, o número de pacotes de controle de roteamento e a capacidade de reconfiguração da árvore de distribuição.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. Na Seção II, o funcionamento de cada um dos protocolos analisados neste trabalho é brevemente descrito. Na Seção III é apresentada, em detalhes, a plataforma de testes desenvolvida. Detalhes referentes aos testes e à análise dos resultados são abordados na Seção IV. Por fim, na Seção V são apresentadas as conclusões sobre este trabalho.

## II. OS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO *Multicast* ANALISADOS

A função de um protocolo de roteamento *multicast* é construir a árvore de distribuição de dados. Estes protocolos podem ser classificados em intra-domínio e inter-domínio. Neste trabalho só são abordados os protocolos de roteamento intra-domínio.

Uma árvore de distribuição *multicast* pode ser construída de acordo com diferentes algoritmos. No entanto, os protocolos de roteamento analisados constroem dois tipos de árvores: árvores por fonte e árvores compartilhadas ou centradas. Em uma árvore por fonte, o nó raiz é a própria fonte de dados. Deste modo, cada fonte constrói uma árvore. Por sua vez, em uma árvore compartilhada, um nó localizado no “centro” da rede é a raiz e a mesma árvore é usada por várias fontes de dados [6]. A seguir, o funcionamento de cada protocolo de roteamento analisado neste trabalho é brevemente descrito.

### A. O Protocolo DVMRP

O DVMRP (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*) [7] foi o primeiro protocolo de roteamento *multicast* desenvolvido para a Internet. Este protocolo constrói árvores de distribuição por fonte, usando o algoritmo de inundação-e-poda. De acordo com o algoritmo do DVMRP, o primeiro datagrama IP para cada par (fonte, grupo) é enviado para toda a rede. Esse

datagrama é limitado pelo campo TTL (*Time-To-Live*) do cabeçalho IP e dispara o envio de mensagens de poda na direção da fonte, ao atingir roteadores folha que não possuem estações interessadas no grupo. Através das mensagens de poda obtêm-se uma árvore particular com o caminho mais curto entre as estações interessadas e cada uma das fontes.

Uma característica peculiar do DVMRP é que este protocolo implementa o seu próprio algoritmo de roteamento *unicast*. O DVMRP usa vetores de distância para construir rotas *unicast* para cada fonte de dados *multicast*, assim como o protocolo de roteamento *unicast* RIP (*Routing Information Protocol*) [7]. Para isso, é necessária a troca periódica de mensagens de atualização das tabelas de roteamento com roteadores *multicast* vizinhos.

### B. O Protocolo PIM

O PIM (*Protocol Independent Multicast*) é o protocolo de roteamento *multicast* mais popular da Internet. Existem três modos de operação deste protocolo: o denso (PIM-DM), o esparsa (PIM-SM) e o SSM (PIM-SSM). Os dois primeiros modos estão associados à distribuição dos receptores na rede. Um grupo é considerado denso quando a probabilidade de uma determinada área ter pelo menos um membro do grupo é alta. Do contrário, se a probabilidade for pequena, o grupo é considerado esparsa. O terceiro modo implementa o serviço SSM.

O funcionamento do PIM-DM (PIM - *Dense Mode*) [8] é similar ao do protocolo DVMRP. O PIM-DM também usa o algoritmo de inundação-e-poda para construir árvores de distribuição por fonte. Porém, ao contrário do DVMRP que implementa o próprio mecanismo de roteamento *unicast*, o PIM-DM utiliza as informações do protocolo *unicast* em uso na rede para determinar as rotas para cada fonte de dados *multicast*.

O PIM-SM (PIM - *Sparse Mode*) [9] foi projetado para o roteamento em grande escala, em que a distribuição dos receptores é esparsa. O PIM-SM constrói árvores compartilhadas e unidirecionais a partir de mensagens de inscrição (*join*) em um grupo *multicast* enviadas ao nó de “ponto de encontro” (RP - *Rendez-vous Point*). As fontes também enviam seus dados para o RP, que por sua vez distribui a informação na árvore *multicast*. Para fontes com alta taxa de transmissão, é possível mudar o tipo de árvore de distribuição, ou seja, usar uma árvore por fonte. Para tanto, basta que as mensagens de inscrição passem a ser enviadas diretamente para a fonte de dados.

O PIM-SSM é uma versão simplificada do PIM-SM, usada apenas no serviço SSM. Neste modo de operação só são construídas árvores por fonte através de mensagens de inscrição enviadas à única fonte de dados de um canal *multicast*. Por isso, não é necessário configurar roteadores de ponto de encontro.

## III. A PLATAFORMA DE TESTES

A plataforma de testes foi construída usando a estrutura física disponível no laboratório do Grupo de Teleinformática

e Automação (GTA) da COPPE/UFRJ. Todos os enlaces utilizados são Ethernet, com capacidades de 10 ou 100 Mbps, com cada computador usado na plataforma conectado ao computador do laboratório. As máquinas da plataforma, inclusive os roteadores, são computadores pessoais que utilizam o sistema operacional Linux Red Hat, com a versão 2.4.20 do núcleo (*kernel*).

A topologia da plataforma de testes, mostrada na Figura 1, simula uma rede *backbone* contendo elementos típicos de um domínio simplificado da Internet. Esta topologia foi projetada para permitir a existência de múltiplos caminhos entre a fonte e os receptores. Dessa forma, foi possível observar algumas situações críticas na construção da árvore de distribuição e no funcionamento dos protocolos de roteamento, que serviram de parâmetro para analisar o desempenho desses protocolos.

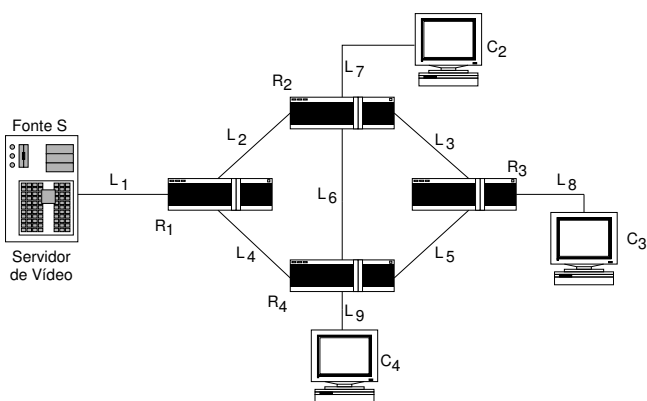


Fig. 1. A topologia da plataforma de testes.

A plataforma é composta por quatro roteadores ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ), por um servidor de vídeo ( $S$ ) e por três clientes ( $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$ ).

O roteamento na plataforma de testes é dinâmico. Todos os roteadores rodam a versão Enterprise 2.0 do *GateD*, um programa de roteamento executado em *background* pelo sistema operacional. Atualmente, o *GateD* é uma ferramenta comercial e de código fonte fechado. No entanto, a versão usada neste trabalho é gratuita e foi obtida através do sítio do fabricante na Internet [10]. O *GateD* foi escolhido por ser o único programa a implementar no Linux a versão 3 do protocolo IGMP (*Internet Group Management Protocol*) e o protocolo PIM-SSM, necessários para a implantação do serviço SSM.

Para que seja possível realizar testes comparativos entre os protocolos de roteamento, são usadas ferramentas para gerar e medir o tráfego *multicast*. Todas as ferramentas usadas rodam no Linux, são livres e de código aberto. O *iperf* é uma ferramenta usada para medir o desempenho da rede. Ele possui um programa cliente e outro servidor responsáveis, respectivamente, pela geração e recepção do tráfego *multicast*. A ferramenta *ssmrec* possui a mesma função do cliente *iperf* e é usada nos testes envolvendo o PIM-SSM, uma vez que o *iperf* não suporta o protocolo IGMPv3. O farejador *tcpdump* é usado para monitorar cada enlace durante a realização dos testes de desempenho.

#### IV. TESTES E RESULTADOS

Os testes realizados simulam a transmissão de um programa de TV na Internet. Enquanto a fonte distribui o vídeo e os enlaces da rede são monitorados, os clientes se inscrevem e deixam um grupo. Dessa forma, é possível observar os mecanismos de construção e adaptação da árvore de distribuição de um protocolo de roteamento *multicast*.

O cenário usado para os testes é descrito a seguir:

- em  $t = 0$  s, a fonte  $S$  começa a distribuir os pacotes de vídeo;
- em  $t = 20$  s, o cliente  $C_2$  requisita a inscrição em um grupo, ou a assinatura de um canal *multicast*;
- em  $t = 40$  s, outro cliente,  $C_4$ , requisita a inscrição no mesmo grupo, ou a assinatura do mesmo canal *multicast* de  $C_2$ ;
- em  $t = 60$  s, um terceiro cliente,  $C_3$ , requisita a inscrição no mesmo grupo, ou a assinatura do mesmo canal *multicast* de  $C_2$  e  $C_4$ ;
- entre  $t = 60$  s e  $t = 120$  s, não há nenhuma modificação na árvore de distribuição;
- em  $t = 120$  s, o cliente  $C_4$  deixa o grupo ou cancela a assinatura do canal *multicast*;
- em  $t = 160$  s, o cliente  $C_2$  deixa o grupo ou cancela a assinatura do canal *multicast*;
- em  $t = 180$  s, a fonte  $S$  deixa de distribuir o vídeo.

Para simular este cenário, são usados *scripts* que executam as ferramentas de medição, geração e recepção de tráfego nos roteadores, nos clientes e no servidor de vídeo.

Este cenário foi usado para avaliar o desempenho dos protocolos de roteamento *multicast* DVMRP, PIM-DM, PIM-SM e PIM-SSM. O protocolo PIM, necessita de um protocolo de roteamento *unicast* para construir a sua árvore de distribuição. Nos testes, por limitação da ferramenta *GateD*, foi utilizado o protocolo de estado de enlace OSPF (*Open Shortest Path First*) [7]. O roteador  $R_2$  foi escolhido como ponto de encontro em todos os experimentos envolvendo o PIM-SM. Os valores usados para os temporizadores e outros parâmetros de alguns destes protocolos são os valores padrão da ferramenta *GateD*.

A fonte transmite, durante um tempo de  $t$  segundos, pacotes UDP (*User Datagram Protocol*) de 1470 octetos a uma taxa de 4,0 Mbps. Este valor corresponde à taxa de transmissão média de um vídeo codificado em MPEG-2 (*Moving Picture Experts Group - 2*), com resolução de  $720 \times 480$  pixels e taxa de 30 quadros por segundo. Estes valores são referentes ao padrão NTSC (*National Television System Committee*) [11]. O tráfego gerado pelo MPEG possui taxa de bits variável. Entretanto o uso de um tráfego de taxa de bits constante, gerado pela ferramenta *iperf*, não interfere nos resultados deste trabalho, uma vez que não são realizadas medidas de atraso e perda de pacotes.

Apesar do roteador  $R_3$  possuir dois caminhos com a mesma distância para a fonte, ou seja, dois saltos, a árvore de distribuição construída por todos os protocolos durante os testes é a mesma, mostrada na Figura 2. No caso do DVMRP, que constrói a sua própria tabela de roteamento *unicast*,  $R_3$  escolhe  $R_2$  como próximo salto, pois o roteador  $R_2$  possui o menor endereço IP, se comparado ao endereço de  $R_4$ . No

caso do OSPF, usado pelo PIM para construir a árvore de distribuição, o protocolo foi configurado para usar o número de saltos como métrica, mas não para usar múltiplos caminhos até um dado destino. Dessa forma,  $R_2$  é escolhido como próximo salto de  $R_3$  para chegar à fonte, por possuir um menor endereço IP do que  $R_4$ .

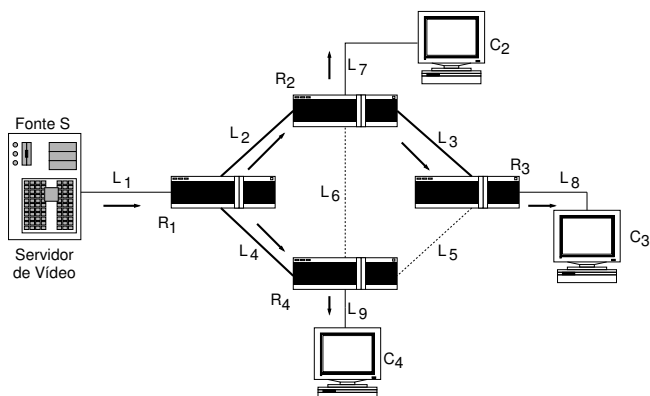


Fig. 2. A árvore de distribuição construída.

O cenário usado na simulação do programa de TV permite a observação do comportamento de cada um dos protocolos durante a construção e adaptação da árvore de distribuição. As Figuras de 3(a) a 6(d) mostram a ocupação de todos os enlaces da plataforma de testes durante a simulação da transmissão de TV, para um determinado protocolo. Para cada protocolo, este mesmo experimento foi realizado cinco vezes. Os valores apresentados da Figura 3(a) até a Figura 6(d) correspondem à média dos resultados destes cinco experimentos com intervalo de confiança de 95,0%. As barras de erro ficaram inferiores a 1,0% da média das amostras. Os enlaces com taxa de utilização próxima de zero durante os experimentos foram omitidos dos gráficos e enlaces com comportamentos semelhantes são apresentados no mesmo gráfico.

Idealmente, o enlace  $L_2$  deve estar ocupado a partir do instante  $t = 20$  s, pois ele faz parte dos ramos da árvore que ligam a fonte  $S$  aos clientes  $C_2$ , primeiro a solicitar o conteúdo de  $S$ , e  $C_3$ , último cliente a deixar o grupo. Do mesmo modo, o enlace  $L_7$  só deve estar ocupado enquanto o cliente  $C_2$  tem interesse nos pacotes vindos de  $S$ . Por sua vez, os enlaces  $L_3$  e  $L_8$  só devem estar ocupados quando o cliente  $C_3$  requisita o conteúdo da fonte  $S$ . Por fim, os enlaces  $L_4$  e  $L_9$  só devem estar ocupados quando o cliente  $C_4$  tem interesse no tráfego da fonte  $S$ .

As Figuras 3(a), 4(a), 5(a) e 6(a) mostram o comportamento do enlace  $L_1$ , respectivamente, para os protocolos DVMRP, PIM-DM, PIM-SM e PIM-SSM. É possível notar que este enlace está sempre ocupado, pois é por ele que flui todo o tráfego do servidor de vídeo em direção aos clientes.

Ao observar as Figuras de 3(a) a 6(d), nota-se que os protocolos de roteamento que usam um mecanismo de inundação-e-poda para construir a árvore de distribuição, neste caso o DVMRP e o PIM-DM, possuem uma maior taxa de utilização da rede.

O DVMRP inunda o enlace  $L_2$ , mostrado na Figura 3(b), durante os 20 s iniciais do experimento, quando não existe

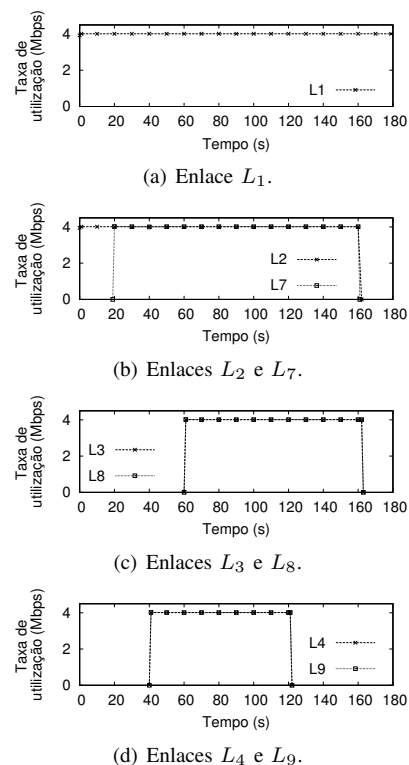


Fig. 3. Ocupação dos enlaces para o DVMRP.

nenhum cliente interessado no conteúdo de  $S$ . Isto ocorre, pois o roteador  $R_2$  não envia uma mensagem de poda na interface pela qual recebe o tráfego de  $S$ . Além disso, como mostra a Figura 3(c), o cliente  $C_3$ , em  $t = 160$  s, deixa de receber pacotes *multicast* vindos da fonte, mesmo ainda sendo um membro do grupo. Isto ocorre, pois neste mesmo instante o cliente  $C_2$  envia uma mensagem ao seu roteador local, no caso  $R_2$ , para deixar o grupo. Mesmo sabendo que  $R_3$  o usa como pai na árvore de distribuição, o roteador  $R_2$  envia uma mensagem de poda na direção da fonte pelo enlace  $L_2$ . Este enlace, então, é podado da árvore de distribuição. Com isso, o cliente  $C_3$  deixa de receber o tráfego de  $S$ , uma vez que o enlace  $L_2$  faz parte do ramo da árvore entre a fonte e este cliente. Isto mostra que o protocolo DVMRP não funcionou corretamente durante a simulação da transmissão de TV, o que indica uma falha na implementação da ferramenta GateD.

O outro protocolo que usa o mecanismo de inundação-e-poda para construir a árvore de distribuição, o PIM-DM, apresenta a maior taxa de utilização da rede. Somente este protocolo inunda desnecessariamente, durante todo o experimento, os enlaces  $L_5$  e  $L_6$ , como mostra a Figura 4(e). O mesmo ocorre para o enlace  $L_2$ , durante os 20 s iniciais, e para o enlace  $L_4$ , durante os 40 s iniciais e entre  $t = 120$  s e  $t = 180$  s. A ocupação desnecessária dos enlaces ocorre, pois os roteadores  $R_2$  e  $R_4$  deixam de enviar mensagens de poda nas suas interfaces que não foram indicadas como a "melhor" durante a inundação inicial da rede. Apesar de manter a rede ocupada desnecessariamente, se comparado ao DVMRP, o PIM-DM funcionou corretamente, uma vez que todos os clientes recebem o tráfego da fonte, enquanto este é

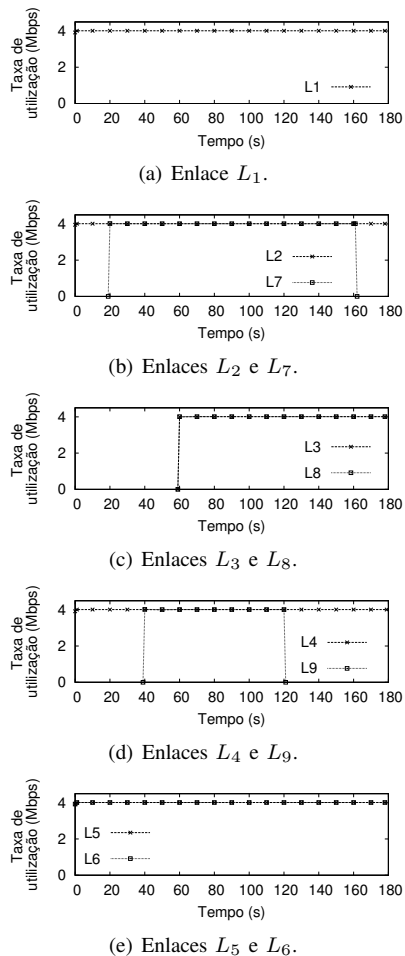


Fig. 4. Ocupação dos enlaces para o PIM-DM.

solicitado.

Os dois protocolos que usam o mecanismo de inscrição e poda explícitas para a construção da árvore de distribuição, o PIM-SM e o PIM-SSM, apresentam as menores taxas de utilização da rede, durante todo o experimento. No caso do PIM-SM, foi construída uma árvore por fonte, ao invés da árvore compartilhada, pois o valor da taxa de transmissão de dados da fonte era maior do que o limiar configurado nos roteadores. O comportamento similar destes dois protocolos era esperado, já que o PIM-SSM é uma versão simplificada do PIM-SM, que só constrói árvores por fonte.

A principal diferença entre estes protocolos está no número e na carga de pacotes de controle gerados por cada um deles. As Figuras 7(a) e 7(b) mostram, respectivamente, o número total de pacotes de controle de roteamento e a carga destes pacotes em todos os enlaces da rede. Este valores correspondem à média das cinco rodadas de testes com intervalo de confiança de 95,0%. É possível notar que o PIM-SSM envia menos mensagens de controle e que estas mensagens representam a menor carga na rede. A carga de controle gerada pelo PIM-SSM é 48,0% menor do que a gerada pelo PIM-SM. Quanto aos protocolos de inundação-e-poda, ambos geram uma maior carga de controle na rede. No entanto, por implementar o seu próprio protocolo de roteamento *unicast*, o DVMRP é o

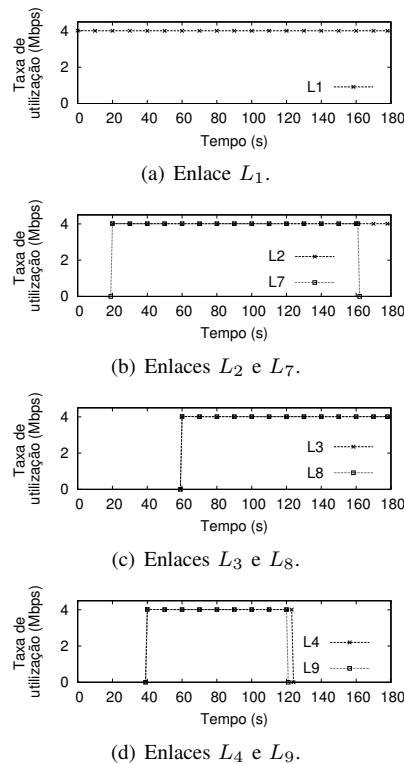


Fig. 5. Ocupação dos enlaces para o PIM-SM.

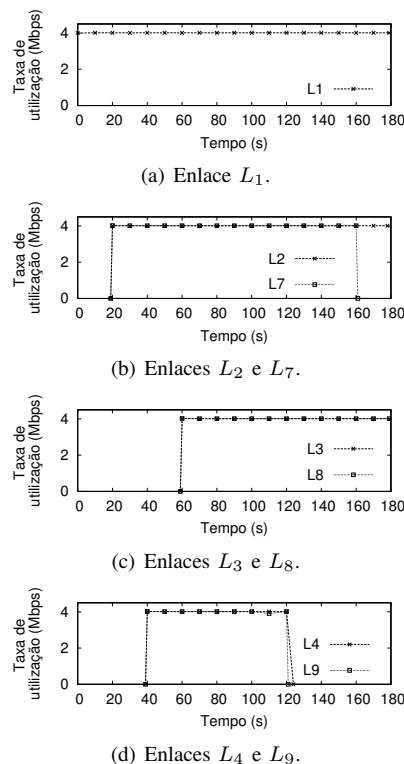


Fig. 6. Ocupação dos enlaces para o PIM-SSM.

protocolo que envia o maior número de pacotes e gera a maior carga de controle na rede.

As Figuras 8(a) e 8(b) mostram o número de pacotes

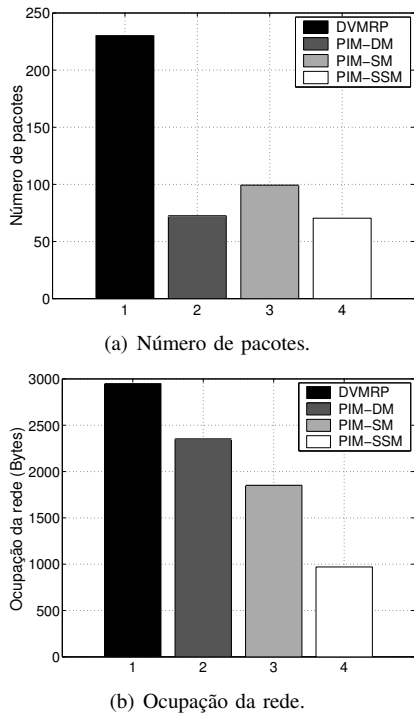


Fig. 7. Pacotes de controle de roteamento em todos os enlaces.

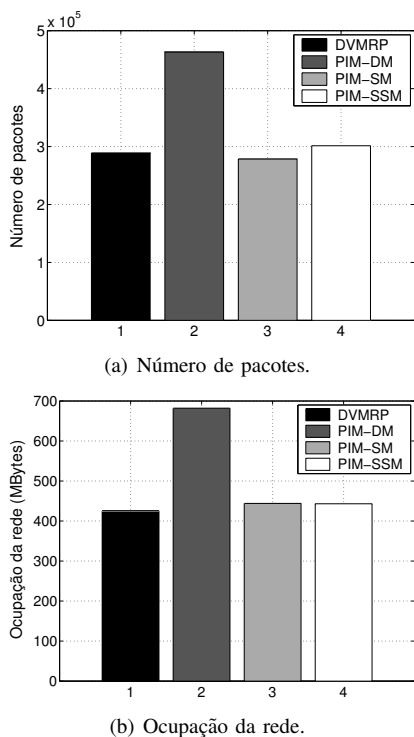


Fig. 8. Pacotes de dados em todos os enlaces.

de dados em todos os enlaces da rede e carga gerada por estes pacotes em toda a rede. Este valores correspondem à média das cinco rodadas de testes com intervalo de confiança de 95,0%. Por estes gráficos, pode-se comprovar o que foi observado nas Figuras 4(a) a 6(d). Nota-se que o PIM-DM, por usar um mecanismo de inundação-e-poda, apresenta uma

taxa de utilização da rede 25,0% superior a do PIM-SM e a do PIM-SSM. Os dados do DVMRP não podem ser usados para fins de comparação, pois o protocolo não apresentou um funcionamento correto.

### V. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho de alguns dos principais protocolos de roteamento *multicast* que podem ser usados para a distribuição de TV na Internet. Foram analisados os protocolos DVMRP, PIM-DM e PIM-SM, usados no IP Multicast, e o PIM-SSM, usado no serviço SSM. Para avaliar o comportamento de cada protocolo, foram realizados experimentos que simulam a transmissão de um programa de TV na Internet. As métricas usadas para comparar o desempenho dos protocolos foram a capacidade de reconfiguração da árvore de distribuição, a taxa de utilização dos enlaces da rede e o número e a carga de pacotes de controle de roteamento. Vale ressaltar que os resultados obtidos são relativos a versão Enterprise 2.0 da ferramenta Gated.

Os resultados mostram que protocolo DVMRP possui a maior carga de controle, por implementar o seu próprio protocolo de roteamento *unicast*. Além disso, o protocolo não funcionou corretamente durante os testes, uma vez que deixou de entregar o tráfego de pacotes *multicast* para um cliente que ainda era membro do grupo. Já o PIM-DM, que usa um mecanismo de inundação-e-poda para construir sua árvore de distribuição, apresenta uma taxa de utilização da rede 25,0% superior a dos protocolos de mensagens de inscrição e poda explícitas, o PIM-SM e o PIM-SSM. Estes dois protocolos possuem a menor taxa de utilização da rede. Entretanto, o PIM-SSM gera a metade da carga de controle de roteamento do PIM-SM. Por isso, o PIM-SSM é o protocolo mais indicado para ser usado no serviço de distribuição de TV na Internet.

### REFERÊNCIAS

- [1] S. Deering, *Host Extensions for IP Multicasting*. RFC 1112, agosto de 1989.
- [2] H. Holbrook e B. Cain, *Source-Specific Multicast for IP*. Em andamento, <draft-ietf-ssm-arch-04.txt>, outubro de 2003.
- [3] H. W. Holbrook e D. R. Cheriton, "IP multicast channels: EXPRESS support for large-scale single-source applications", em *ACM SIG-COMM'99*, setembro de 1999.
- [4] L. Wei e D. Estrin, "The Tradeoffs of Multicast Trees and Algorithms", em *International Conference on Computer Communications and Networks - ICCCN'94*, setembro de 1994.
- [5] T. Billhartz, J. B. Cain, E. Farrey-Goudreau, D. Fieg e S. G. Batsell, "Performance and Resource Cost Comparison for the CBT and PIM Multicast Routing Protocols", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, no. 3, pp. 304-315, abril de 1997.
- [6] L. H. M. K. Costa e O. C. M. B. Duarte, "Roteamento Multicast na Internet", *Mini-Curso do XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2003*, pp. 228-275, maio de 2003.
- [7] C. Huitema, *Routing in the Internet*. Prentice Hall Inc, segunda ed., 2000.
- [8] A. Adams, J. Nicholas e W. Siadak, *Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification (Revised)*. Em andamento, <draft-ietf-pim-dm-new-v2-04.txt>, setembro de 2003.
- [9] B. Fenner, M. Handley, H. Holbrook e I. Kouvelas, *Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised)*. Em andamento, <draft-ietf-pim-sm-v2-new-08.txt>, outubro de 2003.
- [10] "NextHop Technologies", janeiro de 2004. <http://www.nexthop.com>.
- [11] D. Mackie, "Video streaming and MPEG4IP", 2001. Cisco Technology Center.