

5. Avaliação de Desempenho

Neste capítulo será avaliado o desempenho do protocolo proposto no capítulo 3 desta dissertação, utilizando-se como técnica de avaliação a simulação. Serão apresentados e analisados os resultados de diversos experimentos feitos com a ferramenta NS [*Network Simulator*].

5.1 Objetivo

Neste capítulo será avaliado o desempenho do mapeador interdomínios proposto nesta dissertação. Para isso, serão transmitidos fluxos de vídeo e áudio através de uma topologia que envolve três diferentes tecnologias: IntServ (RSVP), DiffServ e MPLS. Espera-se, com isso, mostrar que a qualidade fim a fim das aplicações sofre perdas significativas sem um processo de mapeamento Interdomínios. Essas perdas ocorrem independentemente de os domínios possuírem ou não algum mecanismo que priorize, internamente, o encaminhamento do tráfego entre roteadores.

5.2 Definição do Sistema

O sistema é composto de três redes: uma baseada em reserva de recursos (RSVP), uma rede DiffServ e uma rede que implementa engenharia de tráfego através de MPLS.

Uma vez que o objetivo é avaliar o comportamento do tráfego quando da mudança de domínios, as redes locais não serão modeladas.

5.3 Topologia

A topologia utilizada é composta de três domínios: RSVP, DiffServ e MPLS. O domínio RSVP, que implementa reserva de recursos é modelado com cinco nós e hospeda os transmissores de Vídeo (CBR) e Áudio (CBR) que serão monitorizados nos pontos "A", "B" e "C" conforme mostrado na Figura 5.02. O domínio DiffServ, que implementa os PHBs AF e EF, enxerta tráfego CRB (Constant Bit Rate) adicional na rede causando uma sobrecarga nos

fluxos de Vídeo e Áudio provenientes do domínio RSVP. O domínio MPLS espelha parte da topologia da RNP (Rede Nacional de Pesquisa) e oferece rotas alternativas para o destino, ou seja, para o nó São Paulo (conforme mostrado na Figura 5.02). Nesse domínio supõe-se a existência de um mecanismo de engenharia de tráfego que otimize o uso da rede através da tecnologia de etiquetas (MPLS) permitindo assim que os fluxos de vídeo e áudio sejam encaminhados pelo trajeto mais apropriado.

Deve-se ressaltar que as rotas e seus respectivos estados de congestionamentos foram previamente definidas e associados a determinadas etiquetas.

A Figura 5.01, obtida em [RNP2], apresenta a topologia da RNP completa. Apenas parte dessa topologia, conforme apresentado na Figura 5.02, foi reproduzida na simulação.

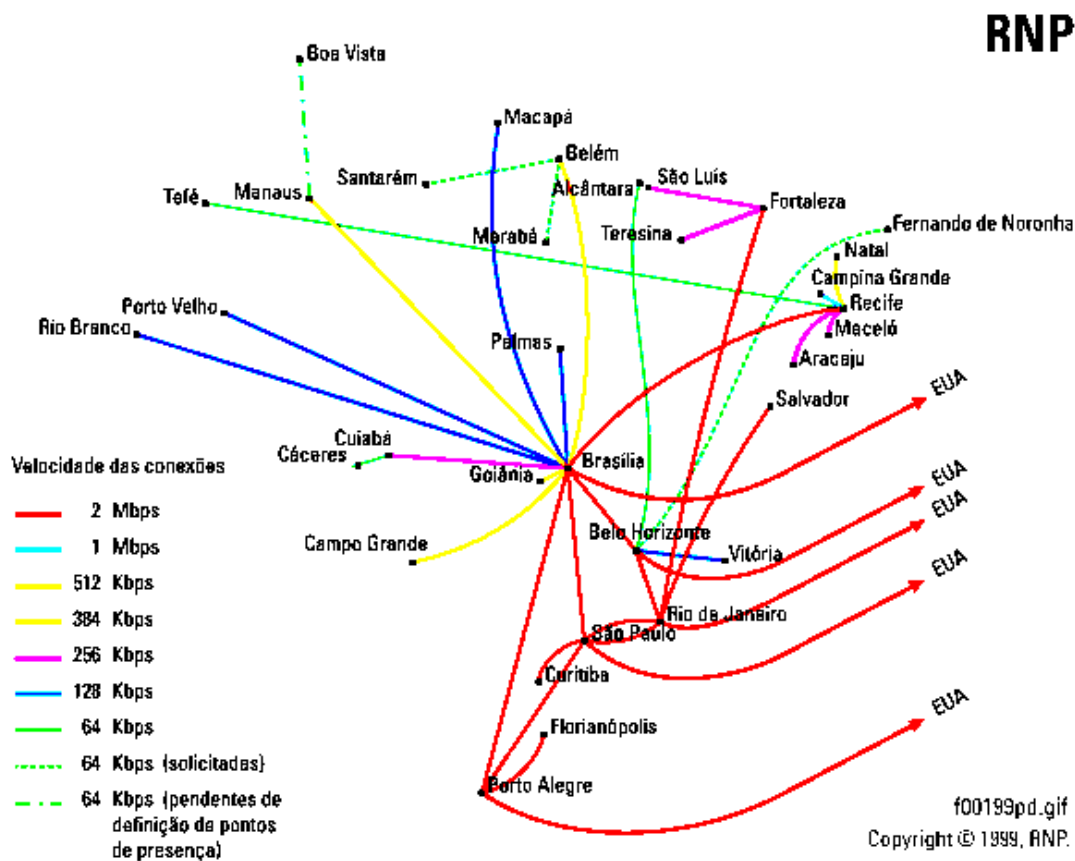


Figura 5.01 - Topologia da Rede Nacional de Pesquisa

5.4 Métricas

Basicamente foram utilizadas três métricas para se avaliar o desempenho do mapeador:

- 1) Atraso (Delay): Representado pelo atraso fim a fim entre fonte e destino;
- 2) Variação do atraso (Jitter): Valor absoluto da diferença entre as horas de chegada de dois pacotes consecutivos menos as suas horas de saída (s) ou seja $|(c_j - s_j) - (c_i - s_i)|$;
- 3) Vazão (Throughput): Taxa de dados que está sendo efetivamente recebida pelo receptor.

5.5 Parâmetros e Fatores

Como parâmetros e fatores foram utilizados a topologia da rede, o tempo de ação do módulo de monitorização, a percentagem de banda avaliada para os PHBs AF (30%) e EF (50%), o uso de reserva no domínio RSVP e o uso de Engenharia de Tráfego no domínio MPLS.

5.6 Técnica de Avaliação

Dentre as diversas técnicas de avaliação de desempenho existentes (simulação, medição e modelagem analítica) optou-se pela simulação em função da disponibilidade da ferramenta *Network Simulator* versão 2.1b5 [NS-2], desenvolvido pela universidade de Berkeley. O tempo de simulação foi de setenta segundos e o tempo de monitorização do mapeador foi definido em dois segundos.

Nesta simulação foi usada a seguinte convenção:

- a) O tráfego CBR proveniente da fonteRSVP1 (Figura 5.02) será tratado como "vídeo".
- b) O tráfego CBR proveniente da fonteRSVP2 (Figura 5.02) será tratado como "áudio".

Todos os *patches* do mapeador utilizados neste processo de simulação serão disponibilizados aos interessados via correio eletrônico. Informações adicionais sobre como adquiri-los podem ser obtidas no apêndice A.

5.7 Carga de Trabalho

As fontes de tráfego utilizadas na simulação estão detalhadas na Tabela 5.01. Os fluxos em destaque serão utilizados no processo de mapeamento, enquanto que os demais serão usados apenas para gerar tráfego na rede.

AGENTE	APLIC.	FONTE	DESTINO	TAXA	PARÂMETROS DE QOS					TEMPO	
					BW	HT	BT	LS	JS	Início	Fim
UDP	CBR	Fonte RSVP1	saopaulo	280kb	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Alto	0	70
UDP	CBR	Fonte RSVP2	saopaulo	64kb	Baixo	Baixo	Baixo	Alto	Médio	0	70
TCP	FTP	Fonte RSVP3	borda DS2	-	Melhor Esforço - BE					0	70
TCP	FTP	Fonte RSVP3	borda DS2	-	Melhor Esforço - BE					0	70
TCP	FTP	Fonte RSVP3	borda DS2	-	Melhor Esforço - BE					0	70
TCP	FTP	Fonte RSVP3	borda DS2	-	Melhor Esforço - BE					0	70
UDP	CBR	Nucleo DS2	borda DS2	500kb	Melhor Esforço - BE					0	70
UDP	CBR	Nucleo DS3	borda DS2	500kb	Melhor Esforço - BE					0	70
UDP	CBR	manaus	saopaulo	490kb	Melhor Esforço - BE					0	70
UDP	CBR	belem	saopaulo	490kb	Melhor Esforço - BE					0	70
UDP	CBR	goiania	saopaulo	490kb	Melhor Esforço - BE					0	70
UDP	CBR	campo grande	saopaulo	490kb	Melhor Esforço - BE					0	70
UDP	CBR	curitiba	brasilia	490kb	Melhor Esforço - BE					0	70
UDP	CBR	saopaulo	rio de janeiro	490kb	Melhor Esforço - BE					0	70

Tabela 5.01 - Fontes de Tráfego

O mapa da topologia utilizado na simulação é descrito na Tabela 5.02

ENLACE		BANDA	ATRASSO	SUPORTE
NÓ FONTE	NÓ DESTINO			
fonteRSVP1	nucleoRSVP1	1Mb	10ms	RSVP
fonteRSVP2	nucleoRSVP1	1Mb	10ms	RSVP
fonteRSVP3	nucleoRSVP1	1Mb	10ms	RSVP
nucleoRSVP1	bordaRSVP1	1Mb	10ms	RSVP
bordaRSVP1	bordaDS1	1Mb	10ms	-
bordaDS1	nucleoDS1	1Mb	10ms	DiffServ
bordaDS1	nucleoDS2	1Mb	10ms	DiffServ
bordaDS1	nucleoDS3	1Mb	10ms	DiffServ
nucleoDS1	nucleoDS4	1Mb	10ms	DiffServ
nucleoDS4	bordaDS2	1Mb	10ms	DiffServ
bordaDS2	recife	2Mb	10ms	-
recife	brasil	2Mb	10ms	MPLS
brasil	saopaulo	2Mb	10ms	MPLS
brasil	belohorizonte	2Mb	10ms	MPLS
brasil	portoalegre	2Mb	10ms	MPLS
belohorizonte	riodejaneiro	2Mb	10ms	MPLS
riodejaneiro	saopaulo	2Mb	10ms	MPLS
riodejaneiro	fortaleza	2Mb	10ms	MPLS
saopaulo	curitiba	2Mb	10ms	MPLS
portoalegre	saopaulo	2Mb	10ms	MPLS
brasil	manaus	512Kb	10ms	-
brasil	belem	512Kb	10ms	-
brasil	goiania	512Kb	10ms	-
brasil	campogrande	512Kb	10ms	-

Tabela 5.02 - Mapa da Topologia

5.8 Resultados

Para se avaliar o desempenho do mapeador, foram feitas uma série de medições nos pontos "A", "B" e "C" (conforme Figura 5.02). Como o objetivo

foi o de preservar a qualidade fim a fim de vídeo e áudio transmitidos a partir do domínio RSVP com destino ao nó São Paulo, foram aplicadas medições com e sem o uso do mapeador.

Inicialmente será mostrado o comportamento tanto dos fluxos de vídeo e áudio, individualmente, como de suas respectivas médias aritméticas de vazão calculadas nos três pontos de monitorização especificados na Figura 5.02. Nesta etapa, cada medição foi realizada em um domínio diferente, sem o uso do mapeador. Os resultados, que podem ser observados nos Gráficos 5.01 e 5.02, apresentam uma queda progressiva na vazão a medida que novos domínios são percorridos.

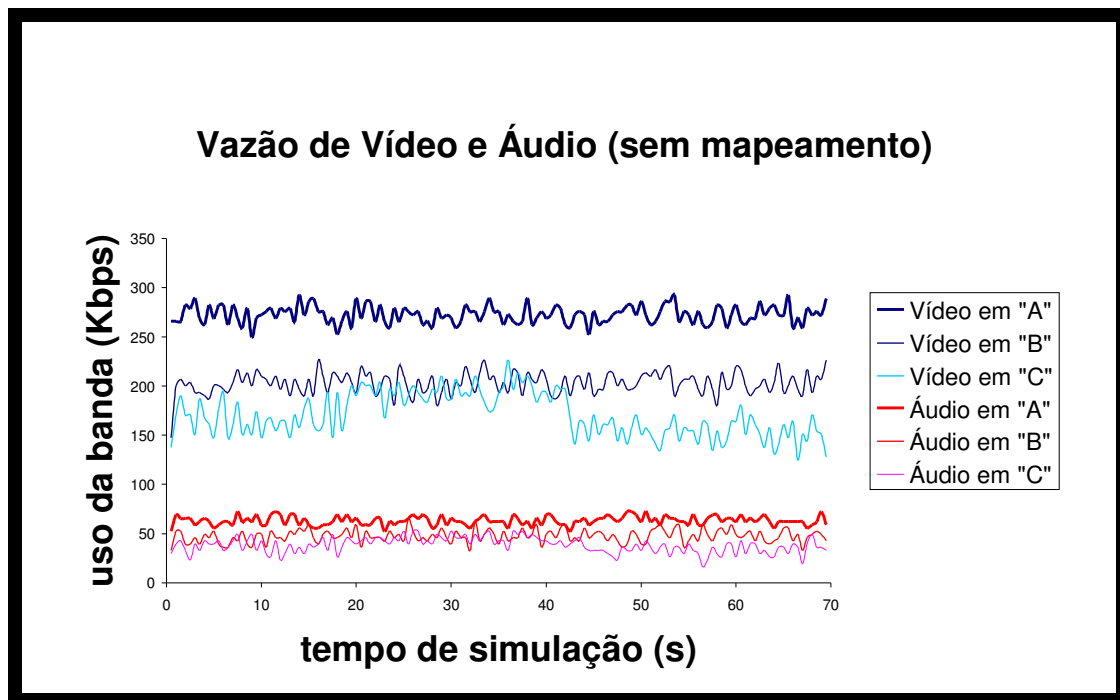


Gráfico 5.01 - Monitorização de Vazão de Vídeo e Áudio sem o Mapeador

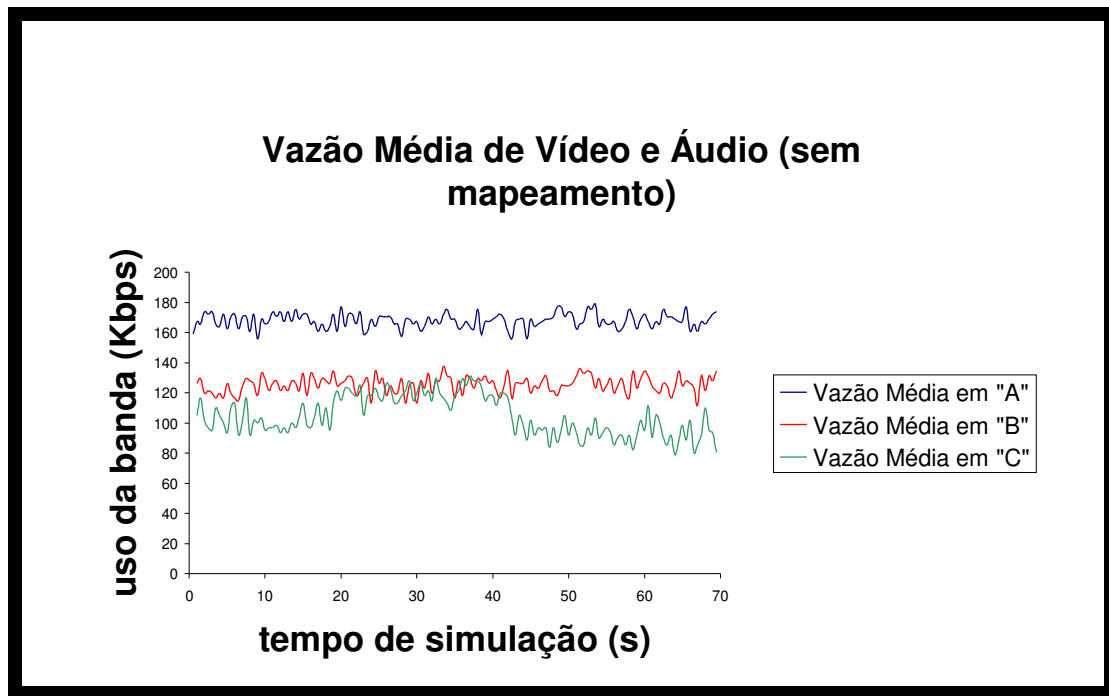


Gráfico 5.02 - Monitorização de Vazão Média sem o Mapeador

O mesmo experimento foi reproduzido, desta vez com o uso do mapeador proposto atuando nos pontos especificados na Figura 5.02. O resultado, que pode ser observado nos Gráficos 5.03 e 5.04, apresenta uma vazão estável nos três pontos de monitorização. Como as mesmas condições foram mantidas, pode-se atribuir, à eficiência do mapeador, a manutenibilidade na vazão média dos fluxos de vídeo e áudio. Esta avaliação enfatiza a necessidade de mapeamento Interdomínio, sem o que, a qualidade fim a fim das aplicações ficaria bastante comprometida.

É importante frisar que a eficiência do processo de monitorização depende de um bom provisionamento de recursos nos diversos domínios. Uma rede, em situação de sobrecarga generalizada, não apresentará melhorias significativas para fluxos mapeados.

Uma vez que os recursos do mapeador são negociados via Negociadores de Recursos, tem-se uma certa garantia de que os domínios envolvidos oferecem condições mínimas para fazer fluir o tráfego que estão recebendo.

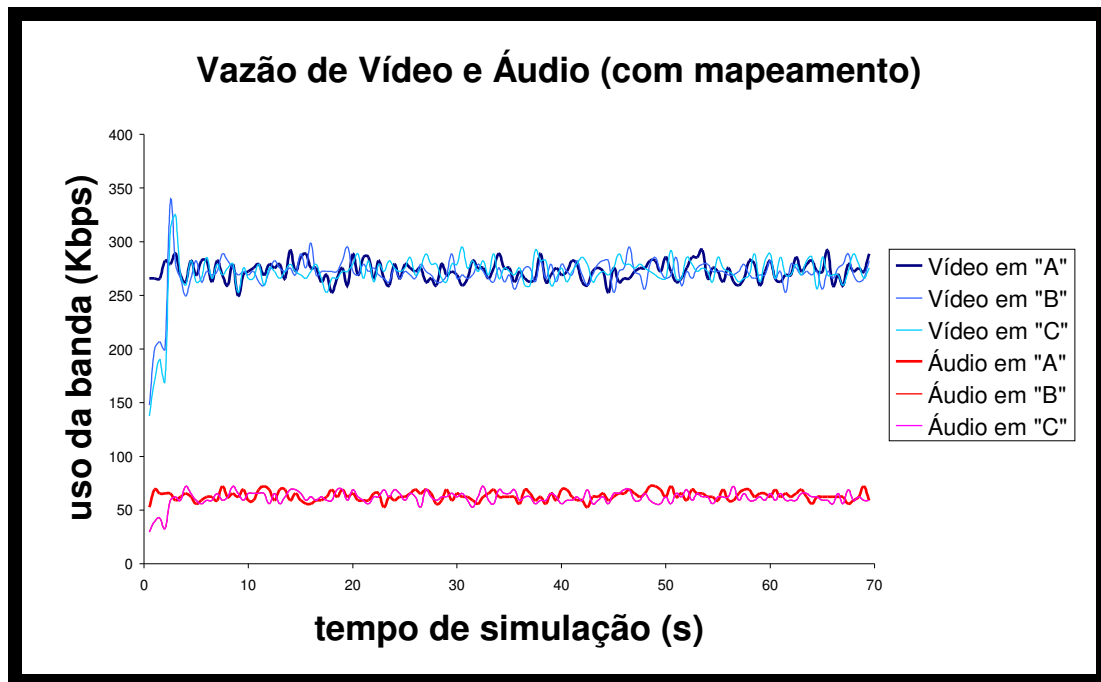


Gráfico 5.03 - Monitorização de Vazão de Vídeo e Áudio com o Mapeador

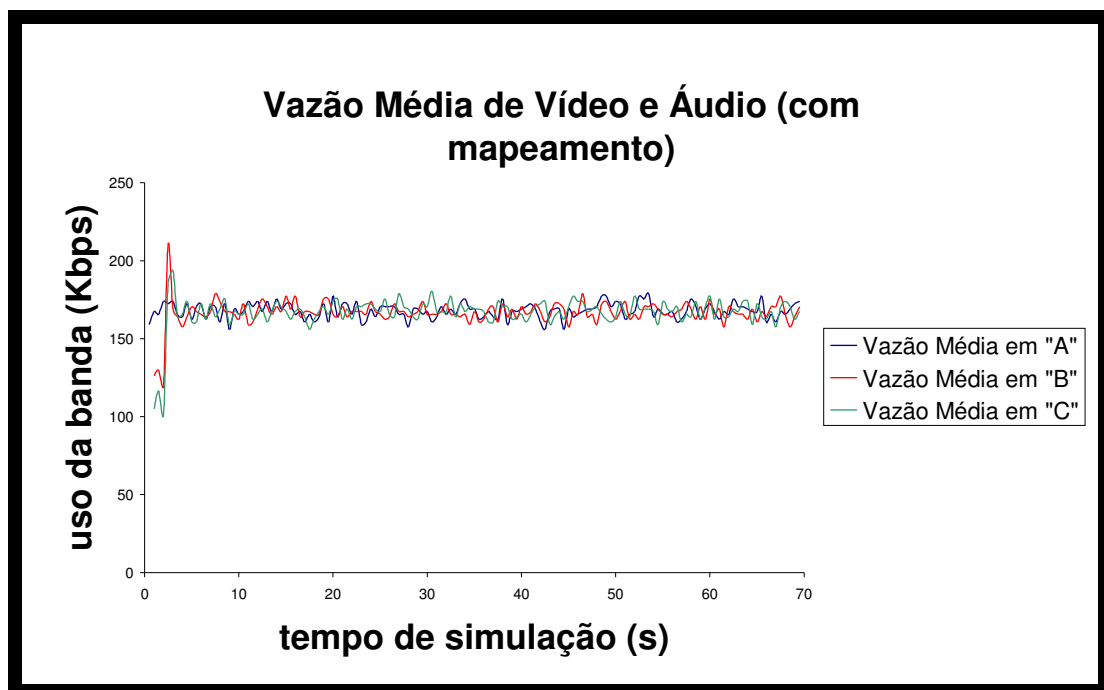


Gráfico 5.04 - Monitorização de Vazão Média com o Mapeador

A perda que ocorre sem o processo de mapeamento pode ser visualizada no Gráfico 5.05, onde é mostrada a vazão média no ponto "C" (Figura 5.02) com e sem o uso do mapeador.

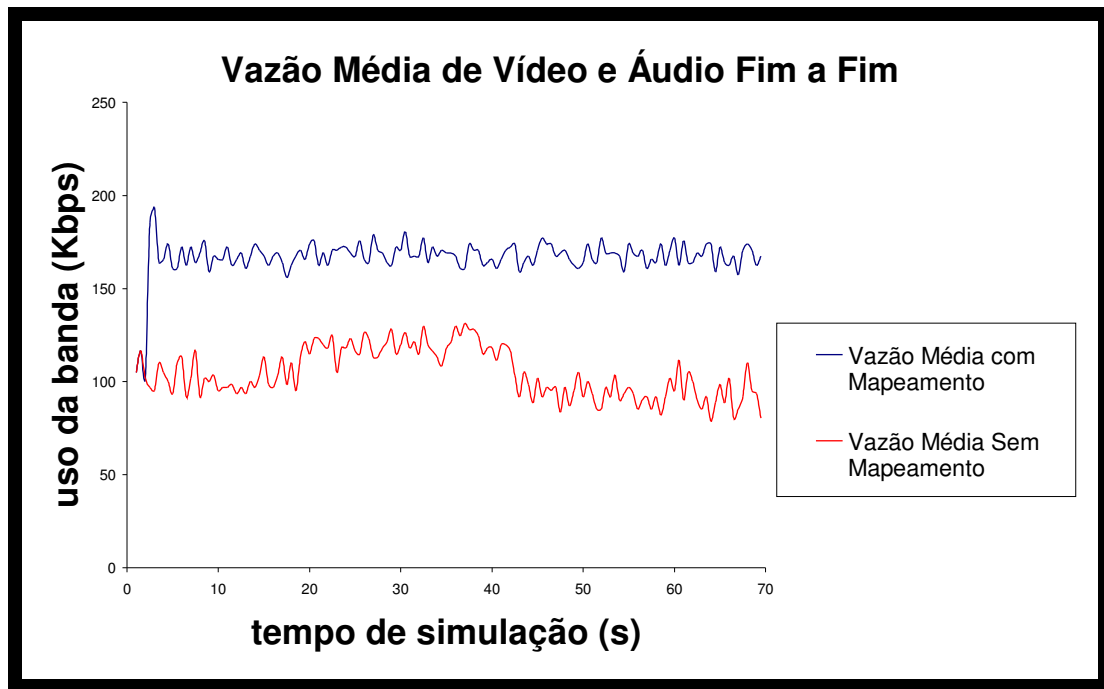


Gráfico 5.05 - Monitorização de Vazão Média Fim a Fim

Outra métrica avaliada, dentro das mesmas condições, foi o atraso fim a fim. O Gráfico 5.06 reflete a média dos atrasos de vídeo e áudio computados no ponto "C" (vide Figura 5.02) com e sem mapeamento, respectivamente.

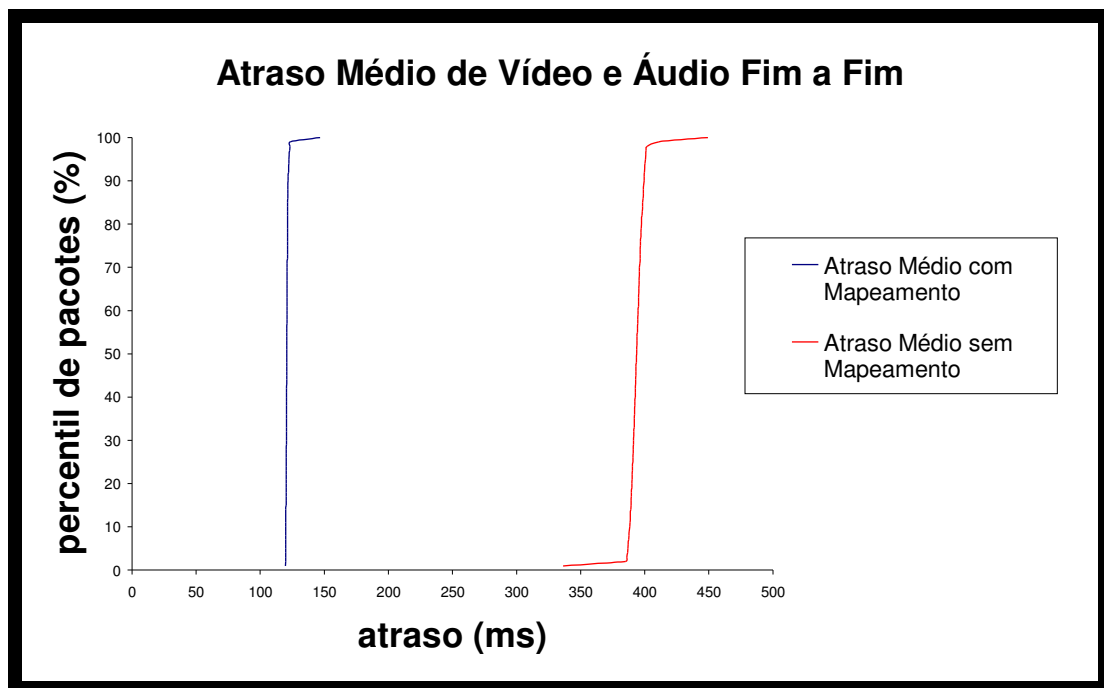


Gráfico 5.06 - Monitorização de Atraso Médio Fim a Fim

Como pode-se observar, a média dos atrasos, em praticamente 100% dos pacotes, fica em torno de 120 milissegundos, o que é valor aceitável para tráfego multimídia. Isso quando o mapeador é usado. Sem ele a média sobe para cerca de 400 milissegundos.

Tais níveis de atraso se devem basicamente a dois fatores:

- a) No domínio DiffServ, deve-se aos mecanismos de priorização de pacotes (PHBs AF e EF) que diminuem, consideravelmente, os atrasos nas filas dos roteadores.
- b) No domínio MPLS, deve-se à Engenharia de Tráfego que encaminha pacotes marcados com as etiquetas "0" (vídeo) e "1" (áudio) por caminhos alternativos onde o tráfego seja reduzido. No caso específico desta simulação, enquanto todos os pacotes de melhor esforço fluem pela rota "Brasília-SãoPaulo", os de vídeo e áudio fluem por "Brasília-PortoAlegre-SãoPaulo", onde o congestionamento praticamente não existe.

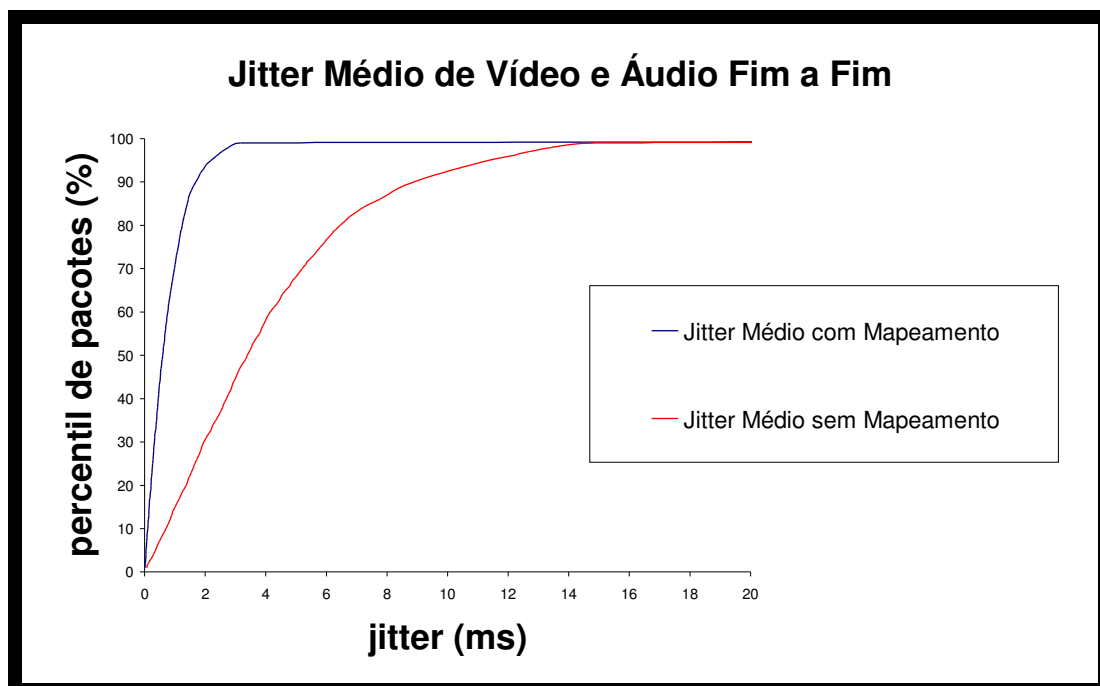


Gráfico 5.07 - Monitorização de Jitter Médio Fim a Fim

Avaliando a métrica *jitter*, ou seja, a variação do atraso fim a fim, pode-se observar que os ganhos também foram significativos conforme mostra o Gráfico 5.07. Com o uso do mapeador o jitter médio de 100% dos pacotes não ultrapassou 2,5 milisegundos, enquanto que sem o uso do mapeador este valor chegou a 14 milisegundos.

5.8.1 Susceptibilidade à Adição de Novos Fluxos

O Gráfico 5.08 mostra a susceptibilidade à adição de fluxos feita no instante 40 do processo de simulação. Para isso, os instantes de início dos fluxos CBR, com origem nos nós nucleoDS2 e nucleoDS3, foram alterados para o momento 40 (escolhido em função de permitir uma melhor visualização dos resultados uma vez que se encontra em um ponto intermediário da simulação).

Os resultados foram obtidos a partir da vazão média de vídeo e áudio com e sem o uso do mapeador, respectivamente. Pode-se observar que apenas os fluxos não mapeados sofrem a influência do congestionamento. Os que passaram pelo processo de mapeamento mantêm a estabilidade

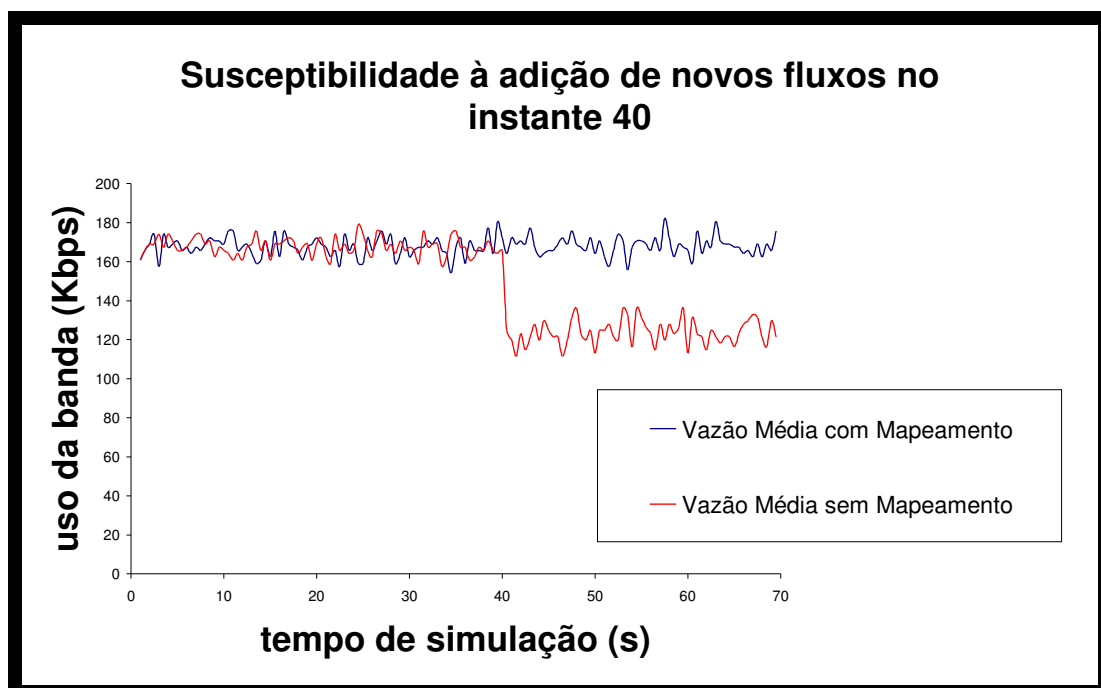


Gráfico 5.08 - Inserção de Fluxos Adicionais

5.9 Considerações Específicas

Como pode-se constatar nos resultados apresentados, o modelo de mapeamento proposto manteve estáveis os níveis de QoS fim a fim, mesmo em situações de congestionamento generalizado. Fica evidente a necessidade de um processo de mapeamento, sem o que o ganho de precedência de fluxo obtido em um determinado domínio pode ser perdido em outro domínio com mecanismos de priorização diferentes. No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões gerais e os trabalhos a serem realizados no futuro.