

Avaliação da QoS em redes Ethernet

M. Carmo, J. Sá Silva, E. Monteiro, P. Simões, M. Curado and F. Boavida
Universidade de Coimbra,
Laboratório de Comunicações e Telemática
DEI / CISUC
Polo II, 3030 Coimbra, PORTUGAL
Tel.: +351 239 790000 Fax: +351 239 701266
{maxweel, sasilva, edmund, psimoes, marília,
boavida}@dei.uc.pt

Resumo: A ausência de mecanismos de suporte à qualidade de serviço na camada MAC das redes *Ethernet* foi superada com o desenvolvimento das normas IEEE 802.1D e IEEE 802.1Q.

Este artigo descreve o desenvolvimento de novos módulos para o simulador NS-2 que suportam a simulação de qualidade de serviço em redes *Ethernet*. Os módulos respeitam as normas IEEE 802.1Q/D e implementam as recomendações referentes à priorização de tráfego.

A implementação é avaliada através de simulações de redes locais comutadas em *full-duplex*, e são parte da contribuição do Laboratório de Comunicações e Telemática da Universidade de Coimbra para o projecto EuQoS [1].

1. Introdução

Network Simulation 2 (NS-2) [2] é uma ferramenta de simulação de eventos discretos amplamente utilizada na área das rede de computadores. O NS-2 é uma ferramenta *open source* e suporta a simulação de uma grande variedade de protocolos de rede. Implementado nas linguagens C++ e Otel, o NS-2 é bastante flexível, permitindo que novas extensões sejam desenvolvidas e adicionadas.

Os resultados de qualquer simulação efectuada no NS-2 podem ser analisados por diferentes ferramentas como o *Network Animator* (NAM), o *Xgraph* [3] ou o *gnuplot* [4].

O desenvolvimento de redes *Ethernet* a 1 e 10 Gbps possibilitou a expansão das tecnologias *Ethernet* para cenários de grande dimensão. Actualmente, as redes *Ethernet* abrangem desde simples redes domésticas – *Small Office Home Office* (SOHO), até às redes de grande área (WAN). Neste contexto, é importante encontrar novos mecanismos para o suporte à Qualidade de Serviço (QoS) nas redes *Ethernet*. As normas IEEE 802.1Q [5] e IEEE 802.1D [6] vêm de encontro a esta necessidade, especificando meios para a priorização de pacotes na camada MAC.

A norma IEEE 802.1Q define a operação de LANs virtuais (VLAN) em *bridges* LAN. A norma modifica o cabeçalho do *frame* MAC, adicionando um campo de 4 bytes (Figura 1), que é usado tanto para o controle de operação de uma VLAN quanto para a implementação de QoS através da priorização dos pacotes. Os primeiros 2 bytes (TPID) do campo são utilizados para identificar um *frame* 802.1Q (todos os *frames* 802.1Q têm este campo atribuído com o valor 0x8100). Os outros 2 bytes são constituídos por 3 sub-campos: um indicador de formato canónico (CFI), o campo VLAN (usado para armazenar o identificador da rede virtual) e um campo de 3 bits usado para marcar o pacote com uma certa prioridade.

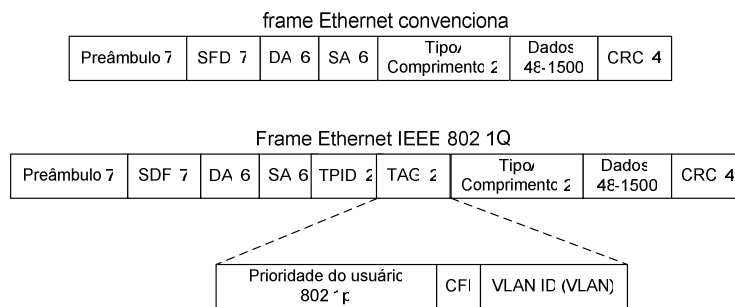


Figura 1. Frame Ethernet

A norma IEEE 802.1Q define o campo de prioridade, mas não os seus possíveis valores. Estes valores, juntamente com os detalhes de operação, são descritos à parte pela norma IEEE 802.1p, a qual, por sua vez, é parte integrante da norma IEEE 802.1D.

A norma IEEE 802.1p permite que os fluxos sejam tratados de forma diferenciada nas redes LAN através da definição de 8 classes de tráfego. Para tal, recorre-se ao campo de prioridade definido pela norma IEEE 802.1Q. Como resultado, uma rede *Ethernet* pode, por exemplo, priorizar o tráfego de vídeo ou de voz sobre IP (VoIP) em relação aos demais tipos de tráfego.

A norma IEEE 802.1p pode também ser definida como QoS de melhor esforço (*best-effort*) na camada 2, uma vez que o tráfego é simplesmente classificado e enviado para o destino, não sendo utilizado, para estes casos, nenhum mecanismo de reserva de recursos.

O artigo está organizado da seguinte forma: a próxima secção descreve as principais características da tecnologia *Ethernet* e apresenta um resumo do projecto EuQoS. A secção 3 apresenta os detalhes de implementação dos módulos NS-2 referentes às normas 802.1p e 802.1Q. A secção 4 descreve alguns exemplos que ilustram o uso dos módulos desenvolvidos. As conclusões e trabalhos futuros são apresentados na secção 5.

2. Redes Ethernet de Próxima Geração

2.1. Tecnologia Ethernet

O termo *Ethernet* refere-se com frequência à família de protocolos para redes locais (LAN) descritas pelo grupo IEEE 802.3. A proposta original desta norma IEEE foi aprovada em 1983 e publicada oficialmente em 1985 (ANSI/IEEE Std. 802.3 – 1984). Desde sua definição, um considerável número de suplementos tem sido definido de forma a aproveitar os avanços tecnológicos relativos ao suporte a novos meios de transmissão e a altas taxas de transferência de dados.

As redes *Ethernet* compreendem uma ampla gama de taxas de transmissão (10Mbps, 100Mbps, 1Gbps e 10Gbps), meios de transmissão, topologias e modos de operação. Apesar disso, é possível estabelecer um denominador comum entre as tecnologias *Ethernet* relevantes: a maioria de redes *Ethernet* actuais operam em modo comutado, *full-duplex*, têm como base as topologias em estrela e utilizam cabos de par trançado e/ou fibra óptica como meios de transmissão.

2.2. Cenários Emergentes

Historicamente, a tecnologia *Ethernet* tem dominado o mercado de redes LAN por décadas, devido, basicamente, aos seguintes factores: simplicidade, compatibilidade

com tecnologias *Ethernet* anteriores, preços competitivos, facilidade de utilização e a capacidade de satisfazer a contínua necessidade por taxas mais elevadas de transmissão. Actualmente, com a conquista do mercado das redes de grande dimensão, a tecnologia *Ethernet* compete já com tecnologias que se adivinhavam estáveis.

A ampla divulgação da tecnologia *Ethernet* tem resultado em novos cenários que podem ser identificados de acordo com a distribuição geográfica, número e tipo de utilizadores. É possível classificar, pelo menos, seis cenários distintos de redes *Ethernet*:

- *Small Office and Home Office* (SOHO) - tipicamente uma rede SOHO é limitada a um escritório ou residência com poucos utilizadores. Equipamentos económicos e de baixa capacidade são utilizados para ligar os PCs, permitindo a partilha de recursos como impressoras e o acesso à Internet.
- Edifícios de negócios - estão geralmente equipados com uma rede *Ethernet* que é partilhada pelas várias empresas instaladas numa zona geográfica. A rede consiste, normalmente, em um troço de *backbone* de fibra óptica de alta velocidade e vários segmentos *Ethernet* ligados por meio de *switches*. Uma vez que várias empresas utilizam a mesma rede, esta é dividida em redes virtuais (VLAN) de forma a garantir a privacidade dos dados de cada companhia. Os edifícios por sua vez são ligados a uma rede MAN ou possuem uma ligação WAN de alta velocidade, partilhada por todas as empresas.
- *Campus* universitário - a maioria das universidades apresenta, actualmente, troços *Ethernet*. A sua estrutura física é geralmente composta por vários edifícios espalhados por um *campus*.
- Organizações MAN - nestes cenários, duas variantes de redes *Ethernet* são utilizadas: *Ethernet* a 1 e a 10 Gbps.
- MAN residencial - as redes EPON (*Ethernet Passive Optical Network*) representam uma promissora tecnologia de fibra óptica para a ligação da estação central (CO - *Central Office*) aos clientes residenciais (“*last mile network*”). Em contraste com as tecnologias de fibra óptica ponto-a-ponto, uma EPON recorre a uma arquitectura ponto-multiponto (sem a necessidade de componentes electrónicos entre o CO e o cliente). Isso permite que os custos da rede sejam partilhados pelos diversos clientes.
- *Ethernet* WAN - um dos objectivos da IEEE 802.3ae *Task Force* foi o de estender as redes *Ethernet* para os cenários MAN e WAN. O desenvolvimento das soluções a 1 e a 10 Gbps tiveram uma importante contribuição para este processo.

2.3. O Projeto EuQoS

O EuQoS é um projecto integrado da UE que tem como objectivo principal encontrar soluções que permitam fornecer suporte de QoS para uma ampla gama de tecnologias de rede (incluindo *Ethernet*) e aplicações como voz sobre IP, video-conferência, *video-streaming*, aplicações educacionais, tele-engenharia e aplicações médicas.

Uma das linhas de investigação do projecto EuQoS consiste no desenvolvimento de ferramentas de modelação e de simulação com o objectivo de avaliar e validar os mecanismos propostos no projecto.

3. Implementação de QoS em Redes Ethernet para o NS-2

Apesar de possibilitar a simulação de redes *Ethernet*, o NS-2 não suporta as normas 802.1Q e 802.1D.

Para a simulação de QoS em redes *Ethernet* foi desenvolvido um módulo de fila específico que implementa as recomendações da norma IEEE 802.1D no que se refere a priorização de tráfego. Basicamente, a fila apresenta as seguintes propriedades:

- Permite configurar até 8 filas virtuais de forma que seja possível agrupar os pacotes em diferentes classes de tráfego, de acordo com as recomendações descritas.
- O mecanismo de escalonamento é implementado de forma que pacotes de uma certa fila virtual (classe de tráfego) sejam seleccionados para transmissão somente se todas as filas de maior prioridade estiverem vazias.

A implementação aqui descrita pressupõe um cenário *Ethernet* comutado operando em modo *full-duplex*. As funcionalidades do módulo são detalhadas na próxima secção.

3.1. Detalhes de Implementação

O objectivo da fila de espera desenvolvida é permitir o escalonamento dos pacotes, dando tratamento preferencial àqueles de maior prioridade. Para isso, o módulo analisa o valor de prioridade de cada pacote. Esses valores são definidos pela norma IEEE 802.1D e assumem um dos níveis apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Valores de prioridade recomendados pela norma IEEE 802.1D

Prioridade (IEEE 802.1p)	Traffic Type
7 (maior prioridade)	Gestão de rede
6	Voz
5	Vídeo
4	Carga controlada
3	Excelente esforço
0	<i>Best effort</i>
2	Não definido
1 (menor prioridade)	Background

O módulo suporta até 8 filas virtuais que são usadas para classificar os pacotes em diferentes classes de tráfego. Cada pacote que chega ao *switch* é direccionado para uma fila específica de acordo com seu valor de prioridade. Caso tenha prioridade menor que a de zero, o pacote é processado como se fosse um pacote *best-effort* (prioridade 0). Caso o valor de prioridade seja maior que 7, o pacote é direccionado para a fila de mais alta prioridade.

A utilização de 8 filas não é obrigatória, sendo possível qualquer valor entre 1 e 8. Nos casos onde o número de filas virtuais é menor que 8, pacotes com diferentes prioridades podem ser encaminhados para a mesma fila. Por exemplo, para nós configurados com apenas uma única fila virtual, todos os pacotes são mapeados para a mesma fila. Neste caso, os pacotes recebem o mesmo tratamento, não existindo diferentes classes de tráfego.

A norma IEEE 802.1D recomenda um mapeamento dos valores de prioridade de acordo com o número de classes de tráfego (filas virtuais) disponíveis. Este mapeamento é implementado pelo módulo e apresentado na tabela 2. Por exemplo,

um *switch* que implementa duas filas irá mapear os pacotes com prioridade 0, 1, 2 ou 3 na fila de mais baixa prioridade, enquanto que pacotes marcados com prioridade 4, 5 6 ou 7 serão direccionados para a fila de maior prioridade.

Os pacotes com prioridade 0 recebem tratamento preferencial em relação a pacotes com prioridade 1 e 2 em filas que implementam 4 ou mais filas virtuais, de acordo com o Anexo G da norma IEEE 802.1D.

Tabela 2. Mapeamento recomendado de prioridade de acordo com o número de filas virtuais

		Número de filas virtuais disponíveis							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Prioridade	0	0	0	0	1	1	1	1	2
	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	1
	3	0	0	0	1	1	2	2	3
	4	0	1	1	2	2	3	3	4
	5	0	1	1	2	3	4	4	5
	6	0	1	2	3	4	5	5	6
	7	0	1	2	3	4	5	6	7

Para retirar os pacotes da fila e retransmiti-los adiante para outro componente NS-2 é necessário um mecanismo de escalonamento. No escalonador implementado, os pacotes de uma determinada fila são seleccionados para transmissão somente se todas as filas de maior prioridade estiverem vazias.

3.2. Configuração dos valores de prioridade

Os pacotes NS-2 são constituídos por uma pilha de cabeçalhos e, opcionalmente, por um campo de dados, como mostra a Figura 2. Quando uma simulação é iniciada, cada pacote é configurado com todos os cabeçalhos registrados no simulador como o TCP, IP, RTP e outros, mesmo que o protocolo em questão não seja utilizado. O cabeçalho *common* é utilizado internamente pelo NS-2 e está presente em todos os pacotes. Para marcar a prioridade IEEE 802.1D é utilizado o campo de prioridade.

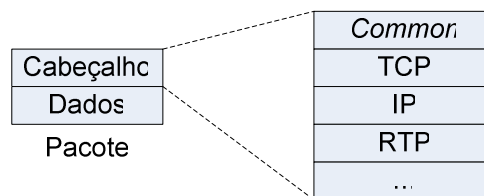


Figura 2. Formato de um pacote NS-2

3.3. Interfaces Otcl

O módulo desenvolvido é referenciado em Otcl como EthPrioQueue. Este *script* disponibiliza interfaces através das quais é possível configurar diversos parâmetros como o número de filas virtuais e o tamanho de *buffer* de cada fila.

4. Avaliação e Resultados

4.1. Cenários

Para avaliar o módulo acima descrito foram implementados vários cenários. Nesta secção serão exemplificados cinco cenários, todos baseados em ambientes SOHO.

A Figura 3 ilustra a topologia utilizada. Os nós n0, n1, n2 e n4 representam equipamentos terminais (computadores, impressoras, etc.). O nó intermédio (n3) representa um *switch* que liga os nós n0, n1 e n2 ao nó n4.

Um fluxo VoIP é gerado entre os nós n0 e n4. Durante esta sessão, é também gerado tráfego entre n1-n4 e n2-n4 de forma a aumentar o nível de congestão nas filas da *switch*.

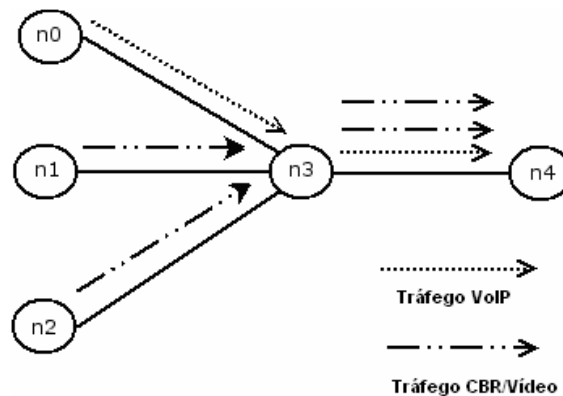


Figura 3. Cenário SOHO

4.2. Modelação do tráfego

Para as simulações foram considerados dois tipos de tráfego: pacotes enviados como tráfego *best-effort* e pacotes sensíveis ao atraso (tráfego de alta prioridade).

Para representar o tráfego de alta prioridade a especificação VoIP G.711 [7] foi utilizada. Tráfego de voz de alta qualidade impõe certas restrições de rede como o atraso reduzido para manter a qualidade da comunicação. Um *codec* G.711 apresenta as seguintes características: largura de banda de 64 kbps, 20ms de atraso e *frames* de tamanho constante.

Geralmente, as aplicações VoIP utilizam mecanismos de detecção de actividade de voz (VAD) para evitar a transmissão de pacotes em períodos de silêncio. Embora existam modelos que permitam modelar estes mecanismos [8], eles não foram utilizados nas simulações. Pelo contrário, para a representação do tráfego VoIP foram utilizados componentes CBR (*Constant Bit Rate*) disponíveis no NS-2. Os parâmetros CBR foram configurados de forma a simular tráfego G.711 sem suporte a VAD.

Para a representação de períodos de congestão, dois tipos de tráfego foram implementados: um componente CBR que gera pacotes a taxas de transmissão constante e uma aplicação que simula *streaming* de vídeo MPEG-4 [9].

Todas as fontes de tráfego foram ligadas por agentes UDP, os quais são responsáveis pela criação dos pacotes e pela configuração de seus valores de prioridade. As taxas de transmissão dos componentes CBR foram escolhidas de forma oferecer períodos consideráveis de congestão para análise do atraso ao longo do tempo.

Em todos os cenários, os três fluxos foram monitorizados.

4.3. Cenário 1: Fila *Drop Tail* e tráfego CBR

Neste cenário, o nó n3 (*switch*) foi configurado com uma fila *Drop Tail* (FIFO). Para simulação do tráfego *background* dois componentes CBR foram ligados aos nós n1 e n2.

O atraso de cada fluxo ao longo do tempo é apresentado na Figura 4. Inicialmente, o atraso do tráfego VoIP estava próximo dos 20ms. Após o primeiro segundo de simulação, o nó n1 começou a transmitir, elevando o nível de congestão da fila. Como consequência, houve um expressivo aumento no atraso experimentado pelos fluxos.

Depois de três segundos, o nó n0 encerrou sua transmissão (Traf0 na legenda), o que reduziu a congestão na fila e, em consequência, o atraso dos fluxos.

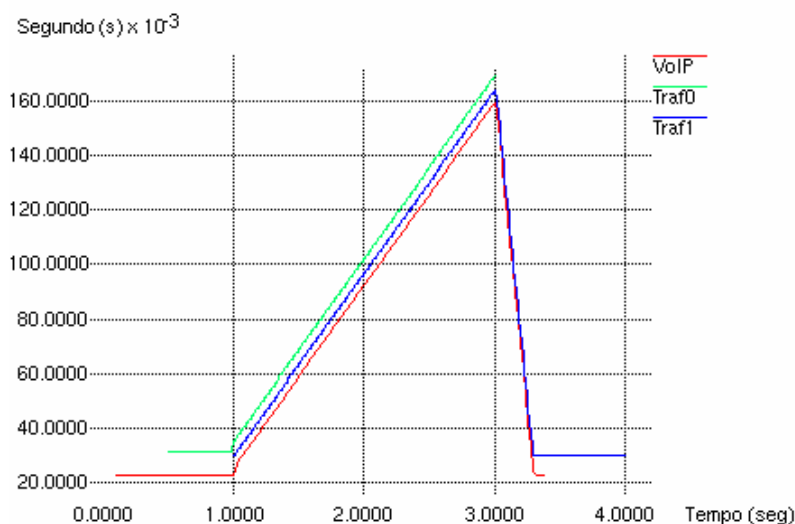


Figure 4. Delay dos pacotes em uma fila *Drop Tail*

Uma vez que a fila *Drop Tail* não faz diferenciação dos pacotes, todos os fluxos apresentam atrasos semelhantes. Para aplicações sensíveis ao atraso, como VoIP e a videoconferência, este comportamento não é o mais adequado.

4.4. Cenário 2: Fila *EthPrioQueue* e tráfego CBR

Para suportar um tratamento preferencial ao tráfego VoIP, a fila *DropTail* foi substituída por um componente *EthPrioQueue* configurada com 8 filas virtuais.

Os pacotes VoIP foram marcados com prioridade 6 enquanto que os fluxos n1-n4 (Traf0 na legenda) e n2-n4 (Traf1) foram configurados com prioridade 0 (tráfego *best-effort*).

O atraso do tráfego VoIP permaneceu reduzido durante toda a simulação, ao contrário dos fluxos CBR, onde os valores variaram de acordo com o nível de congestão da rede. (Figura 5).

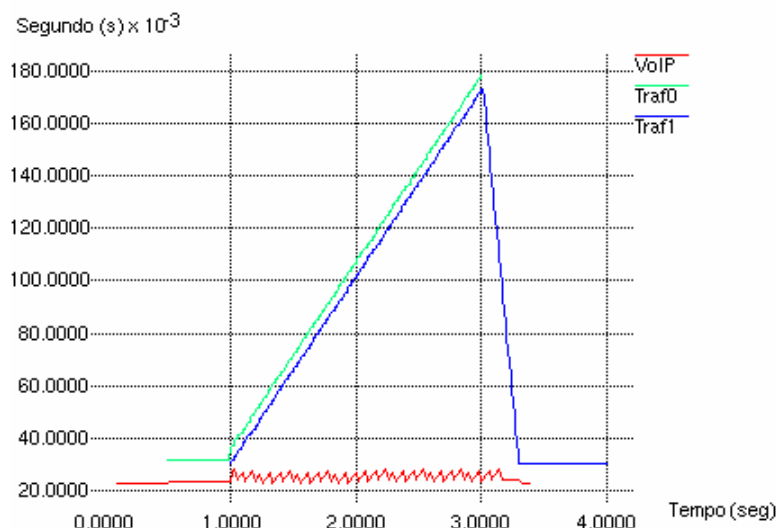


Figura 5. Delay dos fluxos em filas EthPrioQueue

4.5. Cenário 3: Fila Drop Tail e tráfego de Vídeo

Neste cenário os componentes CBR foram substituídos por fontes de tráfego MPEG-4.

A Figura 6 apresenta o atraso dos três fluxos durante 45 segundos, aproximadamente. Por não haver priorização de tráfego, o atraso dos pacotes VoIP variam de acordo com a disponibilidade da fila, alcançando um valor de pico próximo aos 17ms.

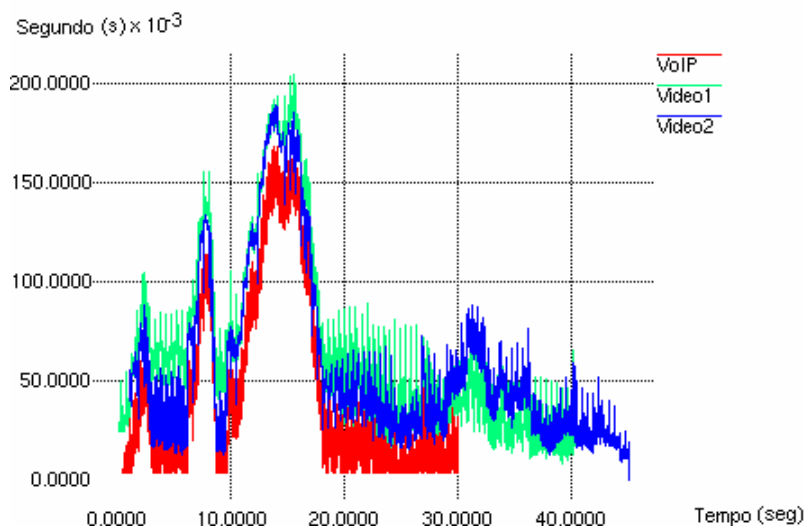


Figura 6. Tráfego de vídeo e VoIP utilizando fila Drop Tail

4.6. Cenário 4: Fila EthPrioQueue e tráfego de Vídeo

Neste cenário utilizou-se uma fila EthPrioQueue para classificar o tráfego acima em duas classes: tráfego VoIP e tráfego de vídeo. Por serem mais sensíveis ao atraso, os pacotes VoIP foram configurados com alta prioridade, para terem precedência em períodos de congestão. Na Figura 7 é possível distinguir as duas classes. A primeira, formada pelos dois fluxos de vídeo, apresenta níveis elevados de atraso quando comparada com a segunda (fluxo VoIP).

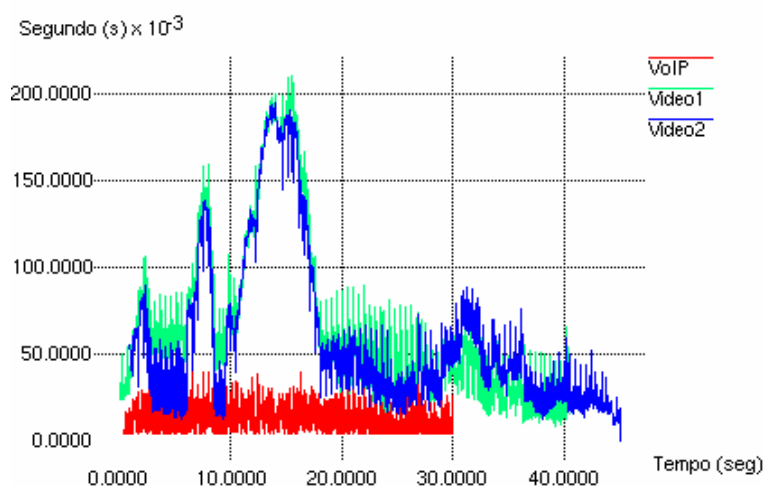


Figura 7. Duas classes de Tráfego: VoIP e Video

4.7. Cenário 5: Fila EthPrioQueue e fluxos de video com diferentes valores de prioridade

Neste último cenário todos os fluxos foram configurados com diferentes prioridades. O fluxo VoIP foi associado com a prioridade máxima, seguido pelos fluxos Video1 e Video2.

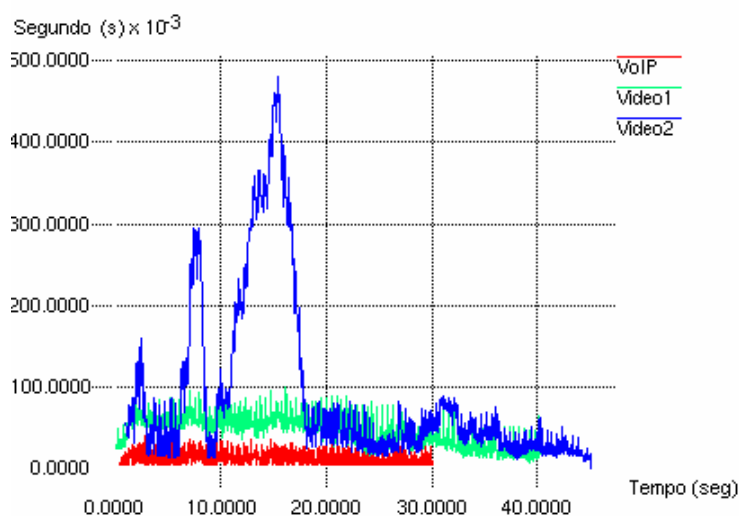


Figura 8: Três diferentes níveis de prioridade

Comparado com o cenário anterior, o fluxo Video1 apresenta baixos níveis de atraso durante a simulação (Figura 8). Por outro lado, o tráfego Video2 (de prioridade mais baixa) sofreu um considerável aumento do atraso em períodos de grande congestão. Os picos verificados devem-se ao elevado número de pacotes dos outros dois fluxos que chegam à fila. Como têm precedência, estes pacotes são retransmitidos primeiro, aumentando o período de espera dos pacotes do fluxo Video2.

Em *switches* que não realizam diferenciação de tráfego, todos os fluxos recebem o mesmo tratamento e compartilham os mesmos problemas. No primeiro cenário, por exemplo, o tráfego VoIP começou com um atraso de 20ms mas, durante o período de congestão, experimentou um pico de 150ms.

Nos cenários que utilizaram o mecanismo de priorização, o atraso dos fluxos de alta prioridade manteve-se baixo durante todo o período de simulação.

5. Conclusão

As tecnologias Ethernet têm sido amplamente adoptadas em diferentes tipos de rede. O aparecimento de soluções Ethernet a 1 e a 10Gigabit, e a disseminação da utilização de *switches* operando em modo *full-duplex* têm aumentado a necessidade de dotar estas redes com mecanismos de QoS. Neste contexto, as normas IEEE 802.1D e IEEE 802.1Q especificam procedimentos para permitir o tratamento preferencial de pacotes na camada MAC.

Este artigo apresentou uma implementação deste mecanismo para o NS-2. Por meio de cenários de avaliação foi possível analisar como a priorização do tráfego pode afectar o desempenho da rede.

A implementação aqui proposta pode ser útil em diversos estudos. Por exemplo, poderá auxiliar na avaliação e comparação de diferentes valores de prioridade para as aplicações, por forma a se escolher os valores mais apropriados para a rede em questão. Utilizando os modelos de tráfego adequados é possível, por exemplo, analisar quantas ligações VoIP a rede é capaz de manter sem perda de qualidade.

Outro estudo que está a decorrer no âmbito do projecto EuQoS é a análise de novos mecanismos de reserva de recursos em redes Ethernet, tendo como base o módulo apresentado neste artigo. Também, como um estudo futuro, pretende-se estender o trabalho de avaliação para diferentes tecnologias Ethernet como, por exemplo, às redes EPONs.

Referências

- [1] EuQoS – End-to-end Quality of Service Support for Heterogeneous Network, www.euqos.org.
- [2] The Network Simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [3] Xgraph, <http://www.isi.edu/nsnam/xgraph>.
- [4] Gnuplot homepage, <http://gnuplot.sourceforge.net>, 2004.
- [5] 802.1Q, Standards for Local and metropolitan area networks, “Virtual Bridged Local Area Networks”, IEEE Computer Society, 2003.
- [6] 802.1D, Standards for Local and metropolitan area networks, “Media Access Control (MAC) Bridges”, IEEE Computer Society, 2004.
- [7] Recommendation G.711, “Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies,” ITU, Nov. 1988.
- [8] Chen-Nee Chuah, “A Scalable Framework for IP-Network Resource Provisioning through Aggregation and Hierarchical Control”, Ph.D. Dissertation, 2001, www.ece.ucdavis.edu/~chuah/thesis/thesis_summary.html.
- [9] Frank H.P. Fitzek and Martin Reisslein, “MPEG4 and H.263 Video Traces for Network Performance evaluation”, volume 15 no. 6, pages 40-54. IEEE Network, November/December 2001.