

Avaliação do PHB-D3 do modelo LCT-QoS

Paulo Loureiro¹, David Lourenço, Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro
loureiro@estg.iplei.pt, {pdavid, quadros, edmundo}@dei.uc.pt

Laboratório de Comunicações e Telemática da Universidade de Coimbra (LCT-UC)
DEI, Polo II, Pinhal de Marrocos, 3030-290 Coimbra
<http://lct.dei.uc.pt>

Resumo

Com este artigo pretende-se avaliar o PHB-D3 definido no âmbito do grupo de trabalho de qualidade de serviço do LCT-UC. Para isso foi necessário definir uma estratégia de avaliação que incluiu a definição dos critérios de avaliação e a caracterizando os testes a realizar. Após esta fase foi possível submeter o PHB-D3 a testes e retirar conclusões em relação à sua possível utilização na Internet.

I. Introdução

No LCT da Universidade de Coimbra foi especificado e implementado um modelo encaminhador de pacotes (modelo LCT-QoS), baseado no paradigma *Differentiated Services* do IETF-*Internet Engineering Task Force*[1][2], com funcionalidade para diferenciar tráfego e com capacidades para fornecer qualidade de serviço (QoS) às aplicações que o necessitem.

No âmbito do modelo LCT-QoS, no Laboratório de Comunicações e Telemática, foi desenvolvido um PHB identificado por D3-Distribuição Dinâmica da Degradação[3]. O princípio essencial do PHB-D3 consiste em considerar que os recursos da rede devem ser redistribuídos de forma dinâmica pelas diferentes classes de tráfego, em função dos requisitos de qualidade de serviço e da sensibilidade à degradação associados a cada classe, sem que, para isso, seja necessário efectuar grandes alterações na tecnologia IP.

A implementação do PHB-D3 já foi sujeito a testes controladas[3], realizados em laboratório, com todos os parâmetros com possível influência no comportamento do modelo a ter valores previsíveis, tendo-se obtido bons resultados, de onde se pode concluir que estamos na presença de uma arquitectura capaz de diferenciar tráfego.

No entanto, pelos encaminhadores da *Internet*, local onde o presente modelo poderá vir a ser utilizado, passa tráfego com características muito diferentes daquelas a que o modelo foi sujeito, por exemplo, aplicações muito diversas, protocolos com comportamentos diferentes, situações de congestionamento, pacotes com tamanhos variáveis, etc. Por tudo isto depreende-se que a avaliação do modelo deverá ser feita em situações de tráfego real, na própria *Internet*. Devido à impossibilidade que é colocar um protótipo em funcionamento neste ambiente, a alternativa é construir um modelo, em ambiente fechado, que se aproxime ao máximo da realidade que é a *Internet*.

¹ Assistente na Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria

Com o presente trabalho pretende-se sujeitar o PHB-D3 a uma bateria de testes que sejam, o mais possível, uma representação da *Internet* numa esfera fechado. Os resultados obtidos irão permitir avaliar o PHB-D3 em relação à sua possível utilização, como um encaminhador de tráfego diferenciado.

Este trabalho foi efectuado em duas fases, a primeira consistiu na especificação dos testes, em que foi necessário efectuar a identificação das principais aplicações da *Internet* e as suas características, a segunda fase consistiu em sujeitar o encaminhador aos testes definidos e à análise dos resultados.

No seguimento deste artigo, na secção II, é feito um enquadramento do trabalho, através de uma breve apresentação modelo LCT-QoS. A secção III apresenta a estratégia de avaliação, onde é referido a forma como os testes serão realizados e os critérios de avaliação. Na secção IV são apresentados os resultados dos testes. A secção V inclui a conclusão aos resultados obtidos.

II. Modelo LCT-QoS

A *Internet* fornece um serviço baseado no modelo melhor possível (*Best-Effort*), em que todas as aplicações recebem da rede o mesmo tratamento, suficiente para satisfazer as necessidades de comunicação de alguns utilizadores, no entanto, já o não é para um novo tipo de utilizadores, que esperam da rede garantias de um serviço com qualidade. Este problema já foi identificado e a comunidade científica organizou-se para apresentar soluções que tornem a *Internet* mais segura e com capacidades para fornecer serviços com qualidade garantida. O IETF[4] é a organização que tomou o comando desta investigação, no entanto, outras organizações, instituições e investigadores individuais contribuem através da apresentação de modelos que solucionem este problema. Actualmente existem duas arquitecturas propostas, a *Integrated Services(IntServ)*[5] e a *Differentiated Service(DiffServ)*[6].

O LCT inclui o grupo de trabalho de QoS que está envolvido no desenvolvimento de um modelo que seja capaz de permitir à *Internet* fornecer serviços com qualidade. O trabalho desenvolvido enquadra-se na arquitectura *DiffServ* e tem vindo a especificar um conjunto de módulos com funcionalidades de encaminhamento com qualidade de serviço. A ideia base deste modelo é o conceito de classes múltiplas, ou seja, a *Internet* deve ser vista como um conjunto de classes de tráfego com diferentes requisitos de qualidade.

A. Arquitectura differentiated services

A abordagem *DiffServ*[1] consiste na definição de um conjunto de blocos funcionais para os encaminhadores, capazes de distinguir o tráfego em função da classe a que pertence e garantir que os pacotes são encaminhados pela ordem dos seus requisitos de qualidade. A distinção do tráfego[2] é conseguida utilizando códigos conhecidos pelos encaminhadores, que são incluídos no octeto Ipv4 TOS (*Type of Service*) ou no octeto IPv6 TC (*Traffic Class*). Este código define o tipo de serviço que determinado pacote espera receber em cada nó da rede. As funcionalidades *DiffServ* necessitam de alguns compromissos entre os diversos fabricantes de encaminhadores, de modo a que o valor

do byte que define o serviço esperado, ou PHB, seja entendido por todos os nós da rede e o serviço prestado seja aquele que o utilizar espera da rede IP. Para isto, o grupo de trabalho tem estado a desenvolver esforços na definição de um padrão que identifique as diferentes classes.

Outra das características importantes desta arquitectura é permitir à *Internet* fornecer um serviço sem recorrer a mecanismos de sinalização e manutenção do estado dos nós da rede. Isto é conseguido através da distinção entre encaminhadores que se encontram na fronteira de um domínio e encaminhadores situados no interior desse mesmo domínio. Esta solução permite que a arquitectura *DiffServ* possa ser utilizada tanto em redes pequenas, como em redes de grande escala, visto que a complexidade é movida para os encaminhadores onde o volume de tráfego é menor, ou seja, é uma arquitectura escalável.

O termo “serviço”, muito utilizado por esta arquitectura, refere-se às características de transmissão dos pacotes ao longo de uma rede. Estas características podem ser especificadas de uma forma quantitativa pelos parâmetros débito, atraso, latência e perdas ou em termos de prioridade no acesso aos recursos da rede.

B. PHB-3

No âmbito do modelo LCT-QoS, no Laboratório de Comunicações e Telemática, foi desenvolvido um PHB identificado por D3-Distribuição Dinâmica da Degradação[3]. O princípio essencial do PHB-D3 consiste em considerar que os recursos da rede devem ser redistribuídos de forma dinâmica pelas diferentes classes de tráfego, em função dos requisitos de qualidade de serviço e da sensibilidade à degradação associados a cada classe, sem que, para isso, seja necessário efectuar grandes alterações na tecnologia IP.

A redistribuição dinâmica dos recursos da rede tem por objectivo proteger algumas classes em relação a outras, tendo por base a sensibilidade à degradação associada a cada classe, ou seja, as classes mais sensíveis deverão ter menor degradação do que as classes menos sensíveis. A degradação será distribuída dinamicamente entre as classes e o controlo desta distribuição é feita de forma independente para os parâmetros atraso e perdas.

O atraso e as perdas associados a um fluxo dão origem a valores de degradação diferentes mediante a qualidade que a aplicação que gera esses fluxos exige, ou seja, os parâmetros atraso e perdas não devem ser interpretados como valores absolutos porque podem ter importâncias diferentes caso pertençam a aplicações distintas. Para tornar possível a comparação da qualidade atribuída a cada classe, o modelo define um parâmetro identificado por *Índice de Congestão* (IC), o qual representa o impacto da degradação nas aplicações. De acordo com esta métrica, a qualidade de serviço é quantificada através da variável IC. Para cada classe, será definido um IC relativo ao atraso e um IC relativo a perdas. O conceito de “declive de degradação” (DSlope) é utilizado pela métrica[7] na definição da sensibilidade à degradação em relação a atrasos e perdas, para cada classe. Uma classe com um valor elevado de degradação para uma característica de QoS deverá ter um valor de DSlope elevado associado a essa característica. A Figura 1 apresenta três classes com diferentes sensibilidades à degradação do atraso, alta, média e baixa.

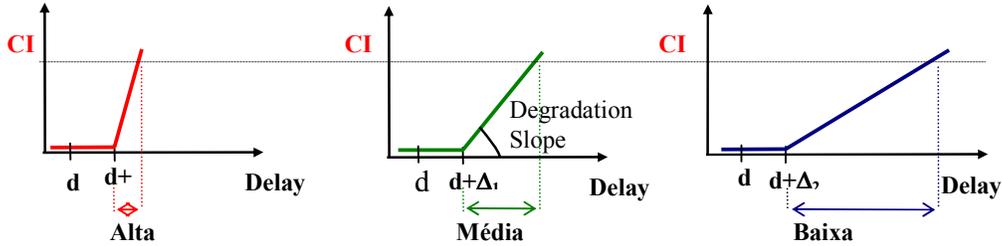


Fig. 1 – DSlope [3]

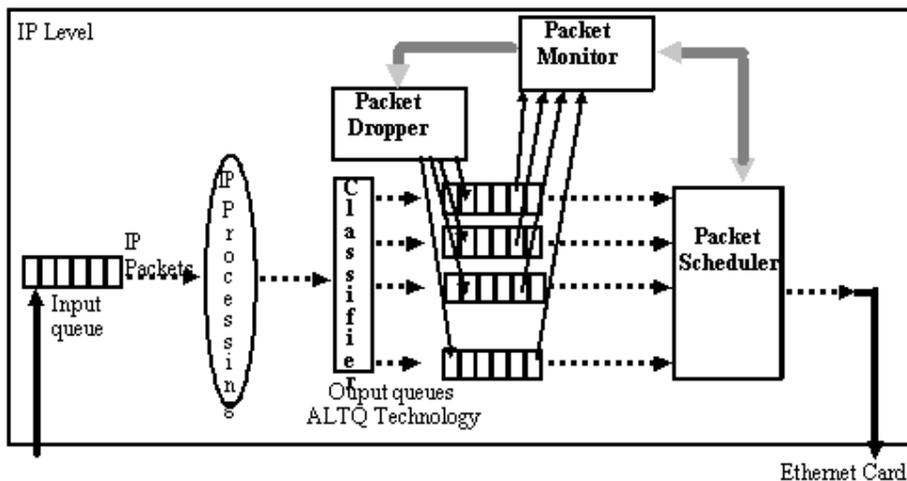
Em funcionamento pretende-se manter a situações de todas as classes apresentarem o mesmo valor para o parâmetro IC em relação a perdas e em relação a atrasos.

O PHB-D3 é implementado por vários componentes:

- **Classificador(Classifier)/marcador**, responsável por determinar a classe a que o pacote pertence e colocação dessa informação no pacote.
- **Monitor(Monitor)**, responsável por determinar a média do atraso e perdas para cada classe e por calcular os correspondentes ICs. Os cálculos são efectuados em cada 10 ms (este valor pode ser configurado). Este valor deve resultar de um acordo entre a capacidade de processamento e a resposta do sistema.
- **Descartador(Dropper)**[8], responsável por distribuir o recurso memória pelas classes.
- **Escalonador(Scheduler)**[9], responsável por distribuir o recurso capacidade de transmissão de pacotes pelas classes.

Fazem parte do modelo LCT-QoS mais dois componentes, o *Routing*[10], que efectua o encaminhamento baseado no estado dos nós da rede mas também nas necessidades do tráfego, e o *Controlo de Admissão*[11], que efectua um controlo aos pacotes na entrada das interfaces.

A Figura 2 apresenta a arquitectura do encaminhador que implementa o PHB-D3[3].



III. Estratégia de avaliação

Nesta secção é apresentada a parametrização do PHB-D3, os critérios de avaliação, a caracterização dos testes e a aplicação que irá ser utilizada para gerar o tráfego.

A. Parametrização do PHB-D3

A parametrização do PHB-D3 inclui a definição das classes de tráfego, os valores a utilizar pelo parâmetro DSlope e o identificador DS.

1) Classes de tráfego

O modelo de serviços diferenciados proposto pela IETF, classifica o tráfego num número limitado de classes. A diferença entre as classes corresponde ao PHB que lhes é atribuído, ou seja, os recursos que são atribuídos aos pacotes e a forma como esses recursos são utilizados por cada uma das classes. O modelo considerado para efeitos deste trabalho utiliza quatro classes de tráfego, diferenciadas pelos valores que possuem em relação a sua sensibilidade a atrasos e a perdas. Esta classificação foi retirada de um trabalho elaborado no LCT[12].

A Tabela 1 apresenta a avaliação das quatro classes em relação aos parâmetros sensibilidade a atraso, sensibilidade a perdas e as aplicações que nelas se encaixam.

Classe	Sensibilidade a atraso	Sensibilidade a perdas	Aplicações
1	Baixa	Baixa	<i>Best-effort</i>
2	Alta	Média	<i>Internet telephony</i>
3	Alta	Baixa	<i>Video real-time</i>
4	Média	Alta	<i>Video Training</i>

Tabela 1 – Classes de tráfego

2) Valores para DSlope

O parâmetro DSlope possui valores quantitativos e permite definir a degradação que as aplicações sofrem quanto os seus pacotes são descartados ou atrasados. Apesar do parâmetro poder tomar valores entre 0° e 85°(um declive de 90° implicaria perda de estabilidade), pretende-se encontrar valores específicos e bem definidos para os quais o encaminhador tenha o melhor comportamento. Foram experimentados vários valores para o parâmetro DSlope tendo se obtido os melhores resultados com os valores apresentados na Tabela 2.

Dslope	
Valor qualitativo	Valor quantitativo
Baixo	20°
Médio	40°
Alto	60°

Tabela 2 – Valores DSlope

3) Identificador DS

A diferenciação das classes é feita em função do valor presente no octeto Ipv4 TOS. A Tabela 3 apresenta os valores usados, identificadores para cada classe.

Classe	Identificação DS
1	000111XX
2	001011XX
3	001111XX
4	010011XX

Tabela 3 – Identificador DS

B. Critérios de avaliação

O PHB-D3 tem por finalidade efectuar a distinção de tráfego nos encaminhadores da *Internet*. Para que isso seja possível é necessário confirmar que o modelo apresenta um conjunto de características que se consideram suficientes para provar a sua praticabilidade:

- **Eficácia** - o modelo deverá ser capaz de distinguir o tráfego em função dos seus requisitos de qualidade para os vários estados de funcionamento por que passa um encaminhador;
- **Estabilidade** - o modelo deverá apresentar um comportamento previsível em relação à diferenciação do tráfego para todos os estados de funcionamento dos encaminhadores, de acordo com a especificação definida para o modelo. A funcionalidade do modelo deve ser confirmada para as situações que provoquem alterações, mais ou menos bruscas, das condições de funcionamento por que passa um encaminhador durante o seu período de funcionamento;
- **Escalabilidade** - o modelo deverá ser capaz de diferenciar o tráfego para as diversas situações em que um encaminhador pode ser utilizado, como sejam, numa rede de pequena dimensão, numa rede de grande dimensão, com interfaces de baixo ou elevado débito, com diferentes volumes de carga, etc;
- **Desempenho/Eficiência** - o modelo deverá fazer uma boa utilização dos recursos de comunicação. Podem ser definidos parâmetros de desempenho quantitativos que caracterizam aspectos particulares do funcionamento rede, como sejam, tempos de funcionamento sem falhas, tempo de execução das funções do encaminhador, débito, tempos de resposta e disponibilidade. O sistema será caracterizado com bom desempenho se os valores medidos e os desejados estejam próximos.

C. Caracterização dos testes

Após a decisão apresentada na secção anterior é agora necessário definir a estratégia para avaliar o PHB-D3 em relação aos parâmetros, eficácia, estabilidade, escalabilidade e eficiência/desempenho. O caminho a seguir consiste em identificar as variáveis principais com influência no comportamento do modelo. Consideraram-se três variáveis, linearmente independentes, que abrangem os elementos com influência num sistema de comunicação:

- **ambiente de teste**, que inclui a especificação da configuração da rede local (LAN) e da rede alargada (WAN), nas quais os testes serão realizados;
- **padrão de tráfego**, que inclui a especificação das aplicações que formam o tráfego da *internet* e todo um conjunto de características associadas a estas aplicações;
- **carga**, que inclui a especificação da quantidade de informação a que o modelo será sujeito.

De acordo com esta metodologia os testes podem ser obtidos a partir de um espaço tridimensional, no qual o eixo dos X representa as características associadas ao padrão de tráfego, o eixo dos Y representa as características associadas à variação da carga e o eixo dos Z representadas as características associadas ao ambiente de teste, como mostra a Figura 3.

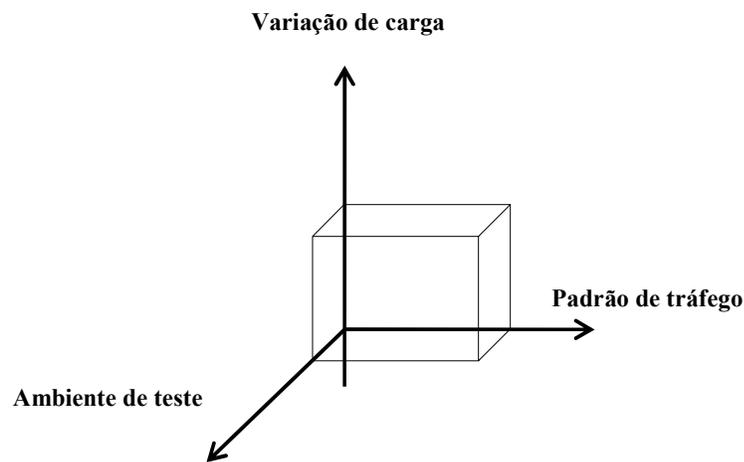


Fig. 3 – Dimensão dos testes

1) Ambiente de teste

O modelo será sujeito a testes em dois tipos de ambiente, LAN e WAN. Os testes realizados em ambiente local serão organizados em dois grandes grupos. O primeiro grupo consistirá num único encaminhador com PHB-D3 para encaminhar a informação entre máquinas pertencentes a redes diferentes, o segundo grupo de testes em ambiente local irá utilizar três encaminhadores com PHB-D3 interligados entre si, de forma que a comunicação entre máquinas tenha que passar por ambos. Os testes em ambiente alargado irão utilizar a rede WAN do projecto RiaXo[13]. Trata-se de uma rede ATM que interliga diversas instituições de I&D nacionais e a Portugal Telecom através de uma ligação a 1 Mbit/s. Em cada instituição que participará no teste será colocado um encaminhador com PHB-D3 para a comunicação entre máquinas.

2) Padrões de tráfego

Os padrões de tráfego a utilizar nos testes deverão ser, o mais possível, iguais aos que atravessam a *Internet*. Para isso foram estudados documentos de instituições que monitorizam os mais centrais encaminhadores da *Internet* e reportam essa informação, nomeadamente a instituição CAIDA-*Cooperative Association for Internet Data Analysis* [14]. Dessa análise conclui-se que as aplicações da *Internet*, ditas tradicionais,

ainda constituem o grande volume da informação, e têm por característica principal o facto de não necessitarem de um serviço com requisitos mínimos de qualidade para funcionarem devidamente. No entanto, novas aplicações são cada vez mais utilizadas, identificadas por aplicações de *Streaming*, como é o caso de “real áudio” e “voz sobre IP”-VoIP, e necessitam de ter valores mínimos em relação aos parâmetros de qualidade para funcionarem devidamente e que a *Internet* actual não fornece. A Tabela 4 apresenta essas aplicações[15][16] e as suas principais características. A identificação da classe a que pertence cada aplicação está de acordo com a Tabela 1.

Tipos de tráfego						
Aplicação	Classe	Protocolo de transporte	Tamanho dos pacotes (bytes)	Débito (bps)	Duração do fluxo	% total de tráfego
DNS	4	TCP/UDP	Baixo	Máximo	Baixa	0.9%
FTPget	4	TCP/UDP	Elevado	Máximo	Longa	3.6%
FTPput	4	TCP/UDP	Elevado	Máximo	Longa	0.7%
HTTPS	4	TCP	Variável	Máximo	Baixa	0.8%
NNTP	4	TCP	Variável	Máximo	Média	11.5%
POP3	4	TCP	Variável	Máximo	Média	0.4%
SMTP	4	TCP	Variável	Máximo	Média	3.5%
Telnet	4	TCP	1	Máximo	Longa	
HTTP text	4	TCP	300	Máximo	Baixa	59%
HTTP gif	4	TCP	300	Máximo	Baixa	
IP/TV vídeo	1	UDP/RTP	1460	1,452M	Longa	
IP/TV áudio	1	UDP/RTP	1460	93k	Longa	
NetMeeting v	2	UDP/RTP	522	64k	Longa	
NetMeeting a	2	UDP/RTP	44	12k	Longa	
NetShow	2	UDP/RTP	526	20,8k	Longa	
RealAudio	2	UDP/RTP	351	80,7k	Longa	4.9%
VoIP G.729	3	UDP/RTP	20	8k	Longa	
VoIP G.711	3	UDP/RTP	160	64k	Longa	
VoIP G.723a	3	UDP/RTP	20	5,3k	Longa	

Tabela 4 – Características do tráfego da rede IP

Para que a interpretação da Tabela 4 seja correcta é necessário saber que, segundo a CAIDA, 11% do tráfego da *Internet* é originário de aplicações que utilizam portos não registados. Para o caso das aplicações que não apresentam qualquer valor, a interpretação que deve ser feita é que a sua contribuição para o tráfego total da rede é inferior a 0.1%.

3) Variação de carga

A carga que será utilizada depende da capacidade das interfaces do encaminhador. Em ambiente LAN serão consideradas interfaces a 10Mbits e a 100Mbits. Em ambiente WAN serão consideradas cargas adequadas à capacidade das ligações entre as instituições, que é 1Mbit. Directamente relacionado com a carga está o parâmetro “número de fluxos”, que depende da capacidade das interfaces, das aplicações que forem utilizadas e da aplicação *Chariot*.

D. Aplicações de teste

Nestes testes foi utilizada a aplicação *Chariot 4.0* da *NetIQ*[17] para gerar tráfego. Esta aplicação permite testar e medir o desempenho dos componentes de uma rede que

liguem dois pontos terminais. Utiliza fluxos de dados reais, permitindo emular diversos tipos de aplicações distribuídas, capturar e analisar os resultados.

A utilização do *Chariot* é controlada através de uma consola, programa com uma interface gráfica que permite criar e executar os testes. Para criar um teste é necessário determinar quais as máquinas da rede que serão utilizadas e qual o tipo de tráfego que irá passar entre elas. Cada uma das máquinas deverá ter instalado a aplicação *NetIQ Performance Endpoint*, que integra o pacote *Chariot*. Os pontos terminais enviam o tráfego entre si e guardam as estatísticas dos parâmetros que avaliam, enviando-as de seguida à máquina consola, a qual produz relatórios sobre os resultados obtidos. Os parâmetros que podem ser avaliados são o débito, tempo de resposta, transações por unidade de tempo e perdas.

IV. Avaliação

Esta secção enuncia os objectivos que se pretendem atingir com a realização dos teste, descreve os testes realizados, os resultados obtidos e a análise destes.

A. Objectivos

Considerando os critérios de avaliação definidos na secção anterior, a realização destes testes teve como objectivo avaliar o PHB-D3 reactivamente a:

- eficácia com que diferencia o tráfego para condições de funcionamento que envolvem a utilização de aplicações de um só protocolo de transporte, UDP ou TCP, ou dos dois protocolos em conjunto e a utilização de tráfego de duas, três e quatro classes diferentes, para uma situação de débito elevado;
- estabilidade ao longo de um período de funcionamento de 300 segundos, tempo de duração para cada teste e para um débito elevado;
- escalabilidade para funcionar com um ou mais protocolos de transporte, com duas, três ou quatro classes de tráfego e com um número reactivamente elevado de classes(máximo suportado pela aplicação *Chariot*).
- eficiência/desempenho com que utiliza os recursos para diferencia o tráfego nas condições de funcionamento apresentadas.

B. Testes

O PHB-D3 tem vindo a ser sujeito a testes seguindo a metodologia definida. Os primeiros três testes utilizam o protocolo de transporte UDP, os três seguintes utilizam o protocolo TCP. Esta separação por protocolo deve-se ao facto dos dois protocolos terem um modo de funcionamento muito diverso, e desta forma ser mais fácil avaliar os resultados obtidos e, ainda, compreender melhor os resultados dos testes que utilizam ambos os protocolos, como é o caso do último teste apresentado.

Nota: As figuras apresentadas no seguimento desta secção são criadas pela aplicação *Chariot* pelo que a sua legenda aparece em inglês.

1) Teste 1

Condições do teste: o protocolo de transporte utilizado foi o UDP; interfaces a 100Mbits; fluxos de 2 classes, 1 e 2; declive associado aos IC em acordo com a tabela 3; total de fluxos igual a 48 (24 para a classe 1, pares 1 a 24, e 24 para a classe 2, pares 25 a 48); tráfego do tipo *IPTVvideo*; duração do teste igual a 5 minutos; ambiente de teste constituído por 1 encaminhador com capacidade D3 e 8 *endpoints*;

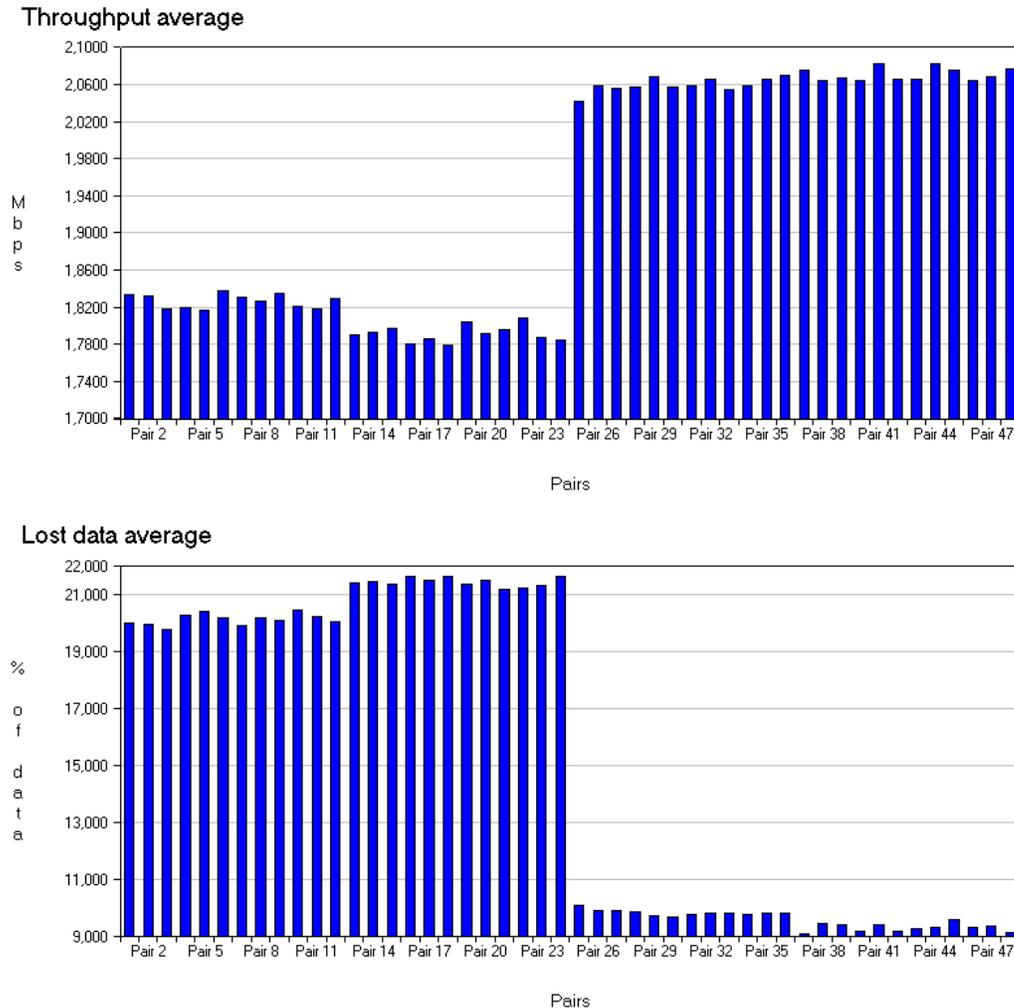
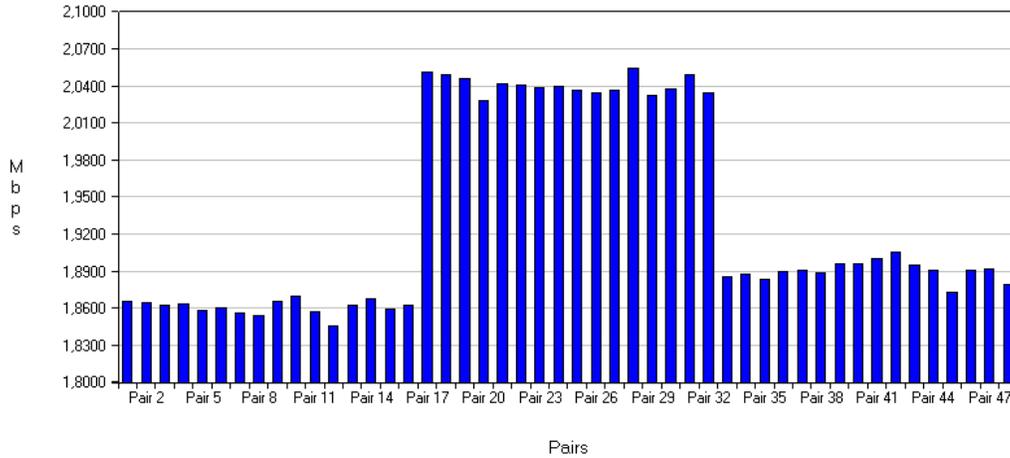


Fig. 4 – Duas classes, UDP

2) Teste 2

Condições do teste: o protocolo de transporte utilizado foi o UDP; interfaces a 100Mbits; fluxos de 3 classes, 1, 2 e 3; declive associado aos IC em acordo com a tabela 3; total de fluxos igual a 48 (16 para a classe 1, pares 1 a 16, 16 para a classe 2, pares 17 a 32, e 16 para a classe 3, pares 33 a 48); tráfego do tipo *IPTVvideo*; duração do teste igual a 5 minutos; ambiente de teste constituído por 1 encaminhador com capacidade D3 e 8 *endpoints*;

Throughput average



Lost data average

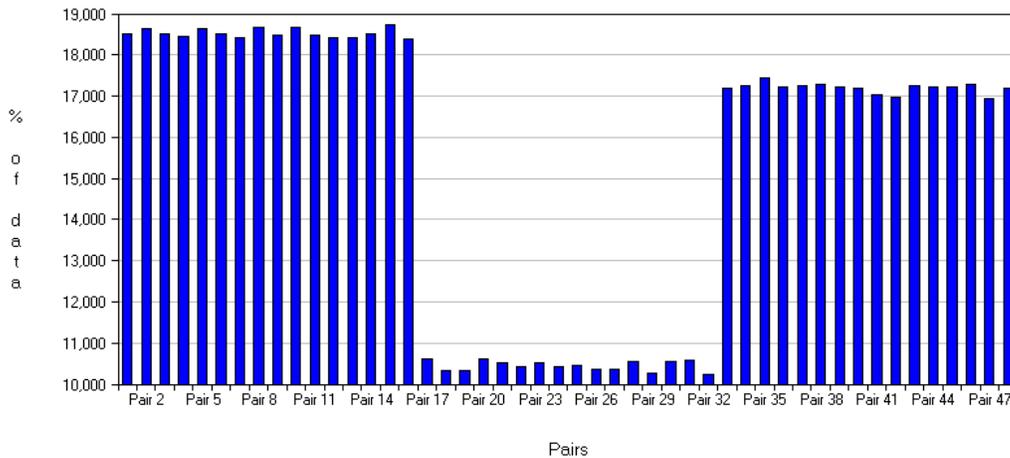


Fig. 5 – Três classes, UDP

3) Teste 3

Condições do teste: o protocolo de transporte utilizado foi o UDP; interfaces a 100Mbits; fluxos de 4 classes, 1, 2, 3 e 4; declive associado aos IC em acordo com a tabela 3; total de fluxos igual a 48 (12 para a classe 1, pares 1 a 12, 12 para a classe 2, pares 13 a 24, 12 para a classe 3, pares 25 a 36, e 12 para a classe 4, pares 37 a 48); tráfego do tipo *IPTVvideo*; duração do teste igual a 5 minutos; ambiente de teste constituído por 1 encaminhador com capacidade D3 e 8 *endpoints*;

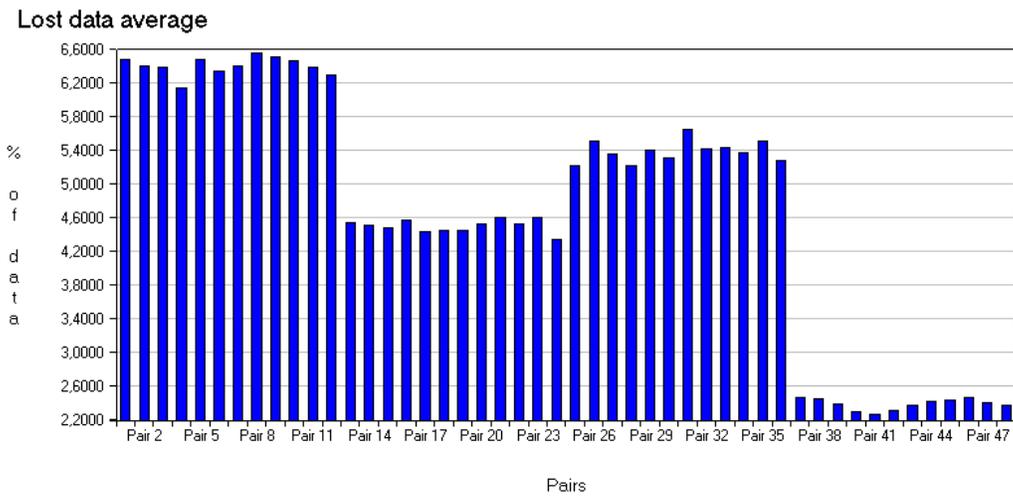
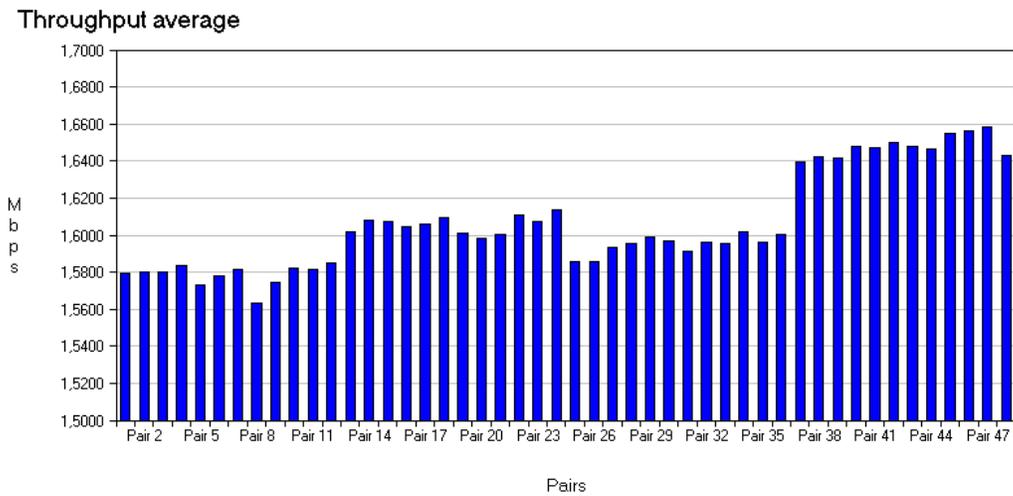


Fig. 6 – Quatro classes, UDP

4) Teste 4

Condições do teste: o protocolo de transporte utilizado foi o TCP; interfaces a 100Mbits; fluxos de 2 classes, 1 e 3; declive associado aos IC em acordo com a tabela 3; total de fluxos igual a 48 (24 para a classe 1, pares 1 a 24, e 24 para a classe 3, pares 25 a 48); tráfego do tipo FTP; duração do teste igual a 5 minutos; ambiente de teste constituído por 1 encaminhador com capacidade D3 e 8 endpoints;

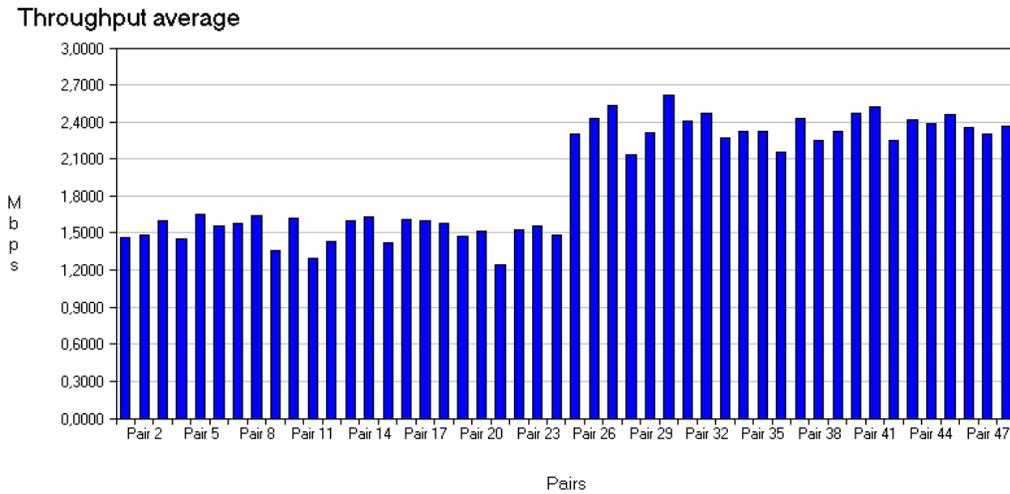


Fig. 7 – Duas classes, TCP

5) Teste 5

Condições do teste: o protocolo de transporte utilizado foi o TCP; interfaces a 100Mbps; fluxos de 3 classes, 1, 2 e 3; declive associado aos IC em acordo com a tabela 3; total de fluxos igual a 48 (16 para a classe 1, pares 1 a 16, 16 para a classe 2, pares 17 a 32, e 16 para a classe 3, pares 33 a 48); tráfego do tipo FTP; duração do teste igual a 5 minutos; ambiente de teste constituído por 1 encaminhador com capacidade D3 e 8 endpoints;

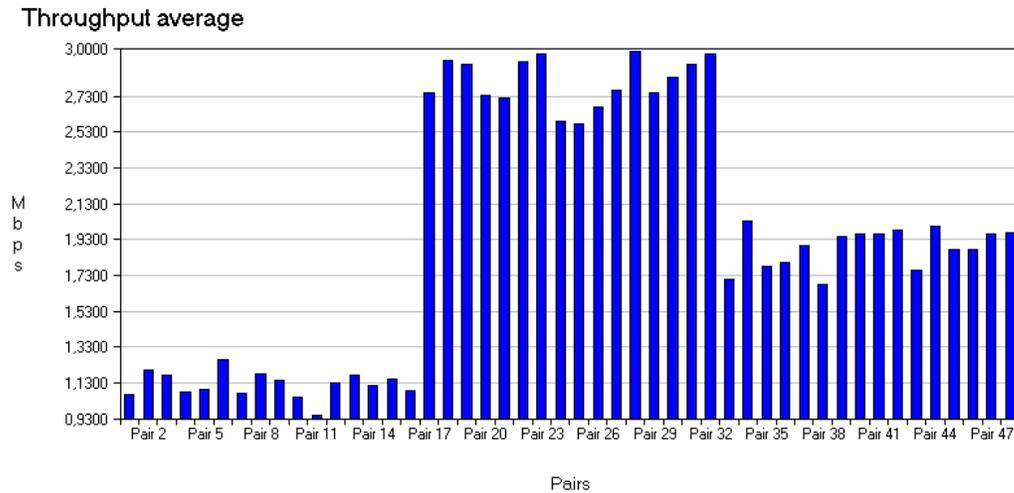


Fig. 8 – Três classes, TCP

6) Teste 6

Condições do teste: o protocolo de transporte utilizado foi o TCP; interfaces a 100Mbps; fluxos de 4 classes, 1, 2, 3 e 4; declive associado aos IC em acordo com a tabela 3; total de fluxos igual a 48 (12 para a classe 1, pares 1 a 12, 12 para a classe 2, pares 13 a 24, 12 para a classe 3, pares 25 a 36, e 12 para a classe 4, pares 37 a 48);

tráfego do tipo FTP; duração do teste igual a 5 minutos; ambiente de teste constituído por 1 encaminhador com capacidade D3 e 8 *endpoints*;

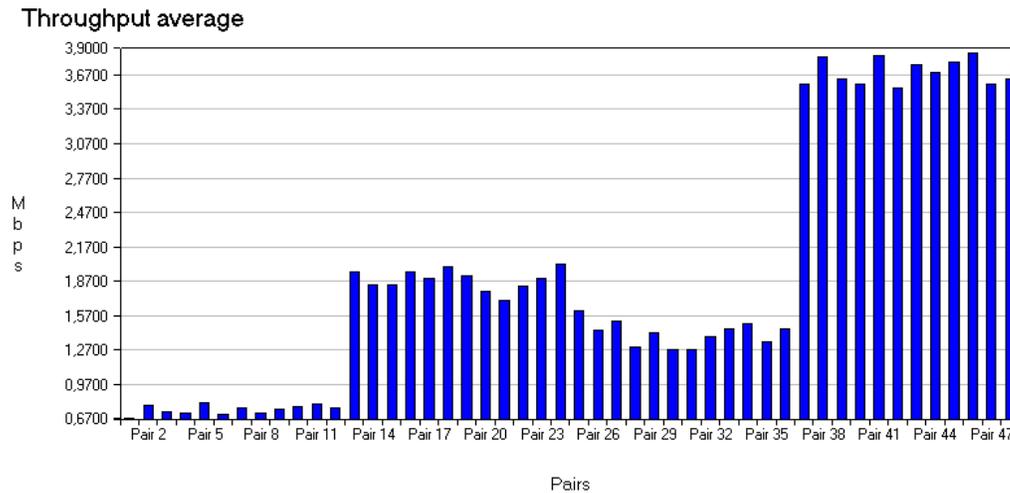
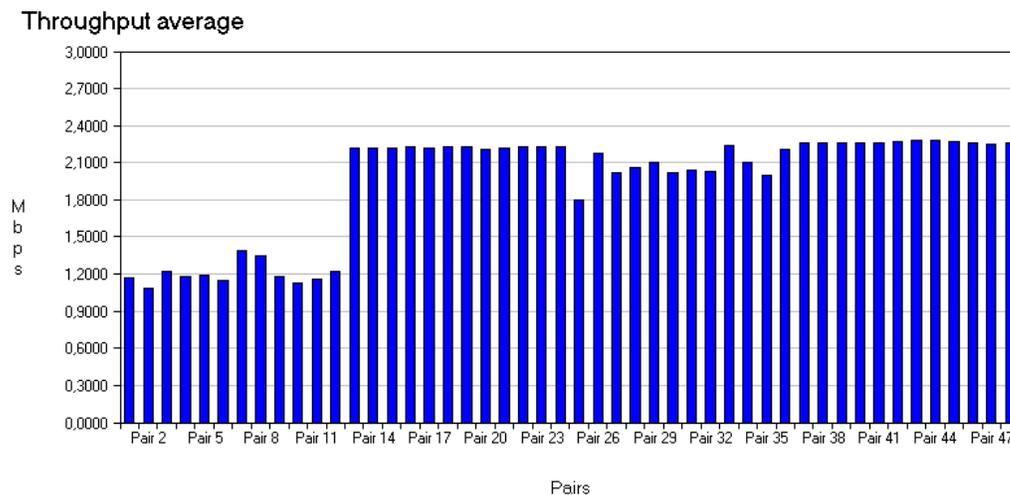


Fig. 9 – Quatro classes, TCP

7) Teste 7

Condições do teste: os protocolos de transporte utilizados foram o TCP e UDP; interfaces a 100Mbps; fluxos de 4 classes, 1, 2, 3 e 4; declive associado aos IC em acordo com a tabela 3; total de fluxos igual a 48 (12 para a classe 1, pares 1 a 12, 12 para a classe 2, pares 13 a 24, 12 para a classe 3, pares 25 a 36, e 12 para a classe 4, pares 37 a 48); tráfego do tipo FTP para as classes 1 e 3; tráfego do tipo IPTVvideo para as classes 2 e 4; duração do teste igual a 5 minutos; ambiente de teste constituído por 1 encaminhador com capacidade D3 e 8 *endpoints*.



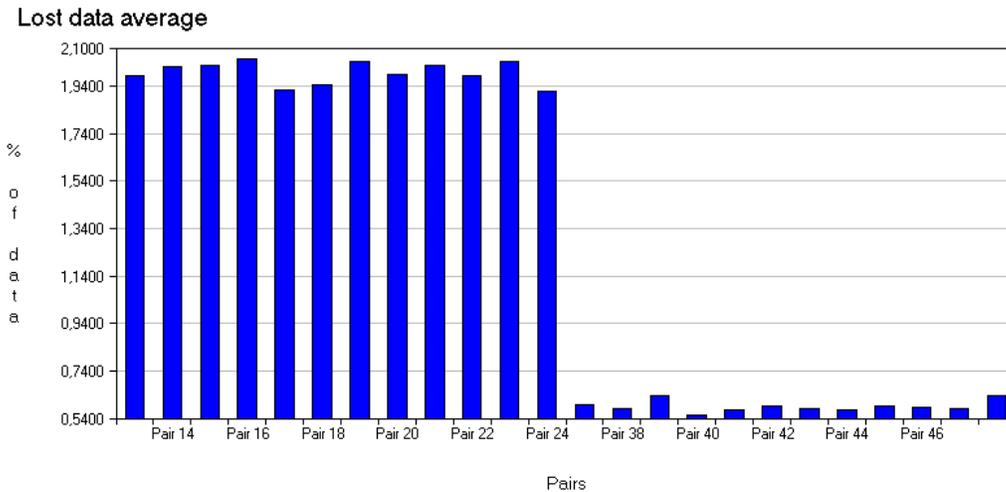


Fig. 10 – Quatro classes, TCP-UDP

C. Análise aos resultados

Dos resultados obtidos e para uma situação de débito elevado as filas associadas a cada classe atingem a sua capacidade máxima. O facto do declive de degradação associado a perdas ser diferente faz com que haja uma redistribuição do recurso memória, ocorrendo um ajustando do tamanho de cada fila. As classes cujas filas possuem um tamanho maior podem receber mais pacotes antes de existir necessidade de efectuarem descartes, as restantes classes terão menos espaço para armazenarem pacotes pelo que tem necessidade de efectuar mais descartes. Este fenómeno é visível nos gráficos de *throughput* e perdas obtidos.

A influência do declive de degradação associado ao atraso verifica-se na selecção do próximo pacote a ser enviado, sendo que, num espaço de tempo bem definido, serão enviados mais pacotes das classes que apresentam um valor superior em relação às restantes classes. Este comportamento é claramente visível nos gráficos de *throughput* e perdas dos testes que utilizaram fluxos das classes um e três, que apresentam o mesmo valor para o declive de degradação associado a perdas, nos quais se verifica que os pacotes da classe três são enviados com mais frequência.

O teste 7 utiliza fluxos UDP com débito total gerado pelas máquinas próximo de 55Mbits e os fluxos TCP adaptam-se às condições da rede. Verifica-se que os pacotes da classe quatro são menos descartados em relação aos da classe dois, como se esperava, e que os pacotes da classe três obtêm mais recursos da rede em relação à classe um, utilizando no total um débito próximo de 39Mbits.

O teste 7 permite verificar a proximidade existente entre os resultados obtidos pelos fluxos das classes dois, três e quatro, devido ao modelo proteger os fluxos TCP em relação aos fluxos UDP.

V. Conclusões e trabalho futuro

O resultado dos testes realizados permitiram verificar a eficácia do PHB-D3 a diferenciar o tráfego para condições de funcionamento que envolveram a utilização de aplicações que utilizam o protocolo de transporte UDP, teste 1, 2 e 3, para aplicações que utilizam o protocolo TCP, teste 4, 5 e 6, e para as aplicações de dois protocolos em simultâneo, teste 7. Esta diferenciação também é conseguida quando se utiliza tráfego de duas, três e quatro classes diferentes.

Todos os testes tiveram uma duração de 300 segundos e verificou-se que o PHB-D3 manteve-se estável ao longo do tempo de duração dos testes.

A realização destes testes previa a análise à escalabilidade do PHB-D3 para funcionar com um ou mais protocolos de transporte e com duas, três ou quatro classes de tráfego. Os resultados foram positivos, tendo-se verificado a diferenciação do tráfego para as diversas situações de funcionamento.

É de referir a eficiência/desempenho do PHB-D3 no que se refere à utilização da largura de banda disponível, verificando-se uma utilização próxima da capacidade máxima das interfaces utilizadas.

Os testes ao PHB-D3 vão continuar, nomeadamente em ambiente WAN, para que possa ser feita uma avaliação mais correcta do PHB-D3.

VI. Agradecimentos

Trabalho parcialmente financiado pelo programa de investigação POSI do Ministério da Ciência e Tecnologia (Projecto QoSII-Qualidade de Serviço em Sistemas de Comunicação por Computador).

VII. Referências

- [1] RFC 2475, “An Architecture for Differentiated Services”, December 1998
- [2] RFC 2474, “Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers”, December 1998
- [3] Gonçalo Quadros, Antonio Alves, Edmundo Monteiro, Fernando Boavida, “An Approach to Support Traffic Classes in IP Networks”, QofIS’2000
- [4] <http://www.ietf.org/>
- [5] <http://www.ietf.org/html.charters/intserv-charter.html>
- [6] <http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>
- [7] Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro, Fernando Boavida, “A QoS Metric for Packet Networks”, Proceedings of SPIE International Symposium on Voice, Video, and Data Communications, Conference 3529A, Hynes Convention Center, Boston, Massachusetts, USA, November 01-05, 1998
- [8] Gonçalo Quadros, António Alves, Edmundo Monteiro, Fernando Boavida, “The Role of Packet-dropping Mechanisms in QoS Differentiation”, ICON’2000
- [9] Gonçalo Quadros, Antonio Alves, Edmundo Monteiro, Fernando Boavida, “An Effective Scheduler for IP Routers”, ISCC’2000
- [10] Marília Oliveira, Bruno Melo, Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro, “Quality of Service Routing in the Differentiated Services Framework”, Proceedings of SPIE's International Symposium on Voice, Video, and Data Communications (Internet III: Quality of Service and Future Directions), Boston, Massachusetts, USA, November 05-08, 2000
- [11] Davide Lourenço, Marília Oliveira, Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro, "Definição do Mecanismo de Controlo de Admissão para o Modelo de Serviços de LCT-UC", Proceedings of CRC’2000, Third National Conference on Computer Networks - Technologies and Applications, FCCN, Viseu, Portugal, November 16-17, 2000
- [12] Marília Oliveira , “Estratégia para Encaminhamento com Qualidade de serviço com base na Métrica do Laboratório de Comunicações e Telemática – Especificação de Testes ao Algoritmo de Selecção de Percursos”-Documento interno do LCT-QoS
- [13] <http://www.fccn.pt>
- [14] <http://www.caida.org>
- [15] Sean McCreary, kc claffy, “Trends in Wide Area IP Traffic Patterns – A View from Ames Internet Exchange”, CAIDA- *Cooperative Association for Internet Data Analysis*
- [16] *Scripts* da aplicação Chariot
- [17] <http://www.netiq.com>