

# Implementação de um Ambiente de Teste e Medição para Redes Convergentes

Humberto Abdalla Jr., Antonio José Martins Soares, Paulo Henrique Portela de Carvalho, Priscilla Solís Barreto, Georges Amvame-Nzé e Roque Lambert

**Resumo** - Neste trabalho, são apresentadas a implementação e a adaptação de um laboratório formado por redes locais, redes de telefonia, um núcleo MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*) e um conjunto de redes de acesso, integrados em um ambiente de software aberto para o suporte de pesquisa em redes convergentes. A partir de um ambiente de convergência de redes, possibilitado por esse laboratório, é possível implementar aplicações de voz sobre IP (VoIP), engenharia de tráfego, QoS (*Quality of Service*) e novos serviços. Os resultados apresentados neste trabalho mostram como um conjunto de softwares abertos pode ser validado e utilizado como ferramenta para pesquisa e desenvolvimento de serviços em redes convergentes.

**Palavras-chave** -- Convergência de redes, Engenharia de tráfego, *Quality of Service*, *Multi-Protocol Label Switching*, Voz sobre IP.

**Abstract** – In this work, are shown the implementation and adaptation of a laboratory formed by local networks, telephony networks, a MPLS core and a set of access networks integrated in an environment of open source software for research support in converged networks. Within this convergence environment, is possible to implement VoIP (voice over IP) applications, traffic engineering, QoS (*Quality of Service*) and new services. The results in this work show how a set of open source software may be validated and used as research tools and development of services in converged networks.

**Keywords** – Network convergence, Traffic Engineering, Quality of Service, Multiprotocol Label Switching, Voice over IP.

## I. INTRODUÇÃO

EM função do incremento da demanda de serviços e aplicações TCP/IP, as operadoras de telefonia têm se interessado na integração de voz, vídeo e dados em uma única infra-estrutura. Espera-se com essa convergência minimizar os custos de operação, aumentar a escalabilidade e facilitar a implementação de novos serviços [1].

Atualmente, as redes de telefonia fixa e móvel e as redes de pacotes se complementam para suprir as diferentes necessidades de comunicação dos usuários. Os problemas de integração dessas redes encontram-se em processo de

padronização, pesquisa e desenvolvimento. Alguns dos pontos de interesse se concentram nas tecnologias de acesso a serem utilizadas, na incorporação de inteligência e no gerenciamento das redes convergentes. A implementação de qualidade de serviço para aplicações multimídia, com os mecanismos envolvidos tais como caracterização de tráfego, otimização e planejamento de redes, também se encontram em fase de desenvolvimento.

Ao contrário da rede de comutação de circuitos, a rede comutada a pacotes que utiliza o protocolo IP não possibilita, em princípio, priorização de serviços entre diferentes aplicações. Assim, um pacote de voz trafegando na Internet tem a mesma prioridade de uma transferência de arquivos em uma conexão FTP (*file transfer protocol*) apesar de necessitar de menor banda, ser mais sensível a retardo, e tolerar mais perda de pacotes, quando comparado com o *download* de arquivo.

Com o objetivo de se oferecer suporte de níveis de serviço para diferentes aplicações na Internet, a capacidade física dos *backbones* da rede tem sido constantemente aumentada, além de terem sido introduzidos os conceitos de QoS, em que se considera como plausíveis a utilização do MPLS e de DiffServ (*Differentiated Services*).

O conceito operacional do MPLS é definido a partir da troca de etiquetas (*label*) entre nós vizinhos [2]. Essas etiquetas são utilizadas para identificar classes de equivalências de encaminhamento (*Forwarding Equivalence Classes* – FEC) de pacotes. Quando um pacote entra na rede MPLS, uma etiqueta com um valor preestabelecido é inserida no pacote, dependendo da FEC à qual ele pertence. Os pacotes são, a seguir, encaminhados ao longo da rede usando essa etiqueta, que define o seguinte *hop* do pacote, no qual ocorre a troca de etiquetas. Esse processo termina com a saída do pacote da rede MPLS.

Uma rede orientada a oferecer qualidade de serviço é fundamentada no agrupamento de diferentes tipos de tráfego em um conjunto de classes de serviços com prioridades específicas. Essa é a filosofia da arquitetura DiffServ para o núcleo da rede, em que os parâmetros de QoS podem ser automaticamente inseridos em cada uma das classes. Por outro lado, o MPLS surge como uma possível solução para proporcionar QoS e engenharia de tráfego em uma rede global com suporte para todo tipo de tráfego [3].

Na área de engenharia de tráfego, o estudo de algoritmos para o cálculo de caminhos em função de especificações de QoS tem sido realizado em [4]. Nesse estudo, são fornecidos subsídios para a automatização de procedimentos de seleção

---

Este trabalho foi parcialmente financiado por CNPq, CAPES e ANATEL. Humberto Abdalla Jr., Antônio José Martins Soares, Paulo Henrique Portela de Carvalho, Priscilla Solís Barreto, Georges Amvame-Nzé e Roque Lambert são do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília (UnB), Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil, Tel. +55-61-307 2308, Ramal 208, www.labcom.unb.br. (e-mail: {abdalla, martins, paulo}@ene.unb.br, {pris, georges, roquelam}@labcom.unb.br).

de caminhos que considerem os requerimentos de atraso e largura de banda de aplicações e, ao mesmo tempo, preservem as restrições de engenharia de tráfego da rede.

Por outro lado, o problema da caracterização do tráfego e seu agrupamento tem sido amplamente estudado nos últimos anos. Com o objetivo de minimizar os custos de operação e implantação da rede, pesquisas têm se estendido à evolução do MPLS para o GMPLS (*Generalized Multi-protocol Label Switching*), no qual o interesse reside em concentrar grupos de etiquetas de caminhos (*Label Switch Paths* – LSP) em *lighpaths* para transporte em redes MPLS com várias topologias [5]. Mais recentemente, estudos adicionais mostraram interesse no tráfego *multicast* e as relações existentes entre aplicações e tempos de chegadas de pacotes em nós da rede, o que influencia no estabelecimento de critérios para seleção de caminhos em redes de topologias diversas [6].

Neste trabalho, será apresentada uma plataforma de testes para pesquisa em redes convergentes, também denominadas de *next generation networks* (NGN). O objetivo é gerar um ambiente que simule os diferentes estados de carregamento de uma rede de comutação por pacotes formada por várias sub-redes. Para validar essa plataforma, foram realizados diversos experimentos, tais como avaliações de desempenho para diferentes tráfegos multimídia, em especial aqueles gerados por aplicações VoIP, e reconfiguração de rotas. Esses experimentos devem permitir, de um lado, identificar as limitações das tecnologias utilizadas e, de outro, levantar propostas de melhorias.

Na seção II deste trabalho, descreve-se o conjunto de tecnologias que permitiram obter a topologia física da rede proposta, e também são descritas as aplicações utilizadas e desenvolvidas para fazer a avaliação tecnológica. Na seção III, são apresentados e analisados os resultados dos experimentos e identificados os pontos considerados críticos. Finalmente, na seção IV, são apresentadas as conclusões bem como proposta pesquisa que pode dar continuidade a este trabalho.

## II. ESTRUTURA DA REDE DE PESQUISA

O ambiente de testes implementado é formado por seis sub-redes: uma PSTN (*Public Switching Telephone Network*), uma rede de acesso ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), duas redes locais, uma WLAN (*Wireless LAN*), e um núcleo MPLS/DiffServ. A Fig.1 ilustra esse ambiente experimental.

Essa configuração foi planejada para reproduzir em menor escala um ambiente de operação real de redes convergentes com tráfego multimídia. Todo tráfego gerado na rede PSTN, nas redes de acesso e nas redes locais converge para o núcleo MPLS/DiffServ de forma a concentrar o tratamento e monitoração do tráfego, processo que é uma tendência em várias operadoras de telecomunicações e objeto de inúmeros esforços de pesquisa.

A rede PSTN é composta por uma central Trópico RA e

por um sistema S12. A central RA tem suporte para 72 usuários telefônicos (64 comuns e 8 públicos), 16 acessos básicos ISDN (*Integrated Services Digital Network*), 240 troncos, 4 acessos primários ISDN e 30 enlaces para pontos de distribuição CILA (concentrador integrado de linhas de assinante). O sistema S12 possui 128 terminais analógicos, 16 acessos básicos ISDN e 60 acessos primários, 300 troncos para enlaces com outras centrais, 120 enlaces para CILAs e 120 enlaces V.5.2 para acessos digitais.

Para a implementação do núcleo MPLS/DiffServ, foram utilizados quatro computadores Pentium IV de 2,1 GHz, interconectados por enlaces de 10/100 Mbps. O primeiro roteador, denominado LER01 (*Label Switching Router* – 01), conecta três redes locais ao núcleo MPLS. Os roteadores LSR02 e LSR04 são os elementos de encaminhamento do núcleo e o roteador LER03 conecta uma LAN, por meio de um enlace via rádio de 2 Mbps na frequência de 23 GHz. O núcleo MPLS/DiffServ foi implementado no sistema operacional Linux, com *kernel* 2.4.21, usando-se software de código aberto MPLS disponível em [7]. Todos os roteadores utilizam o OSPF (*Open Shortest Path First*) para a determinação das rotas. A funcionalidade dos roteadores MPLS permite o estabelecimento de LSPs, DiffServ em LSPs, mapeamento de tráfego para LSP baseado na porta do protocolo, prefixo de destino e DSCP (*DiffServ Code Point*).

Os enlaces do núcleo foram reduzidos para 1,2 Mbps, a fim de se poder controlar a saturação e as perdas na rede. Esse valor foi escolhido em função da capacidade de 2 Mbps do enlace aéreo. Os arquivos de configuração para esse propósito foram implementados utilizando-se o CBQ (*Class Based Queuing*) para o controle de tráfego nos sistemas Linux. Foram adicionados também controles de classificação de tráfego, necessários para o suporte do núcleo MPLS ao Diffserv.

O serviço de VoIP foi implementado utilizando-se o software VOCAL 1.5 [8], que trabalha com *user agents* usando SIP (*Session Initiation Protocol*). Para o ambiente de testes apresentado neste trabalho, os *user agents* são telefones IP CISCO 7940.

A rede de dados de banda larga ADSL mostrada na Fig.1 é composta por seis *modems* ADSL Speed Touch Pro da Alcatel, configurados em modo de serviço Transparent Bridging segundo o padrão IEEE 802.1d, e conectados a computadores pessoais via placa Ethernet. Esses computadores possuem equipamentos multimídia (câmera, placa de som e microfone) e software cliente para aplicações SIP.

Partindo de um distribuidor geral, as informações de voz e dados chegam a um Litespan 1540LS, que faz a função de transporte por meio do estabelecimento de um enlace óptico SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) com um módulo ADM 1641 SM (*Add-Drop Multiplexer*). O enlace de voz é transportado em 2 Mbps (capacidade de trinta canais PCM). A informação de voz chega na rede PSTN e, a partir desta, é encaminhada para o *gateway* de acesso das aplicações SIP.

O OmniAccess, encapsula os dados em quadros Ethernet,

o que permite a interoperabilidade com a rede MPLS/DiffServ.

Para monitorar os parâmetros de diferenciação de serviço e a gerência de caminhos no núcleo MPLS/DiffServ, foi desenvolvido o software de monitoração QoS LabCom. Este software foi implementado com o uso de ferramentas de domínio público, tais como o Perl, o MRTG (*MultiRouter Traffic Grapher*), a pilha TCP do Linux e o protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*). Por meio do QoS LabCom, é possível monitorar cada roteador e sua configuração em relação a 4 tipos de enfileiramento em cada interface Ethernet: *assured forwarding* (AF); *expedited forwarding* (EF); *best effort* (BE); e OR – *open shortest path first* mais *resource reservation setup protocol* (RSVP).

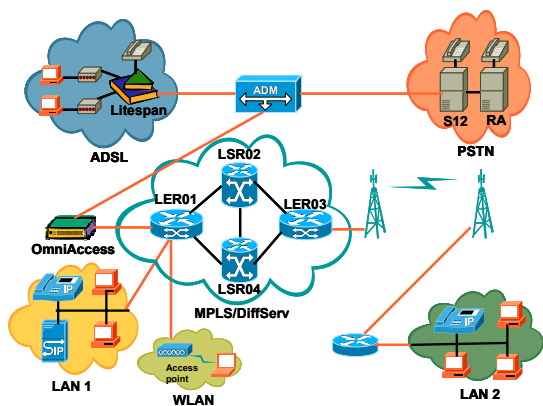


Fig. 1. Rede Experimental.

### III. TESTES DE VALIDAÇÃO

Com o objetivo de verificar o nível de desempenho e o funcionamento do ambiente configurado, foram realizados testes para avaliar um serviço de VoIP diante de diferentes fluxos de tráfego, assim como a recomposição de rotas em um evento de falha.

Os parâmetros de QoS são instâncias que representam um valor objetivo que descreve a qualidade dos serviços oferecidos e sua disponibilidade dentro da rede. Entre os principais parâmetros de QoS requeridos em serviço de redes usados na monitoração ativa realizada, tem-se:

- Perda de pacotes: indicando a porcentagem de pacotes perdidos para cada serviço enviado na rede;
- Latência: definido como o tempo que um pacote leva para sair de um ponto de acesso até seu destino distante;
- Banda: revelando a utilização da capacidade do enlace de cada serviço disponibilizado na rede.

Para a realização do primeiro teste, foram configurados no núcleo MPLS/DiffServ dois ambientes: um *best effort* (BE) e um DiffServ (MPLS-DS). A escolha desses ambientes se justifica pela prerrogativa de verificar na plataforma de código aberto melhores métricas de QoS para o ambiente MPLS-DS.

Para o segundo teste, foi configurado um ambiente IP sem suporte para o MPLS e um ambiente MPLS com BE (MPLS-

BE). Esses dois ambientes têm como objetivo avaliar na plataforma MPLS/DiffServ o tempo de restabelecimento de rotas e a sua capacidade de reconfigurar os mapeamentos de fluxos em LSPs redundantes em relação a um ambiente IP. Os *backbones* IP são hoje a tecnologia mais difundida, enquanto MPLS e DiffServ representam a tendência para o ambiente de convergência.

Ambos experimentos usam como métricas o tempo de latência e a perda de pacotes.

Devido a rede implementada ser altamente concorrida na disponibilidade de banda, a qualidade de voz para sistemas VoIP se torna um parâmetro de QoS importante. A avaliação fim a fim da qualidade de voz usando um método subjetivo, provê uma abordagem significativa e compreensiva para o usuário final, ao contrário do uso de um conjunto de parâmetros técnicos.

A seguir, apresenta-se uma descrição desses experimentos.

#### A. Avaliação do serviço de VoIP

No ambiente MPLS-BE, foram definidos quatro padrões de tráfego: dois CBR (*Constant Bit Rate*) e dois VBR (*Variable Bit Rate*), de acordo com a Tabela 1.

Os fluxos de VBR têm rajadas periódicas com uma distribuição exponencial. No caso do tráfego VBR1, definiram-se rajadas de 0,5 s de duração em intervalos de 3 s e, para o VBR2, as rajadas têm duração de 1 s em intervalos de 5 s, de tal forma a reproduzir um tráfego com características elásticas, que periodicamente satura a banda disponível.

Todos os fluxos de tráfego foram mapeados para um único LSP, cujos nós inicial, intermediário e final são, respectivamente, o LER01, o LSR02 e o LER03, Fig. 1.

A Tabela 2 mostra os fluxos definidos para a situação de ambiente MPLS-DS. Os padrões de tráfego utilizados são semelhantes aos da Tabela 1, a menos do tráfego VBR1 classificado como AF21 (*Assured Forwarding Class 2* precedência de descarte 1), que foi substituído por CBR12, um tráfego do tipo CBR classificado como BE. Os fluxos CBR1 e CBR2 são classificados, respectivamente, como EF (*Expedited Forward*) e AF11 (*Assured Forwarding Class 1*, precedência de descarte 1). Todos os fluxos de tráfego neste ambiente foram mapeados para um único LSP, da mesma forma que no ambiente MPLS-BE, com a diferença de que, neste caso, os mapeamentos diferenciam cada tipo de tráfego.

Os resultados das medições obtidos para o ambiente MPLS-BE são apresentados nas Figs. 2 e 3, que mostram, respectivamente, a distribuição da banda total para os fluxos, a latência para os fluxos CBR1 e CBR2. Na Fig. 2, verifica-se que a utilização de banda dos fluxos CBR1 e CBR2 esteve próximo da banda preestabelecida, enquanto os fluxos VBR1 e VBR2 tiveram nos *bursts* limitações de utilização de banda, o que resulta em maiores perdas, conforme é mostrado na Tabela 3 onde, é feita uma comparação das perdas médias de pacotes por fluxo de tráfego.

Para medir a qualidade da conexão VoIP, foram realizadas chamadas de duração de 60 s cada. Essas chamadas foram

avaliadas de acordo com a metodologia MOS (*mean opinion score*) [9] e os resultados para os codecs G711 e G729 [10-11] tiveram valores, respectivamente, iguais a 2,5 e 1,8.

As Figs. 5 e 6 mostram os resultados obtidos para a situação MPLS-DS, respectivamente, para a distribuição da banda disponível em cada um dos fluxos e a latência nos fluxos CBR1 e CBR2. Os valores das perdas neste cenário, para os fluxos EF e AF11 foi de 0%, enquanto para o CBR12 foi de 36.70% e de 26.30% para o VBR2. Dessa forma, os fluxos marcados como EF e AF11 não sofreram perdas, enquanto o fluxo marcado como BE foi o que apresentou a maior perda.

TABELA 1. FLUXOS DE TRÁFEGO PARA MPLS-BE.

Tipo de tráfego	Taxa	Tamanho do pacote
CBR1	64 kbps	256 bytes
CBR2	384 kbps	512 bytes
VBR1	1.000 kbps	1.024 bytes
VBR2	1.000 kbps	1.024 bytes

TABELA 2. FLUXOS DE TRÁFEGO PARA MPLS-DS .

Tipo de tráfego	Taxa	Classe	Tamanho do pacote
CBR1	64 kbps	EF	256 bytes
CBR2	384 kbps	AF11	512 bytes
CBR12	1.000 kbps	BE	1.024 bytes
VBR2	1.000 kbps	AF21	1.024 bytes

TABELA 3. PERDAS MÉDIAS PARA MPLS-BE.

Fluxo	Perdas médias (%)
CBR1	5,4
CBR2	3,9
VBR1	14,1
VBR2	21,0

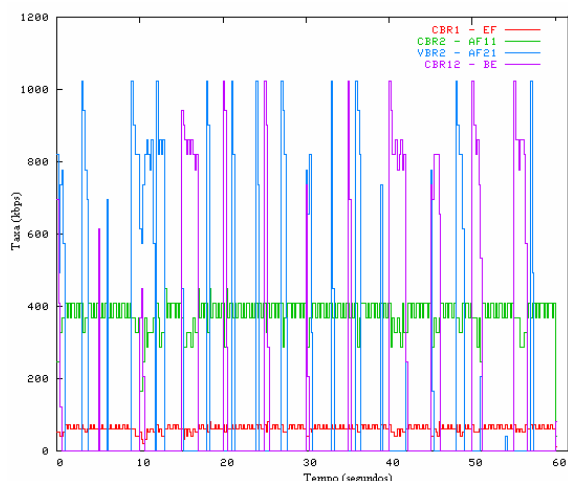


Fig. 2. Distribuição de banda no ambiente MPLS.

Na Fig.4 pode-se observar que os fluxos de tráfego mapeados em classes de maior precedência sempre mantêm a utilização de banda que precisam, enquanto os fluxos com menor precedência, tais como o CBR12, fazem uso da banda restante, independentemente da sua necessidade.

Como no ambiente anterior, foi realizada uma conexão

VoIP no intervalo de duração dos fluxos, mas, especificamente neste caso, a classe outorgada para esta ligação foi a EF, de tal forma que se busca beneficiar a precedência deste fluxo dentro da rede. O resultado da avaliação MOS para os codecs G711 e G729 utilizados no telefone IP foram iguais, respectivamente, a 4,3 e 3,5.

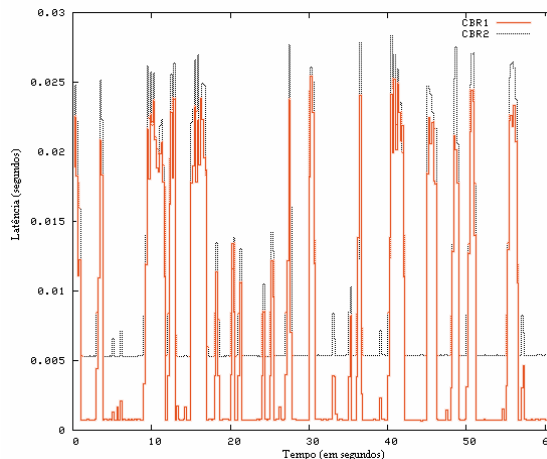


Fig. 3. Latência no ambiente MPLS.

A partir desses resultados, é evidenciado o benefício alcançado com a implementação da classificação de tráfego. No ambiente MPLS-DS, existe uma latência maior que a observada na plataforma MPLS-BE, mas é importante observar que no ambiente com DiffServ, o processo de classificação de pacotes e a sua verificação introduzem um *overhead* significativo, especialmente quando se tratar de pacotes com menor tamanho. Nos experimentos realizados, esse processo de classificação teve implicação no cálculo da latência.

No segundo experimento, foi introduzida uma variação nos fluxos de tráfego, sendo que um dos fluxos VBR foi substituído por um CBR classificado como melhor esforço. Esta mudança foi motivada sob a consideração de que um fluxo de taxa constante viria a perturbar mais a medição de atraso ou perda de pacotes de outros fluxos, em função da sua necessidade uniforme de banda. Outros experimentos utilizando um fluxo VBR classificado como BE não mostraram resultados de latência muito diferentes dos obtidos no ambiente MPLS-DS [12].

Apesar de existir uma latência maior na plataforma MPLS-DS, as perdas de pacotes são consideravelmente menores. Esse resultado se justifica pelo processo de classificação associado a cada fluxo de tráfego, que influenciou diretamente no cálculo da latência. Identifica-se, então, uma carência na implementação de código aberto do MPLS/DiffServ.

Em relação às conexões de VoIP, o servidor VOCAL mostrou-se extremamente funcional e fácil de configurar. É uma ferramenta interessante para as experiências de VoIP e uma das poucas alternativas de código aberto existentes.

Os resultados de perda e latência correspondem à percepção dos usuários na avaliação MOS das conexões

VoIP. O uso de um ou outro tipo de codec influencia, mas o bom desempenho da rede é um fator fundamental para uma boa avaliação subjetiva.

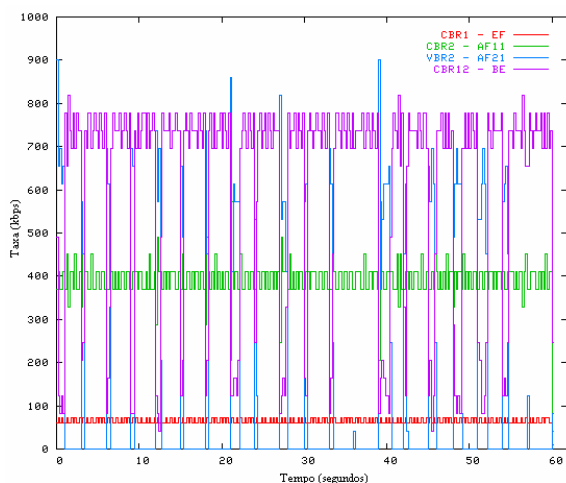


Fig. 4. Distribuição de banda no ambiente MPLS-DS.

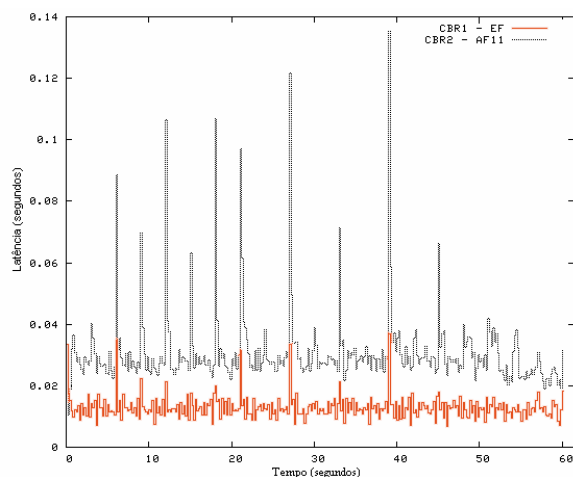


Fig. 5. Latência no ambiente MPLS-DS.

### B. Avaliação dos tempos de recomposição de rotas

Para se verificar a recomposição de rotas no evento de uma falha, foram configurados dois ambientes: um IP e um MPLS.

No ambiente IP, realizaram-se alguns ajustes para simular uma situação de operação real. Inicialmente foram criadas tabelas de roteamento com 65.500 entradas em cada roteador, o *cache* de roteamento foi reduzido para menos de 256 entradas e um tráfego cíclico de 640 kB foi produzido em cada roteador. Utilizou-se um *cache* sobrecarregado, em vez de se desabilitar o *cache* de roteamento, em função de este cenário se aproximar mais do que acontece em um ambiente real. A rede IP utiliza o protocolo OSPF para divulgação de rotas, com valores padrão de *hello interval* e *dead interval* iguais a, respectivamente, 10 s e 40 s. Dessa forma, após 40 s sem uma recarga, um pacote LSA (*Link State Advertisement*) é enviado com informação acerca do estado do enlace. Como esse tempo é extremamente alto para as aplicações CBR, os

valores dos intervalos *hello* e *dead* foram reduzidos nos experimentos realizados para 2 s e 5 s, respectivamente.

No ambiente MPLS-BE, foram utilizados os mesmos LSPs do experimento anterior. Um LSP pode ser estabelecido nos modos dinâmico e estático. Para o modo estático, os nós que formam o LSP devem ser explicitados. No modo dinâmico, é empregada a informação de rotas do OSPF ou de qualquer outro mecanismo de divulgação de rotas.

Ao se experimentar diferentes configurações no núcleo MPLS, verificou-se que o estabelecimento dinâmico de caminhos não funcionava adequadamente, pois ocorria falha em uma rota pertencente a um LSP específico, a migração dos fluxos de tráfego deste LSP para um outro redundante não acontecia. O núcleo MPLS/DiffServ, na sua forma original, é incapaz de realizar essa função. Essa dificuldade foi identificada e para incluir esta funcionalidade, foi feita uma implementação adicional ao código original utilizado, usando-se como base o algoritmo a seguir.

```
While (true)
  Listen the LSA packets
  LSP_falha = matches_node (LSA, LSP table)
  For each LSP_falha
    Get LSP_R=LSP_Redundancy(LSP_falha(i))
    Remap_flows (LSP_falha(i), LSP_R)
```

Como o algoritmo depende dos tempos de divulgação de rotas do OSPF a partir dos pacotes LSA, também foi realizada uma redução destes tempos para ter os *hello intervals* e *dead delay intervals* em 2 s e 5 s, respectivamente. Observou-se que valores menores destes intervalos resultam em uma saturação de mensagens para o protocolo, que interpreta esse fenômeno como uma falha no enlace, o que é uma dificuldade para obter tempos menores de recuperação.

Os fluxos de tráfego utilizados nesse experimento, os quais tiveram duração de 60 s, são apresentados na Tabela 4. Uma falha de enlace físico foi produzida no intervalo entre 10 s e 20 s. A ocorrência da falha pode ser verificada nas Figs. 6 e 7 para os ambientes IP e MPLS-BE, respectivamente. Nota-se que a falha no ambiente IP tem uma duração aproximada de 10 s, enquanto o tempo de recomposição é consideravelmente menor no ambiente MPLS-BE. Outro elemento importante a considerar neste ambiente, é que o tráfego está mapeado em diferentes caminhos e a distribuição de banda para cada aplicação sofre um ajuste mais notório que o observado no ambiente IP.

Um cálculo comparativo das latências médias é mostrado na Fig. 8, em que se observa um valor mais baixo no ambiente IP em comparação ao ambiente MPLS. Outros experimentos confirmaram que sem falha o tempo de latência do MPLS é menor que o do IP. Mas, neste caso, o resultado se justifica pelo fato de existir um processo de remapeamento do tráfego na configuração dos novos LSPs, o que influencia no cálculo dos valores de latência média.



TABELA 4. FLUXOS DE TRÁFEGO PARA VERIFICAÇÃO DE RECOMPOSIÇÃO DE ROTAS

Tipo de tráfego	Tamanho do pacote	Taxa (em kbps)
CBR01	256 KB	384
CBR02	512 KB	64
CBR03	300 KB	384
CBR04	256 KB	800
VBR01	1024 KB	500

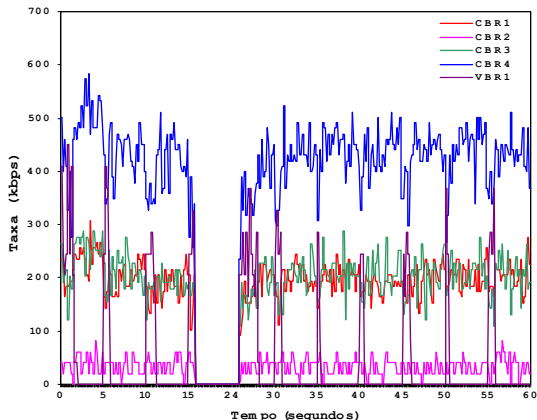


Fig. 6. Distribuição de banda e intervalo de falha no ambiente IP.

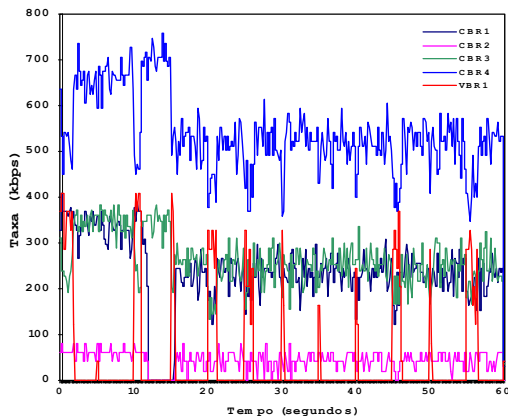


Fig. 7. Distribuição de banda e intervalo de falha no ambiente MPLS.

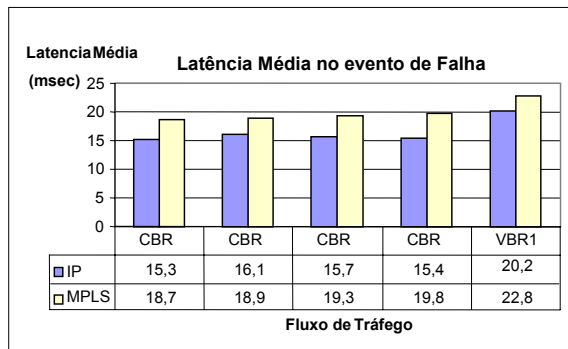


Fig. 8. Comparação das latências médias.

#### IV. CONCLUSÕES

Uma plataforma para pesquisa em redes convergentes foi apresentada neste trabalho. Propôs-se um conjunto de testes de validação, assim como desenvolvimentos suplementares em ferramentas de código aberto para suprir certas

necessidades da plataforma.

Na implementação da plataforma e na sua validação, foram encontradas dificuldades principalmente na parte de recuperação de falhas e nos intervalos de tempo de *advertising* dos protocolos de roteamento.

Os resultados obtidos nos experimentos realizados, com base em cálculos de latência, perdas de pacotes e avaliações subjetivas de usuários, mostram a necessidade de mecanismos para o desenvolvimento de metodologias de otimização, assim como o uso de técnicas de caracterização de tráfego e mecanismos de predição, a fim de fornecer maiores insumos visando o planejamento e a manutenção de redes multimídia. O futuro sucesso das redes convergentes depende parcialmente desses mecanismos. Como verificado, os benefícios oferecidos pelas tecnologias disponíveis podem não suprir as necessidades crescentes de futuros serviços.

Certamente, o ponto inicial de desenvolvimento para novas tecnologias, protocolos e algoritmos é sustentado em ambientes experimentais, com suporte para uma variedade de protocolos, equipamentos e redes.

A escolha de um ambiente embasado em código aberto apresenta um aspecto interessante, pois os estudos realizados por diferentes pesquisadores têm permitido uma evolução constante na implementação de soluções, a partir da troca de conhecimentos. Nesse sentido, a metodologia e os resultados mostrados neste trabalho oferecerem algumas idéias para o desenvolvimento de tecnologias convergentes.

#### REFERÊNCIAS

- [1] R. Lambert, "Evolução das tecnologias e protocolos para comunicação multimídia", Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, Março 2004.
- [2] D. Awduche *et al*, "Requirements for traffic engineering over MPLS", Network Working Group, RFC 2702, IETF, Setembro 1999.
- [3] G. Zhang and H.T. Mouftah, "End-to-End QoS guarantees over DiffServ networks", *Proceedings of the Sixth IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'01)*, pp.302-308, IEEE Computer Society, 2001.
- [4] G. Banerjee and Sidhu Deepider, "Comparative analysis of path computation techniques for MPLS traffic engineering", *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, vol. 40, N.º 1, pp.149-165, Setembro 2002
- [5] Dutta Rudra and N. Roukas, "Traffic grooming in WDM networks: Past and future", *IEEE Network*, vol. 16, N.º 6, pp.46-56, Novembro/Dezembro 2002.
- [6] R. Beverly and K.C. Claffy, "Wide area IP multicast traffic characterization", *IEEE Network*, vol. 17, N.º 1, pp.8-15, Janeiro/Fevereiro 2003.
- [7] [On-line] <http://dsmpls.atlantis.rug.ac.be>.
- [8] [On-line] <http://www.vovida.org>.
- [9] ITU-T Recommendation P.800: Methods for subjective determination of transmission quality. Genebra, Agosto 1996
- [10] ITU-T Recommendation G.729: Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP), Genebra, Março 1996
- [11] ITU-T Recommendation G.711. Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies, Geneva, Novembro 1988.
- [12] S. Avallone, M. Esposito, A. Pescapè, S.P. Romano and G. Ventre, "An experimental analysis of DiffServ-MPLS interoperability", *Proceedings of 10th IEEE International Conference on Telecommunications (ICT 2003)*, vol. 1, pp.281-287, IEEE Catalog Number 03EX628, Fevereiro 2003.