

Estendendo o Ethernet para ambientes MAN e WAN

Andrea Krob¹, Érico Santos Rocha¹

¹ Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brasil

andrea.krob@inf.ufrgs.br, ericomsr@gmail.com

Resumo. Reduzir os custos com os investimentos em infra-estrutura e o gargalo na largura de banda está entre os maiores desafios das empresas de telecomunicações. O Metro Ethernet é uma solução totalmente baseada em Ethernet e que engloba todas as vantagens deste padrão, visando proporcionar conectividade para redes corporativas geograficamente separadas. Este artigo tem por objetivo apresentar a tecnologia Metro Ethernet em detalhes, descrevendo as principais motivações, características e limitações com a sua utilização.

1. Introdução

Atualmente o padrão Ethernet domina o mercado de redes locais, devido a diversos fatores como a simplicidade, facilidade de operação e baixo custo de implantação. Estas características consolidaram a utilização deste padrão em escala mundial, onde mais de 98% do tráfego corporativo passa por interfaces deste tipo [Fraulob, 2006].

Enquanto o Ethernet foi o padrão escolhido para redes LAN de curta distância, tecnologias baseadas em ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) ou FR (*Frame Relay*) se consolidaram nos cenários MAN e WAN, sendo a plataforma SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) a principal técnica de acesso fim-a-fim entre elas.

Atualmente, um dos maiores desafios das empresas de telecomunicações é minimizar os custos no âmbito das redes de longa distância, caracterizadas pelo elevado investimento em infra-estrutura devido à utilização de tecnologias caras e complexas. Outro objetivo é reduzir o gargalo de banda, presente nas redes metropolitanas.

Com a evolução do Ethernet, a tecnologia passou a oferecer elevadas taxas de transmissão e alcance, chegando a 10Gbit/s e 40 km respectivamente, através do padrão IEEE 802.3ae. Somando as vantagens como facilidade de implementação e baixo custo, o Ethernet passou a ser visto como uma alternativa para as redes de transporte e acesso metropolitano [Fraulob, 2006].

Entretanto, para que o Ethernet pudesse ser utilizado como um serviço de grande escala como o ATM e FR, deveria proporcionar outros recursos de forma similar a estas tecnologias. Entre as principais limitações estão a falta de garantias reais de QoS (*Quality of Service*) e a inexistência de mecanismos como gerenciamento, proteção, tolerância a falhas, alarmes e supervisão de enlaces.

O esforço conjunto de pesquisadores e desenvolvedores para solucionar estes problemas iniciou com a criação de um fórum chamado MEF (*Metro Ethernet Forum*) e resultou na definição de um novo padrão, denominado Metro Ethernet. Desta forma, é possível definir o Metro Ethernet como uma solução MAN e WAN totalmente baseada em Ethernet, mas acrescida de novas funcionalidades, que visa proporcionar conectividade para redes corporativas geograficamente separadas através de uma WAN ou *backbone*.

Entre as principais vantagens do Metro Ethernet, podemos citar a facilidade de manutenção e gerenciamento, o aumento de largura de banda na última milha, o suporte

a classes diferenciadas de serviço, a viabilização de uma plataforma multiserviços unificada e recursos avançados, como a seleção dinâmica de largura de banda.

Este trabalho tem como objetivo apresentar em detalhes a tecnologia Metro Ethernet, bem como os principais trabalhos relacionados com o tema. Nas seções a seguir serão abordadas as principais características da tecnologia, destacando suas vantagens e limitações quanto sua respectiva utilização.

2. Metro Ethernet

Conforme comentado anteriormente, a tecnologia Metro Ethernet se baseia na utilização de redes Ethernet em áreas metropolitanas e geograficamente distribuídas. Uma das motivações para este conceito está no fato que o tráfego de dados está superando o tráfego de voz nas redes metropolitanas. Desta forma, se tornou mais interessante utilizar uma infra-estrutura de transmissão de dados do que uma estrutura TDM (*Time Division Multiplexing*).

Com o objetivo de padronizar o Metro Ethernet, o Fórum MEF adotou um modelo genérico para definir os principais componentes que compõem esta arquitetura. Na figura 1 podem ser visualizados estes componentes, que estão explicados a seguir.

O Metro Ethernet *Network* (MEN), representa a infra-estrutura de rede formada por switches Metro Ethernet, proporcionando a conectividade aos clientes. A entidade responsável pela administração, configuração e manutenção do *backbone* Metro Ethernet, bem como o fornecimento de acesso aos usuários é o *Service Provider* (SP). O *Customer Equipment* (CE) é o equipamento que realiza a ligação do ambiente do usuário final à rede.

O *User Network Interface* (UNI) é a interface de rede do usuário, representando a divisa entre o ambiente do cliente e a rede Metro Ethernet. Esta interface é uma Ethernet comum de 10Mbps, 100Mbps ou 1Gbps. Por fim o *Ethernet Virtual Connection* (EVC) representa a associação de duas ou mais interfaces UNI dentro da rede Metro Ethernet. É responsável por garantir a segurança e privacidade da comunicação.

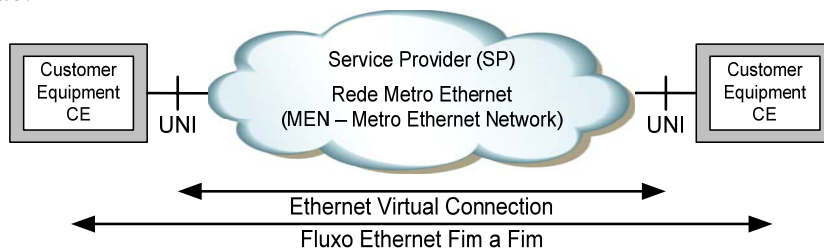


Figura 1. Principais componentes da rede Metro Ethernet.

O EVC é um dos principais recursos desenvolvidos pelo Metro Ethernet. Basicamente, este recurso deve transportar o fluxo de dados entre dois ou mais clientes dentro da rede, mantendo a integridade das informações ao longo do percurso. Uma segunda funcionalidade do EVC é a construção de conexões privativas de nível 2, as conhecidas VPNs (*Virtual Private Networks*).

O MEF definiu três tipos de EVC: Ponto a Ponto, Multiponto para Multiponto e Ponto para Multiponto (MEF1, 2003). O EVC Ponto a Ponto, também conhecido como *Ethernet Line* (*E-Line*) opera no regime *best effort* e utiliza parâmetros como atraso, largura de banda mínima e perdas como referência para medir a qualidade do serviço.

Entre as principais características do *E-Line*, pode-se citar o fornecimento de serviços orientados a conexão (equivalentes às antigas redes FR) e as conexões dedicadas (similar às redes ATM). Conforme visualizado na figura 2, o *E-Line* pode ser dividido em dois tipos: *Ethernet Private Line* (EPL) e *Ethernet Virtual Private Line*

(EVPL). No *E-Line* do tipo EPL (figura 2a) a largura de banda é dedicada, assegurando o estabelecimento de conexões com *throughput* garantido. Por outro lado, no *E-Line* do tipo EVPL (figura 2b), as conexões compartilham a mesma largura de banda entre todas as UNI.

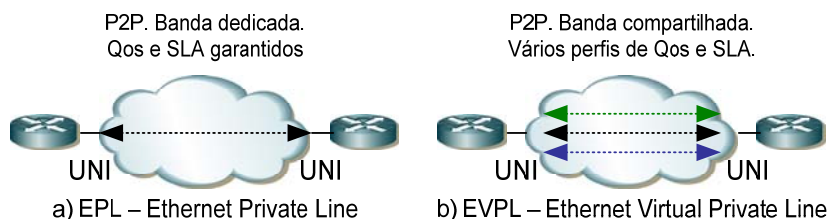


Figura 2. EVC do tipo *E-Line*.

O EVC Multiponto para Multiponto, também conhecido como Ethernet LAN (*E-Lan*), caracteriza-se por estabelecer conexões onde todos os *hosts* envolvidos estão autorizados a se conectar ou desconectar de forma dinâmica. Neste caso, os dados enviados por um *host* são repassados para um ou mais *hosts* pertencentes ao mesmo E-LAN, sendo que os serviços podem ser *best-effort* ou com QoS, desde que cada *host* aloque a sua largura de banda de acordo com o perfil de tráfego utilizado.

De maneira similar ao *E-Line*, o *E-Lan* também é subdividido em duas classes, conforme pode ser visualizado na figura 3. O EPLAN (figura 3a) oferece as mesmas características de segurança encontradas no EPL, mas através de múltiplas interfaces de usuário. Nesta classe, os dados podem ser endereçados a várias UNIs, desde que pertençam ao mesmo EVC. O EVPLAN (figura 3b), por outro lado, utiliza serviços baseado em pacotes, garantindo a entrega por meio de uma infra-estrutura compartilhada e com suporte a multiplexação estatística. Estas características permitem a otimização da largura de banda, proporcionando serviços de baixo custo similares aos serviços FR.

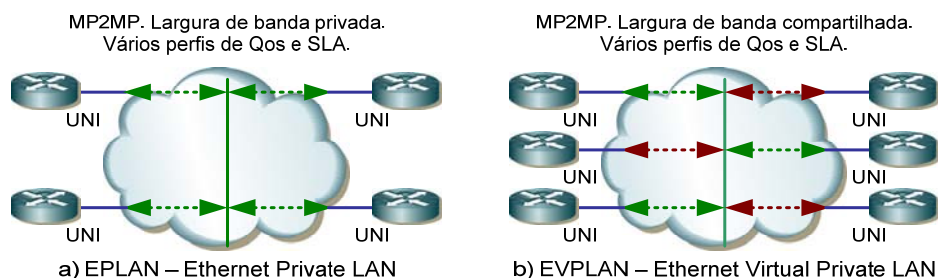


Figura 3. EVC do tipo *E-LAN*

Por fim, o EVC do tipo Ponto para Multiponto, também conhecido como Ethernet Tree (*E-Tree*), é utilizado quando diversas localidades estão conectadas a um único ponto central. A partir deste EVC, foram criadas as derivações Ethernet *Private Tree* (*EP-Tree*) e Ethernet *Virtual Private Tree* (*EVP-Tree*), ilustradas na figura 4.

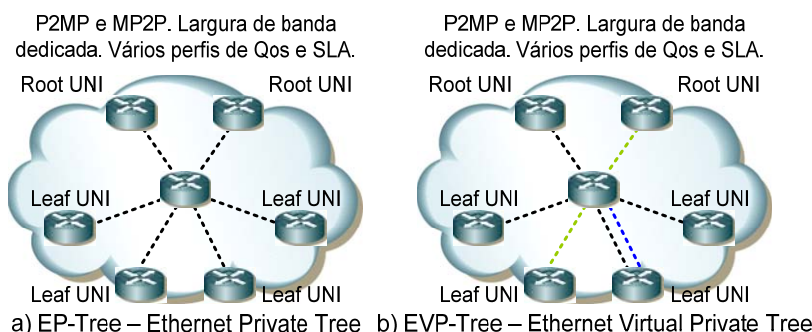


Figura 4. EVC do tipo *E-Tree*

Em seu formato mais simples, o serviço *EP-Tree* fornece uma raiz para as múltiplas conexões dos usuários, onde cada cliente representa uma folha da árvore, podendo trocar dados apenas com a raiz. Já na forma mais sofisticada, o *EP-tree* suporta duas ou mais raízes para a mesma árvore. Neste caso, um acesso redundante à raiz pode ser fornecido, aumentando a confiabilidade e flexibilidade da rede.

O *EVP-Tree* é um serviço com conectividade do tipo raiz multiponto que utiliza uma largura de banda compartilhada através da infra-estrutura de rede. Este EVP fornece multiplexação estatística para os diferentes caminhos da árvore.

2.1 Caracterização do tráfego e perfil de banda

O Metro Ethernet possui um conjunto de regras que tratam da caracterização do tráfego e perfil da banda. Estas definições têm por objetivo padronizar uma nomenclatura, facilitando o entendimento entre os usuários, provedores de serviço e desenvolvedores de equipamentos. Conforme ilustra a figura 5, um perfil de banda pode ser aplicado a uma UNI, a um EVC de uma UNI ou até mesmo para uma classe definida em uma VLAN, por intermédio do campo de prioridade no quadro Ethernet IEEE 802.1q.

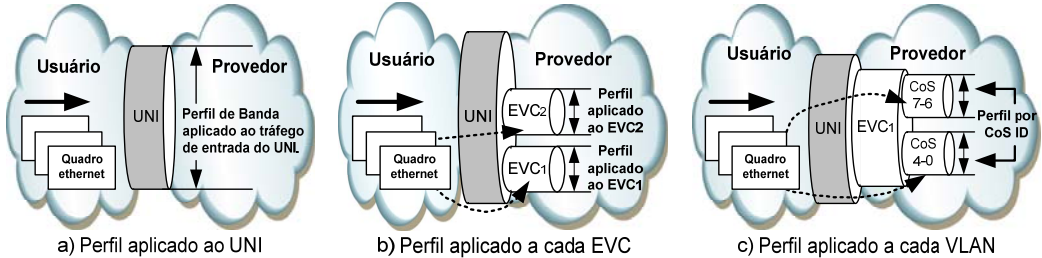


Figura 5. Perfil de banda.

Para definir um perfil, são considerados os parâmetros *Committed Information Rate* (CIR), *Committed Burst Size* (CBS), *Excess Information Rate* (EIR), o *Excess Burst Size* (EBS) e o *Color Mode* (CM). A tabela 1 apresenta uma definição para estes parâmetros, que serão explicados logo a seguir [MEF1, 2004].

Tabela 1. Parâmetros para definição de um Perfil de Banda.

PARÂMETRO	DEFINIÇÃO
CIR	Representa a garantia mínima de banda contratada.
CBS	Tamanho máximo de <i>burst</i> utilizado pela UNI, EVC ou VLAN.
EIR	Taxa média de dados excedente ao CIR.
EBS	Quantidade máxima de bytes permitidos.
CM	Especifica se a marcação de cores será utilizada ou não.

O parâmetro CIR deve obedecer às características determinadas no SLA, como *jitter* e *delay*, sendo que a soma de todos os CIR não pode superar a limitação de banda da interface UNI. Caso o CIR seja igual à zero, trata-se de um serviço do tipo *best effort*, ou seja, sem banda garantida. O CBS é um parâmetro necessário para prover garantias ao CIR. Quando este valor é excedido, o tráfego pode ser colorido ou descartado, indicando que o mesmo não está em conformidade com o perfil utilizado.

A quantidade máxima de *bytes* permitidos para os quadros que ingressam no núcleo da rede é definida pelo parâmetro EBS. De forma geral, o EBS delimita o tamanho máximo da rajada, sendo que os dados excedentes são marcados ou conformados de acordo com a especificação do serviço. Por fim, a função do parâmetro CM é especificar se a rede irá utilizar cores para realizar a marcação dos pacotes ou não.

2.2 Classificação e Ajuste dos quadros

Para realizar o controle do tráfego, o Metro Ethernet adotou alguns mecanismos de classificação e ajuste (MEF2, 2004). No caso da classificação, o MEF definiu a coloração dos quadros.

O quadro será marcado com a cor verde quando estiver em conformidade com o parâmetro CIR. Caso ultrapasse o limite estabelecido, mas esteja em conformidade com o valor do parâmetro EIR, os pacotes serão marcados com a cor amarela. Neste caso, não existem garantias para a entrega dos dados, sendo os primeiros a serem descartados em caso de congestionamento na rede. A cor vermelha é utilizada para marcar os pacotes que estiverem sem conformidade com os parâmetros CIR e EIR. Nesta situação, os pacotes são descartados imediatamente.

Para realizar o ajuste do tráfego, são empregadas técnicas que modelam os dados de acordo com a marcação de cores dos pacotes. O método trTCM (*Two Rate Three Color Marker*), formado por dois algoritmos do tipo *token bucket* foi o escolhido para executar a conformação dos quadros no Metro Ethernet. A figura 6 visualiza o funcionamento do algoritmo trTCM. O primeiro controle (balde C) abrange a conformidade dos quadros em relação ao parâmetro CIR, verificando se o tráfego está abaixo ou no mesmo nível do parâmetro CBS. Se estiver, os quadros são marcados com a cor verde, recebendo o tratamento e as garantias de SLA correspondentes. Caso contrário, o tráfego é encaminhado para o segundo controle (balde E).

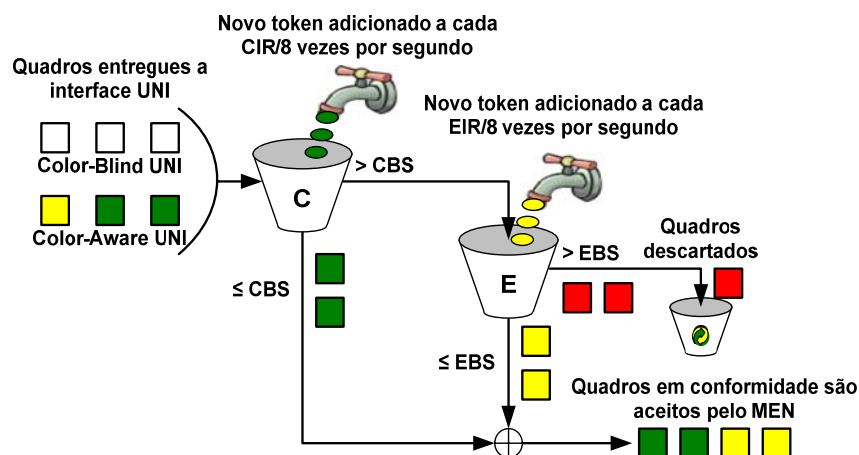


Figura 6. Funcionamento do algoritmo trTCM.

No segundo controle, o tráfego é analisado em conformidade com o parâmetro EIR. Se o valor do fluxo for menor ou igual ao parâmetro EBS, os quadros são marcados com a cor amarela, sendo tratados de acordo com esta classificação. Caso contrário, os quadros são marcados com a cor vermelha, sendo descartados imediatamente.

É importante ressaltar que os dados que entram no balde C representam o valor do parâmetro CBS e no balde E o valor do parâmetro EBS, ambos pertencentes ao perfil aplicado para uma determinada UNI, EVC ou VLAN [MEF1, 2004].

2.3 Escalabilidade

A escalabilidade está entre os maiores desafios enfrentados no desenvolvimento de uma nova tecnologia de rede. Este fator está relacionado com o aumento da capilaridade ou da quantidade de usuários conectados simultaneamente sobre a rede.

Uma forma simples e segura de garantir o isolamento do tráfego em uma rede é através da utilização de VLANs. Tendo em vista a ampla utilização deste recurso nas redes locais, é natural que o mesmo migre naturalmente para as redes Metro Ethernet.

No padrão IEEE 802.1q, a quantidade máxima de 4.094 VLANs disponibilizada para a segmentação da rede representava um número satisfatório. Entretanto, quando se trata de ambientes MAN e WAN, este número representa um sério problema de escalabilidade para o Metro Ethernet.

Devido esta quantidade de VLANs ser insuficiente para utilização em larga escala, não haveria flexibilidade para administrar as redes privadas. Mesmo com *switches* de maior capacidade, continuaria existindo um limite máximo para o tratamento de endereços MAC, sendo este um problema similar ao enfrentado pelos roteadores no gerenciamento de suas tabelas de rotas.

Para superar esta deficiência, foi necessário adotar alguns mecanismos capazes de tratar de forma diferenciada os endereços MAC e as VLANs dentro do núcleo da rede. Esta seção irá apresentar as principais soluções adotadas para resolver estas limitações.

2.3.1 *Q-in-Q* ou *Provider Bridge* (PB)

O padrão IEEE 802.1q surgiu para suprir a limitação do número de VLANs disponíveis para as aplicações dentro de uma rede metropolitana, trazendo o conceito de tunelamento de VLANs.

O protocolo *Q-in-Q* traz uma solução simples, no qual as VLANs dos usuários (C-VLAN) são encapsuladas dentro de outra VLAN (S-VLAN), sendo gerenciadas pelo *Carrier Ethernet*. Este processo resulta no completo isolamento do tráfego da rede, possibilitando que cada usuário gerencie até 4.094 VLANs.

O formato do novo cabeçalho é muito similar ao padrão 802.1q, mas em decorrência de alguns campos adicionais aplicados pelo protocolo *Q-in-Q*, é necessário recalcular o FCS (*Frame Check Sequence*) no momento da inserção e retirada destes campos [Siemens, 2006].

2.3.2 *M-in-M* ou *Provider Backbone Bridge* (PBB)

Com a utilização do *Q-in-Q* são disponibilizadas até 4.094 S-VLANs para o *Carrier Ethernet*, mas apesar disto, este número continua sendo limitado em ambientes metropolitanos. Outro problema é relacionado ao tamanho das tabelas de endereços MAC que os *switches* da rede necessitam gerenciar.

As tabelas MAC aumentam devido à necessidade do aprendizado de todos os endereços em cada uma das S-VLAN, o que pode alcançar dezenas de milhares de endereços MAC. Este fato tem como consequência o aumento do tempo de busca e atualização das tabelas entre os *switches* da rede Metro Ethernet.

Visando resolver estes problemas, foi proposto o padrão IEEE 802.1ah, também chamado de *M-in-M* ou *MAC-in-MAC*. Este protocolo, apresentado na figura 7, encapsula todos os pacotes da S-VLAN em um novo cabeçalho, o qual contém outro endereço MAC (chamado de B-MAC ou *Backbone MAC*). Desta forma, os *switches* necessitam aprender apenas os endereços MAC pertencentes ao *backbone* Metro.

Da mesma maneira que o *Q-in-Q*, no *M-in-M* os quadros recebem este novo cabeçalho adicional na entrada do *backbone*, sendo que na outra extremidade o mesmo é removido.

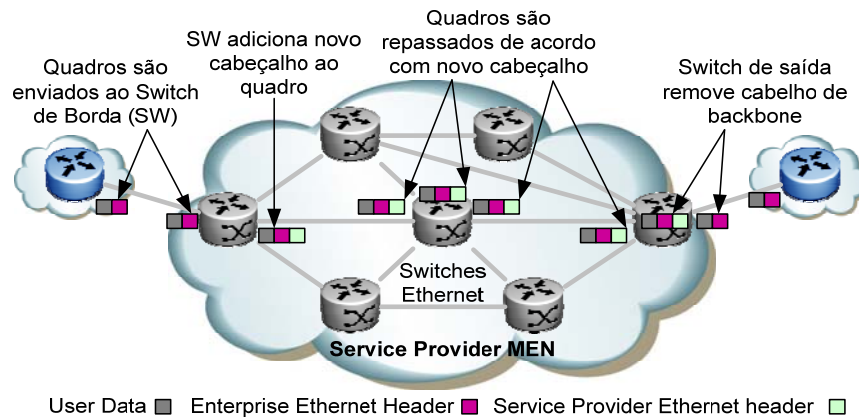


Figura 7. Funcionamento do protocolo *M-in-M*.

Entre as principais vantagens proporcionadas pelo protocolo *M-in-M*, pode-se citar a segurança (devido à separação dos dados de cada usuário e do *backbone*), a simplicidade de operação e planejamento da rede, a redução de custos e a escalabilidade do sistema, que passa a prover cerca de 16 milhões de EVCs [Siemens, 2006].

3. Trabalhos Relacionados

As vantagens proporcionadas pela utilização da tecnologia Ethernet no ambiente metropolitano fizeram que a mesma se tornasse um tópico de interesse na comunidade acadêmica. Entre as principais áreas pesquisadas, estão operação, administração e manutenção (OAM), engenharia de tráfego e serviços multimídia.

Visto que um dos fatores para que o Ethernet seja aceito como uma tecnologia de conectividade metropolitana é o fornecimento de funcionalidades de OAM, em McFarland (2005) são abordados os quesitos necessários para prover estes recursos de forma similar que nas soluções SONET/SDH.

Conforme citado anteriormente, o padrão original Ethernet não dispõe de mecanismos para a monitoração de serviços fim-a-fim, tampouco para monitoração do estado das interfaces. Visando solucionar estas deficiências, McFarland (2005) analisou o protocolo IEEE802.1ag.

Neste trabalho, McFarland utilizou mensagens de controle para monitoração fim-a-fim e o protocolo 802.3ah para o gerenciamento dos *links*, realizando uma análise dos resultados nos quesitos tempo de resposta e a confiabilidade. Através destas análises, o autor proporcionou uma importante contribuição com um método de diagnóstico de problemas em redes Metro Ethernet, onde as funcionalidades de OAM são divididas em camadas para melhorar a interpretação das falhas.

A engenharia de tráfego é o foco do trabalho de Ali (2005). Neste artigo, são enfatizadas todas as vantagens deste recurso em uma rede Metro Ethernet, bem como as otimizações proporcionadas na aplicação de QoS. O estudo abrange as técnicas para realizar a engenharia de tráfego, bem como as extensões necessárias para o provisionamento de forma eficiente das VLANs, em conjunto com balanceamento de carga e o uso do protocolo IEEE 802.1s (*Multiple Spanning Tree Protocol*).

Como contribuição, o trabalho apresentou uma nova proposta de gerenciamento de tráfego que abrange provedores e usuários finais, garantindo a escalabilidade e uso eficiente da largura de banda disponível na rede. A validação foi realizada através de simulações, comprovando que o uso do protocolo IEEE 802.1s resulta na otimização do desempenho da rede.

Em Meddeb (2005) são abordados os aspectos da aplicabilidade do Metro Ethernet na infra-estrutura de transporte WAN. O trabalho discute os pontos

importantes que devem ser mantidos no uso do Ethernet em ambientes de larga escala. De forma resumida, o Metro Ethernet deve reunir as características de *best-effort* e *plug-and-play* do Ethernet atual com as vantagens de QoS e disponibilidade encontrados em outras plataformas de transporte WAN, como por exemplo, o *Frame Relay*, ATM e SDH.

Neste trabalho, os autores realizaram uma profunda comparação e análise dos padrões WAN com a tecnologia Metro Ethernet, possibilitando a definição de pontos positivos e negativos no uso da mesma em uma grande rede de dados. Entre os principais pontos positivos estão a granularidade do acesso WAN e o eficiente provisionamento de redes ponto-multiponto. Por outro lado, os pontos negativos que se destacaram foram as dificuldades em proporcionar QoS em toda a rede e as limitações relacionadas à escalabilidade.

4. Considerações Finais

O conceito da tecnologia Metro Ethernet surgiu devido a necessidade das empresas de telecomunicações em reduzir os custos no âmbito das redes MAN e WAN, além de minimizar o gargalo na largura de banda, que acompanha estes segmentos de redes. Esta tecnologia é a escolha lógica devido ao baixo custo, flexibilidade e facilidade de manutenção, tendo como vantagem o fato de ser a tecnologia mais implementada e conhecida no transporte de dados.

Uma grande quantidade de empresas e provedores de serviços já estão estudando a implantação desta solução, em decorrência a crescente demanda por serviços com maior necessidade de banda, como por exemplo o IPTV e o VoD. Apesar das inúmeras vantagens do Metro Ethernet, para a sua devida implantação em ambientes reais de longa distância é necessário uma série de adaptações, que já vem sendo estudadas e devidamente implementadas pelos desenvolvedores de equipamentos.

Entre as principais adaptações necessárias, destacam-se o *Q-in-Q* e *M-in-M*, que juntamente com os demais padrões estão atribuindo às redes Metro Ethernet as características de QoS e confiabilidade necessárias de forma similar as encontradas nas redes tradicionais, com a vantagem de ser implementada sobre uma rede de pacotes.

Referências

- Ali, M.; Chiruvolu, G.; Ge, A. (2005) "*Traffic Engineering in Metro Ethernet*", IEEE Networks. Março, 2005.
- Fraulob D. (2006) "*Metro Ethernet*". Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Mestrado em Informática Aplicada.
- McFarland, M.; Salam, S. Checker, R. (2005) "*Ethernet OAM : Key Enabler for carrier class Metro Ethernet Services*", IEEE Communications Magazine. Novembro, 2005.
- Meddeb, A. (2005) "*Why Ethernet WAN Transport?*", IEEE Communications Magazine. Novembro, 2005.
- MEF1. (2003) "*Metro Ethernet Services - A Technical Overview*". MEF.
- MEF1. (2004) "*Bandwidth Profiles for Ethernet Services*". MEF.
- MEF2. (2004) "*Introduction to Circuit Emulation Services over Ethernet*" MEF.
- MEF1. (2005) "*Technical Specification MEF10*" MEF.
- Siemens Networks. (2006) "*Carrier Grade Metro Ethernet Networks*". Disponível em: www.lkn.ei.tum.de/~akirstaedter/papers/2007_ITG_Eth.pdf. Acesso em Junho de 2007.