

# **Análise do uso da arquitetura Seamless MPLS para suporte a redes convergentes de serviços móveis e fixos**

**Nilton C. Tobita<sup>1</sup>, Alexandre J. Barbieri de Sousa<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mestrado de Engenharia de Computação – Redes de Computadores

<sup>2</sup>Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo – SP - Brasil

Nilton.tobita@gmail.com, abarbieris@hotmail.com

**Abstract.** *The fixed and mobile network service providers face an exponential increase of their network traffic. It is happening by the adoption of Internet access by their subscribers and also by the increased use of Smartphones and Tablets. This increase of utilization creates a challenge to the providers to search for new technologies to build their networks providing at same time scalability and low costs to allow a sustainable business model. This work analysis the use of Seamless MPLS architecture to support the converged fixed and mobile services of a network. It presents a case study of a fixed and mobile services operator and the benefits the Seamless MPLS architecture would bring to its network.*

**Resumo.** *Os provedores de serviços de rede enfrentam um aumento exponencial no tráfego de suas redes. Isso acontece pela adoção cada vez maior de assinantes pelo acesso à Internet e pelo uso de Smartphones e Tablets. Esse aumento de utilização cria um desafio para os provedores em buscar novas tecnologias de construção de suas redes que forneçam ao mesmo tempo escalabilidade e baixo custo, para permitir um modelo de negócios sustentável. Esse trabalho analisa o uso da arquitetura Seamless MPLS, para suportar os serviços convergentes de uma rede móvel e fixa. É apresentado o estudo de caso de uma operadora e os benefícios que a implementação da arquitetura Seamless MPLS traria para sua rede.*

## **1. Introdução**

O consumo de serviços de comunicação está passando por mudanças drásticas tanto nos serviços de operadoras de serviços chamados fixos (sem a mobilidade do usuário) como Internet Banda Larga, VoIP (voz sobre IP) e vídeo (IPTV) entre outros, como também nas operadoras de serviços móveis (2G, 3G e 4G). Atualmente, muitas dessas operadoras se fundiram e oferecem ambos serviços fixos e móveis.

A principal mudança é a adoção cada vez maior dos usuários pelos serviços oferecidos sobre a rede Internet, dentre eles: vídeo (Youtube, Netflix, entre outros), computação em nuvem (Gmail, Dropbox, entre outros) e relacionamento social (Facebook, Twitter, entre outros).

Esses serviços geram uma demanda crescente de tráfego de dados, criando um desbalanceamento de geração de receita. Os provedores de serviços de dados têm que

capacitar suas redes para atender esse crescimento de tráfego, aumentando exponencialmente seus custos, porém não conseguem aumentar proporcionalmente sua receita com esses serviços para sustentar financeiramente essa capacitação.

As alternativas que os provedores estão buscando é evoluir suas redes buscando tecnologias com menor custo e complexidade de operação. Nesse contexto, os provedores estão adotando cada vez mais a tecnologia *Ethernet* para construir redes de menor custo e usando o protocolo MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*) para possibilitar que suas redes IP (*Internet Protocol*) possam implementar serviços como emulação de circuitos ponto-a-ponto e redes privadas virtuais.

Esse artigo aborda a arquitetura *Seamless* MPLS usada pelas operadoras para aumentar a escalabilidade de suas redes atuais e simplificar o provisionamento de serviços na rede.

## 2. Evolução do Backhaul

Segundo SHAFIQ, M. et al. (2011), em seu artigo: *Characterizing and Modeling Internet Traffic Dynamics of Cellular Devices*, existe uma grande preocupação nas empresas de telecomunicações quanto à prestação do serviço móvel de dados porque a demanda de tráfego para esse serviço apresenta um crescimento exponencial, principalmente após a introdução dos *Smartphones* e *Tablets*, que trouxe várias novas aplicações para os usuários de telefonia celular, antes restritas aos computadores. SHAFIQ, M. et al. (2011), cita o relatório da Cisco: *Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update* para ilustrar o crescimento dos dados em redes móveis para os próximos anos. O relatório mostra uma estimativa de crescimento anual médio de aproximadamente 66% entre 2012 e 2017.

De acordo com ASTÉLY, D. et al. (2009), em seu artigo: *LTE (long term evolution): The Evolution of Mobile Broadband*, além desse aumento de tráfego pelo maior uso de aplicações como *download* de músicas e vídeos, a própria tecnologia de rádio nas redes móveis está evoluindo da terceira geração (3G) para a quarta geração (4G/LTE *Long Term Evolution*) de equipamentos de rádio e terminais. Permitindo que a capacidade de tráfego de dados possa aumentar até dez vezes por usuário. JIMAA, S. et al. (2011) em seu artigo: *LTE-A an Overview and Future Research Areas*, também mostra esse crescimento e já menciona o LTE-A (*LTE-Advanced*) com velocidades ainda maiores.

As operadoras de serviços móveis e fixos estão se preparando para esse aumento de tráfego porém nas atuais redes móveis chamadas de segunda geração (2G) o *backhaul*, que é a rede de transporte para o tráfego de voz e dados entre as estações de transmissão base (BTS) e a estação de controle base (BSC) e no caso da terceira geração (3G), entre *Node B's* e controladoras de redes de rádio (RNC), são em muitos casos ainda transportados em protocolo ATM (camada 2 do modelo OSI) e por TDM (camada 1 do modelo OSI) com velocidades que geralmente são poucos múltiplos de E1 (2048 Mbps).

Segundo LITTLE, S. (2009), em seu artigo: *Is Microwave Backhaul Up to The 4G Task*, as operadoras estão buscando uma evolução do modelo ATM/TDM, e a opção mais escolhida devido ao seu relativo baixo custo e de fácil implementação é o *ethernet*

conforme mostra a Figura 1. A nova geração de *Node B*'s para o serviço 3G já possui interfaces *ethernet* para comunicação com as RNC's e utilizam o protocolo IP.

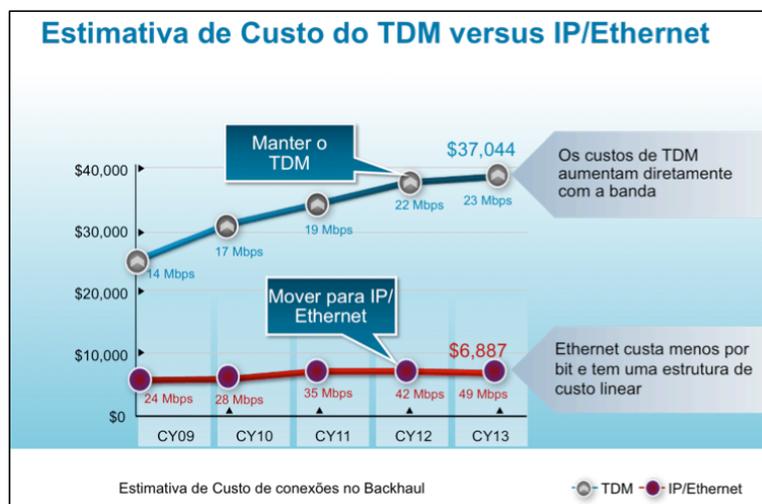


Figura 1 Comparação de custos entre TDM e IP/Ethernet

Fonte: Adaptado de Infonetics Research, *Mobile Backhaul Equipment and Services* (2009)

A essa técnica foi dada o nome de IP RAN (*IP Radio Access Network*) *Backhaul* e seu objetivo é evoluir do tradicional modelo de ATM/TDM para um modelo baseado em *Ethernet* e IP.

### 3. MPLS/IP

Atualmente, para aumentar a escalabilidade do tamanho da rede, as redes são segmentadas em partes menores e conseqüentemente são criados domínios de roteamento normalmente chamados de áreas de Núcleo, Agregação, Pré-Agregação, e Acesso, conforme Figura 2. Sendo esta última área, composta de equipamentos de menor porte, onde as interfaces de serviço ou de cliente são conectadas. Sobre essa segmentação são aplicados sumarização de rotas e controles na distribuição de *labels*. Isso diminui o processamento dos elementos e seu consumo de memória por terem tabelas de roteamento menores para manter.

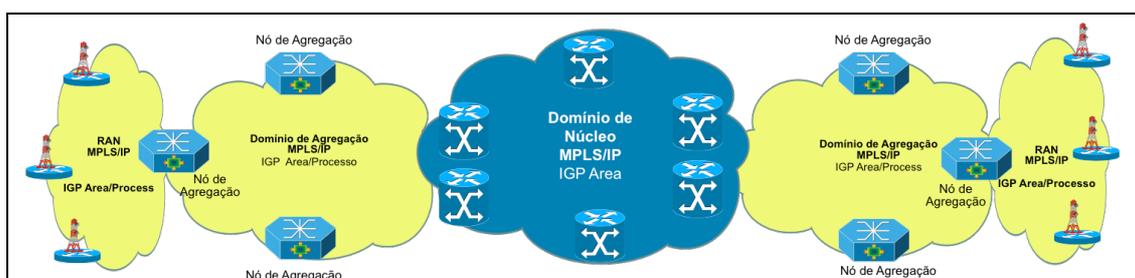


Figura 2 Rede IP Segmentada

Fonte: Tobita, N. C. (2014).

Isto por outro lado, impõe uma dificuldade operacional grande pois os serviços que atravessam domínios, por exemplo da Agregação de uma parte da rede para outra área de Agregação, atravessando o Núcleo da rede, têm que ser configurados em todos os domínios como serviços independentes em cada um deles, e depois “costurados” no final para formar um único serviço. Isso gera aumento de complexidade, demora na implementação de serviços e custos operacionais maiores de provisionamento de serviços e gerenciamento da rede, como mostrado na Figura 3.



**Figura 3** Aproveitamento de Serviços em Redes segmentadas

Fonte: Tobita, N. C. (2014).

Onde:

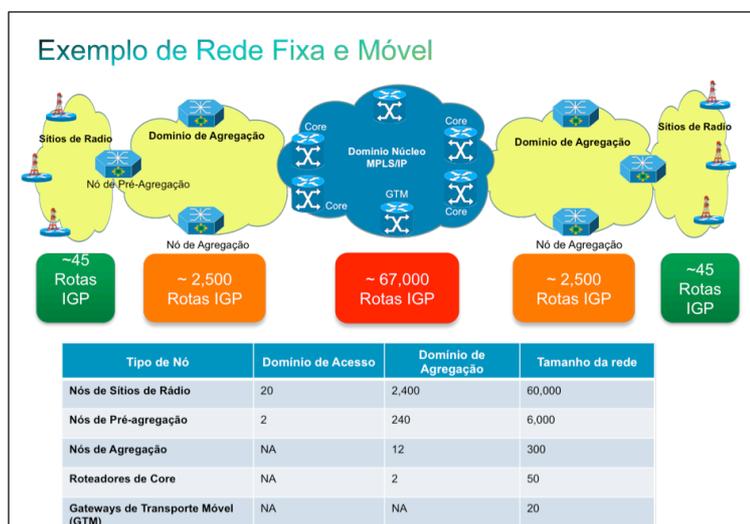
LER: Roteador de Borda de Label

LSR: Roteador Comutador de Label

AGG: Roteador de Agregação

Para que circuitos ponto-a-ponto sejam estabelecidos em uma rede MPLS são criados circuitos virtuais chamados de *pseudo-wires* e definidos pelo documento do IETF draft-martini-l2circuit-trans-mpls-19.txt de MARTINI, L et al. (2007). Para as redes L3VPN, usadas para o serviço 4G e VPN's corporativas, é usada o documento RFC 4364: BGP/MPLS IP Virtual Private Networks (VPNs) de ROSEN, E. et al. (2006).

Um dos pré-requisitos para implementação desses serviços é o conhecimento de todos os elementos da rede de Acesso de seus pares, assim como uma visão de sua topologia completa para o estabelecimento dos circuitos virtuais ou encaminhamento de pacotes de VPN's específicas, normalmente alcançado usando uma única área de roteamento. No entanto, por ser uma área que possui milhares de equipamentos, a área de Acesso geralmente não faz parte do plano de controle de roteamento da rede, pois iria causar um aumento significativo nas tabelas de roteamento de toda a rede, podendo exaurir a capacidade de processamento de vários equipamentos. Como mostra Figura 4.



**Figura 4 Exemplo de Rede Fixa e Móvel**

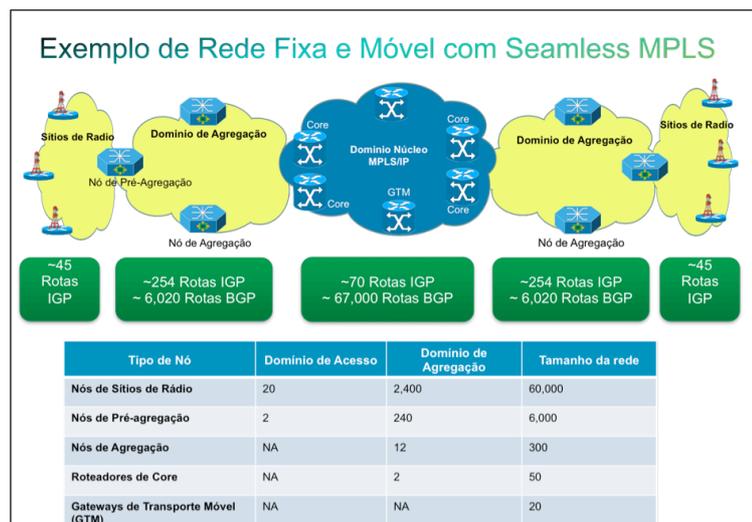
**Fonte: Tobita, N. C. (2014).**

O desafio é portanto integrar a área de Acesso ao plano de roteamento e construir uma rede que suporte milhares, algumas vezes dezenas de milhares e em casos extremos de grandes operadoras até centenas de milhares de elementos de rede, incluindo e-Node B's, Gateways, Node B's, RNC's, BTS's, BSC's, pontos de Pré-Agregação e Agregação, o centro da rede IP com roteadores de Núcleo (P's) e terminadores de serviço (PE's) . Isso, de acordo com LEYMANN, N. et al. (2013), no seu documento do IETF *Seamless MPLS Architecture (draft-ietf-mpls-seamless-mpls-02)* “é pelo menos uma ordem de magnitude mais alta do que típicas implementações”.

#### 4. Seamless MPLS

LEYMANN, N. et al. (2013), propõem o uso da arquitetura Seamless MPLS para a construção dessas redes. A arquitetura Seamless MPLS não utiliza nenhum protocolo novo, tampouco nenhuma facilidade nova nos dispositivos de rede. Basicamente, a arquitetura propõe a hierarquização da rede MPLS através da divisão dela em domínios MPLS e do uso do protocolo BGP para distribuição de label's (RFC3107).

O BGP tem se provado um protocolo preparado para suportar centenas de milhares de rotas, e atualmente é usado na Internet para carregar os atuais 460.000 prefixos (fonte: <http://www.cidr-report.org/as2.0/> - Junho/2013). Os demais protocolos de roteamento internos (IGP's) não foram desenvolvidos para essa escalabilidade, como afirma LEYMANN, N. et al. (2013). E o uso da RFC 3107: Carregando Informações de Label no BGP-4 de autoria de REKHTER, Y. et al. (2001) permite que sejam trocadas informações de *label* entre domínios de roteamento sem o uso do protocolo LDP. Como mostra Figura 5.

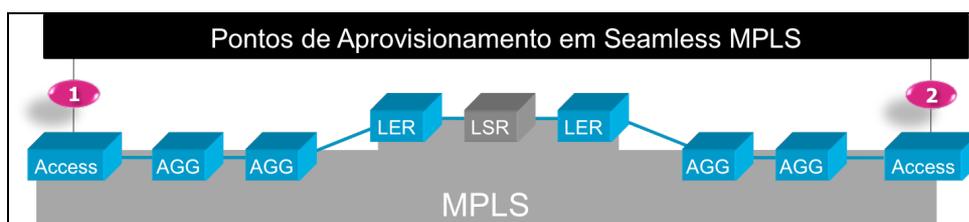


**Figura 5 Exemplo de Rede Fixa e Móvel com Seamless MPLS**

Fonte: Tobita, N. C. (2014).

Além de aumentar a escalabilidade do plano de controle de roteamento, a arquitetura também permite que serviços de transporte (circuitos virtuais) sobre essa rede sejam criados mais facilmente.

Com essa arquitetura é possível a criação de serviços somente nos pontos de contato do cliente com a rede (UNI – *User-network Interface*), não importando sua localização na rede (pré-agregação, agregação, núcleo, etc), nem em qual domínio de roteamento ele se encontra, ou seja, permite a configuração de um serviço fim-a-fim somente nos pontos iniciais ou finais de serviço, mesmo que ele atravesse vários domínios de roteamento, conforme mostra a Figura 6.



**Figura 6 Aprovisionamento de serviços em Seamless MPLS**

Fonte: Tobita, N. C. (2014).

Onde:

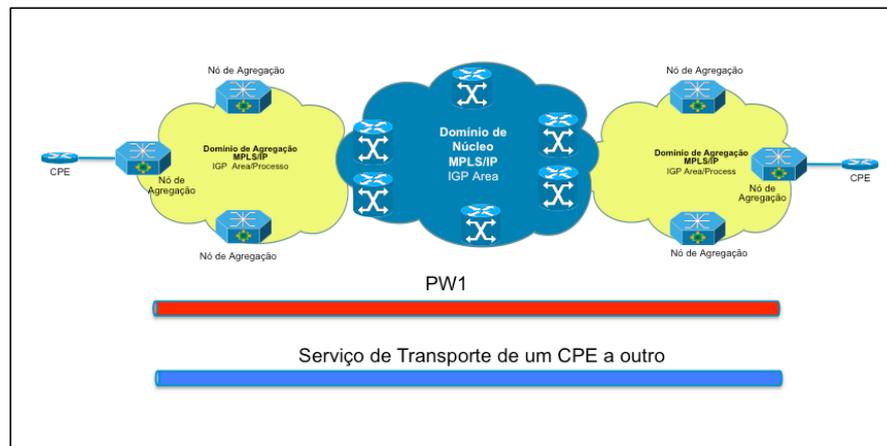
LER: Roteador de Borda de Label

LSR: Roteador Comutador de Label

AGG: Roteador de Agregação

Quando aplica-se a arquitetura Seamless MPLS, é criada uma hierarquia na rede e o serviço de transporte utiliza o label do roteador de borda de área ou domínio como

próximo ponto a ser atingido para o estabelecimento do circuito. Dessa maneira é possível a criação de serviços de transporte que atravessem múltiplas áreas transparentemente para os elementos da camada de acesso, como mostra Figura 7.



**Figura 7 Serviço de Transporte Único**

**Fonte: Tobita, N. C. (2014).**

Outro aspecto importante da arquitetura é o uso do LDP *Downstream-on-Demand* (DOD) especificado na RFC5036, originalmente para ser usado em equipamentos comutadores ATM mas que pode ser usado também em equipamentos de roteamento.

Nesse modo, o roteador que deseja mandar dados (*LSR upstream*) solicita ao seu roteador de destino (*LSR downstream*) a fornecer o label associado à aquela rota. Com isso os roteadores de acesso não precisam manter todos os label's da rede em suas tabelas de controle, e sim somente para aqueles destinos onde precisam estabelecer circuitos. Isso diminui muito a necessidade de recursos de CPU e memória nos roteadores de acesso, que por serem em quantidade muito alta, representam um grande custo na rede da operadora.

A arquitetura também trata de aspectos como mecanismos para melhorar a convergência de rede em caso de falhas como LFA FRR (Loop Free Alternate Fast Reroute) e BGP PIC (BGP Prefix-Independent Convergence).

## 5. Estudo de Caso

O Brasil terminou Novembro de 2013 com 96,4 milhões de acessos banda larga móvel (fonte: <http://www.teleco.com.br/estatis.asp>), sendo:

- 88,5 milhões via aparelhos 3G (WCDMA),
- 7,03 milhões de terminais banda larga (na maior parte modems) e
- 923,4 mil via aparelhos 4G (LTE).

São acessos banda larga móvel 35,6% dos celulares do Brasil.

A Anatel considera banda larga móvel a soma dos acessos WCDMA, LTE e terminais de dados banda larga. O padrão LTE é o padrão de 4G predominante no Brasil sendo adotado por todas as operadoras.

O estudo de caso é baseado em uma operadora com aproximadamente 30% do mercado brasileiro que fornece serviços móveis de dados 3G e 4G, e também serviços de dados e voz fixos. Mundialmente presente em 24 países e uma média de 120 mil funcionários. Volume de negócios líquido (receita) de € 57.061.000 e 323.100.000 clientes em dezembro de 2013.

A topologia de rede da organização selecionada é mostrada na Figura 8. A rede está dividida em áreas de roteamento distintas e também de domínios MPLS distintos. As áreas são:

- Núcleo, onde se localiza a conexão com a Internet e redes externas de outras operadoras ou grandes clientes. No Núcleo também se localiza as controladoras de rádio 3G (RNC) e o Packet Core para os serviços 4G, assim como os Gateways de Concentração (GWC's);

- Agregação, formada por Switches de Concentração (SWC) e Switches de Distribuição (SWD) da rede Metro Ethernet, usada para agregar o tráfego da área de pré-agregação para o Núcleo da rede. Em alguns casos equipamentos da área de Acesso podem se conectar diretamente nessa camada, como as OLT's (Optical Line Terminals) que formam uma rede de acesso GPON (Gigabit Passive Optical Network) e os Gateways de Distribuição (GWD's);

- Pré-Agregação, formada por Switches Secundários (SWS) que agregam o tráfego da camada de Acesso e estendem a rede Metro Ethernet aumento sua capilaridade;

- Acesso, formada por equipamentos que conectam efetivamente os serviços fixos como DSLAM's (*Digital Subscriber Line Access Multiplexers*) e OLT's, e também por Gateways (GWD's) que conectam os serviços móveis 2G, 3G e 4G/LTE.

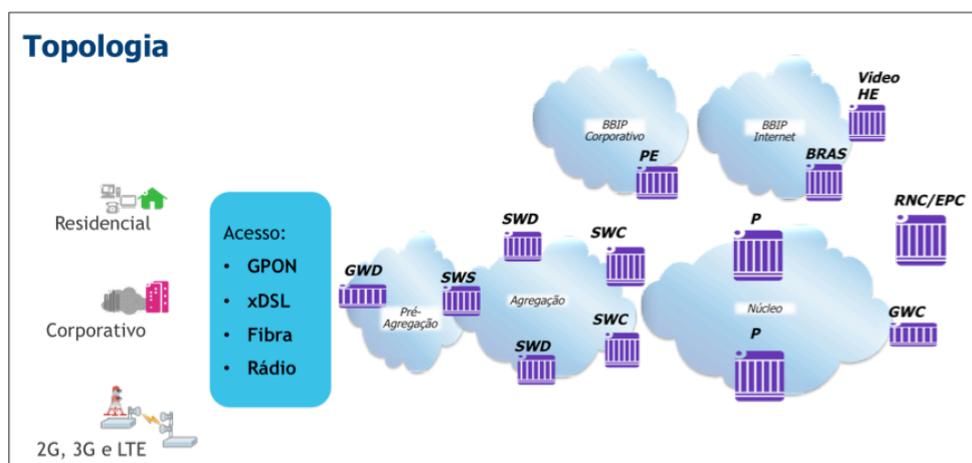


Figura 8 Topologia da Operadora Móvel

Fonte: Tobita, N. C. (2014).

A parte da rede que suporta os serviços móveis é chamada de Metro Backhaul (MBH) e é formada pelos Gateways (GWT's) que transportam os circuitos TDM e ethernet das estações de rádio localizadas em *Cell Sites*, que na maioria das vezes é conectada através de interfaces de rádio até um ponto de concentração da rede Metro Ethernet.

Os equipamentos que transportam esses circuitos são chamados de Gateway's de Distribuição (GWD's) do lado mais próximo ao Acesso e Gateway's de Concentração (GWC's) do lado das controladoras de rádio. Os dados são transportados através de um túnel na camada L2 e é totalmente transparente para a rede Metro Ethernet. A RNC/EPC controla as estações de rádio (Node B's e eNode B's) e faz a conexão com a Internet. Na maioria das vezes um GWD concentra até oito *Cell Sites*.

A quantidade aproximada de equipamentos dessa operadora é apresentada na Tabela 1 abaixo:

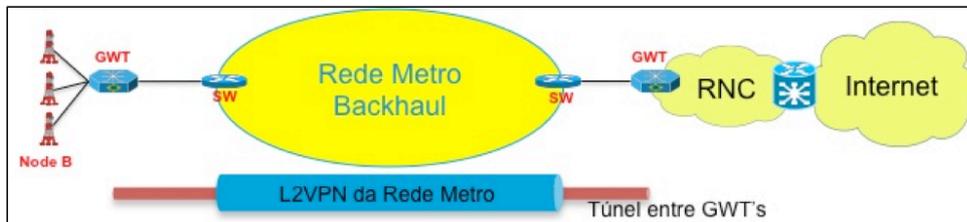
Tabela 1 Quantidade de Equipamentos da Operadora

Cell Sites	10.000
RNC e Packet Core Sites	100
Quantidade de Gateways	1.500
Quantidade de Roteadores da rede Metro	4.000

A arquitetura da rede Metro Backhaul é baseada na camada 2 do modelo OSI onde seus elementos de rede não tem a capacidade de roteamento de pacotes entre diferentes redes. Uma das principais funções do GWT é o transporte dos circuitos TDM em uma rede de pacotes. Por essas questões os GWT's constroem túneis dentro da rede Metro Ethernet para transporte transparente de dados entre GWD e GWC.

A rede Metro Ethernet da operadora foi criada para que pudesse fornecer serviços de transporte entre GWT's para ela mas também para outras operadoras, como se fosse um serviço adicional para ser ofertado a operadoras que quisessem compartilhar

a mesma infraestrutura de dados da operadora em estudo. Nela é usado o modelo de sobreposição de túneis, que é a criação de um túnel adicional para transportar o túnel criado entre GWT's, dessa forma o túnel de serviço é transparente para a rede Metro Ethernet, conforme Figura 9.

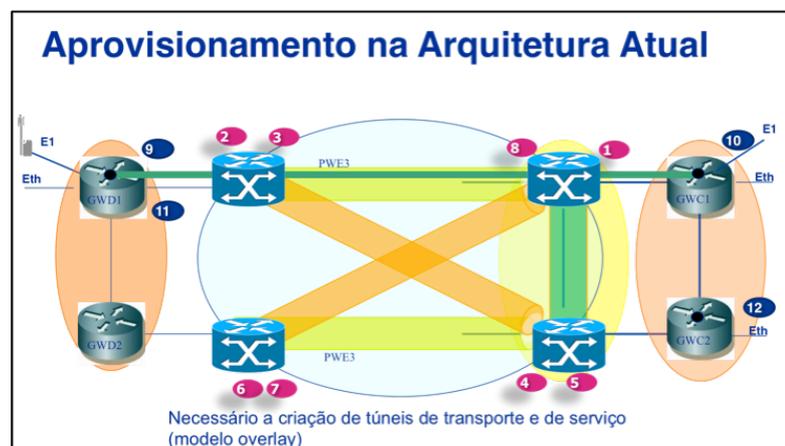


**Figura 9 Modelo de Sobreposição de Túneis**

Fonte: Tobita, N. C. (2014).

Portanto, a camada de GWT's não é vista como pertencente a rede da operadora e sim como outra empresa utilizando os serviços de transporte da rede Metro Ethernet.

Seguindo a atual arquitetura de rede, a ativação de novos dispositivos GWT (GWD's e GWC's), para atender novos pontos de presença, exige a configuração em vários pontos na rede para a criação dos túneis primários L2VPN e dos túneis de reserva ou contingência. Figura 10.



**Figura 10 Aprovisionamento na Arquitetura Atual**

Fonte: Tobita, N. C. (2014).

Onde:

1. Túnel de transporte de AL1 para SWD1
2. Túnel de transporte de SWD1 para AL1
3. Túnel de transporte de SWD1 para AL2
4. Túnel de transporte de AL2 para SWD1
5. Túnel de transporte de AL2 para SWD2

6. Túnel de transporte de SWD2 para AL2
7. Túnel de transporte de SWD2 para AL1
8. Túnel de transporte de AL1 para SWD2
9. Túnel de Serviço de GWD1 para GWC1
10. Túnel de Serviço de GWC1 para GWD1
11. Túnel de Serviço de GWD1 para GWC2
12. Túnel de Serviço de GWC2 para GWD1

## 6. Implementação de Seamless MPLS

A adoção da arquitetura Seamless MPLS também traz pontos de melhoria para a rede da operadora.

Um ponto de melhoria seria facilitar a associação de estações de rádio com outras estações de controle (RNC's, PC's). Na arquitetura atual são construídos túneis entre os GWT's para o encaminhamento de pacotes de dados entre eles. Túneis adicionais para contingência também tem que ser configurados para no caso de problemas na rede backhaul, o túnel reserva será usado como alternativa caso o primário sofra algum problema.

Nas redes de rádio as RNC's e EPC's controlam as estações de rádio, autorizando chamadas, encaminhando SMS's, conectando o usuário a Internet e outros serviços. Assim como outros recursos computacionais, as RNC's e EPC's tem recursos finitos e muitas vezes podem entrar em saturação caso a demanda de serviços dos usuários numa determinada região seja maior que sua capacidade.

As operadoras muitas vezes fazem um balanceamento de carga entre várias controladoras quando verificam que elas estão chegando perto de seu limite de atendimento da demanda. Essa é uma operação rotineira, que no caso da arquitetura atual com túneis e GWT's é dificultada porque exige a criação de novos túneis que geralmente não são pré-provisionados porque o operador não consegue prever para qual nova controladora apontará as estações de rádio.

Com o Seamless MPLS essa operação é facilitada porque com a extensão do domínio MPLS as estações de rádio base, Node B's, eNode B's, RNC's e PC podem estar localizadas em qualquer ponto da rede, sem a necessidade de configurar túneis entre elas. Bastando ao operador mudar o endereço IP ou nome da controladora na configuração das estações de rádio, o protocolo IP se encarregará de transportar os pacotes de dados entre elas.

Outro ponto de melhoria na operadora com a implementação do Seamless MPLS, seria a diminuição de configurações na rede para a inclusão de novos dispositivos de rádio como as Node B's e eNode B's, assim como novos centros de controle, RNC's no caso de 3G e *Packet Core's* no caso do 4G.

Atualmente, para cada estação de rádio ou Node B incluído na rede, é preciso configurar 1 túnel primário na rede backhaul, 1 túnel secundário na rede backhaul, 1

túnel primário entre os gateways, 1 túnel secundário entre os gateways, como mostra a Figura 11.



**Figura 11 Serviço de Transporte Segmentado**

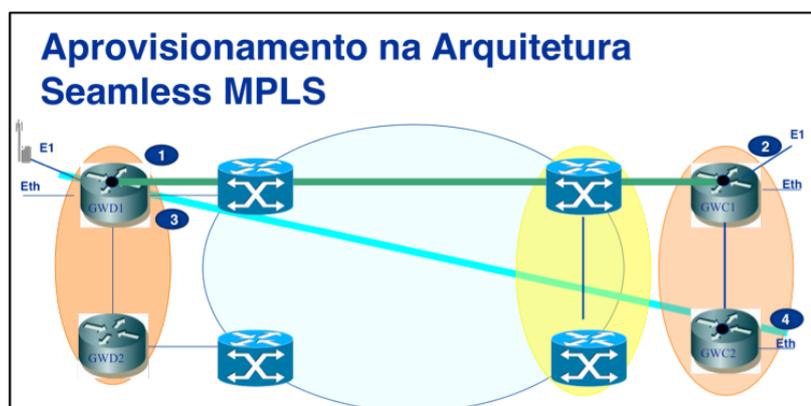
**Fonte: Tobita, N. C. (2014).**

Como mostrado na descrição dos serviços atuais da operadora, Figura 10, são necessários doze pontos de configuração na rede para inserção de novos GWD's, sendo que oito deles são somente para transporte na rede Metro Ethernet.

Com a arquitetura Seamless MPLS é possível a extensão do domínio MPLS até os elementos de acesso da rede Metro Backhaul, o que permitirá que a conexão entre as estações de rádio e suas controladoras seja feita diretamente pelos Gateways, sem a necessidade de túneis de transporte na rede Metro Ethernet.

Isso possibilita agora que essas conexões sejam configuradas somente no ponto de inserção do serviço, ou seja, para cada estação de rádio é necessário somente uma configuração no ponto de contato com a rede Metro Backhaul. Além disso, no caso das estações de controle (RNC e PC) é necessário somente a configuração de uma única conexão com a rede backhaul, essa conexão será usada por todas as estações de rádio. Isso reduz drasticamente a quantidade de intervenções na rede, diminuindo os custos de operação e simplificando a rede.

No caso dessa operadora móvel há aproximadamente 10.000 estações de rádio, 100 RNC's, e 1.500 Gateways. Portanto, na arquitetura atual são necessárias aproximadamente 18.000 configurações de circuitos na rede backhaul (12 para cada Gateway), esse número seria de aproximadamente 6.000 configurações com a rede implantada com Seamless MPLS (4 para cada Gateway), como mostra Figura 12.



**Figura 12 Aprovisionamento com Seamless MPLS**

**Fonte: Tobita, N. C. (2014).**

Onde:

1. Túnel de Serviço de GWD1 para GWC1
2. Túnel de Serviço de GWC1 para GWD1
3. Túnel de Serviço de GWD1 para GWC2
4. Túnel de Serviço de GWC2 para GWD1

Projetando a instalação dos Gateways ao longo de três anos, teríamos os seguintes pontos de configuração e túneis MPLS para manutenção, Tabela 2, que no final refletem nos custos operacionais da rede.

**Tabela 2 Projeção de Instalação da Rede MBH**

	Ano 1	Ano 2	Ano 3
Gateways Instalados	500	1000	1500
Quantidade de pontos de provisionamento para serviço MBH Tradicional	6000	12000	18000
Quantidade de Túneis L2 para serviço MBH Tradicional	3000	6000	9000
Quantidade de pontos de provisionamento para serviço MBH Seamless MPLS	2000	4000	6000
Quantidade de Túneis L2 para serviço MBH Seamless MPLS	1000	2000	3000

A tendência de crescimento de custo pode ser vista na Figura 13 abaixo.

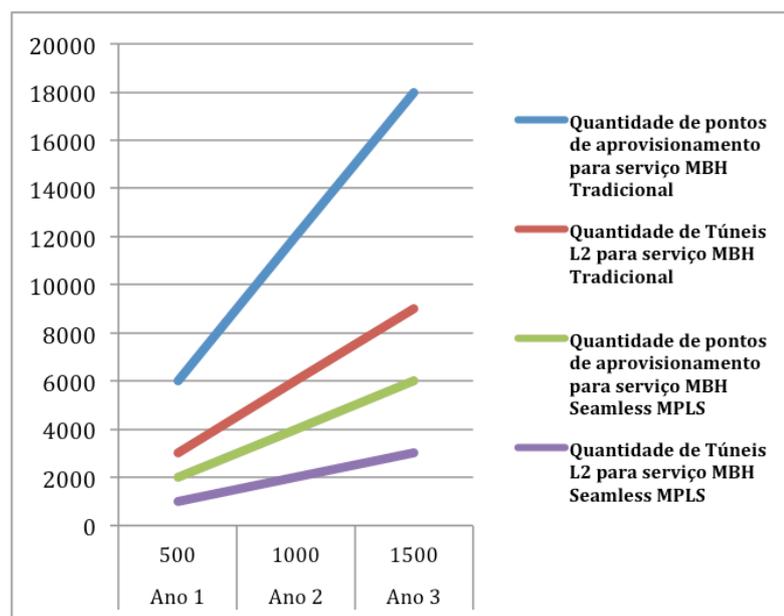


Figura 13 Tendência de Crescimento de Custo

Fonte: Tobita, N. C. (2014).

## 7. Conclusão

O estudo de caso apresenta que em uma operadora de serviços móveis a implementação da arquitetura Seamless MPLS trará ganhos operacionais de até três vezes (de 18.000 pontos de aprovisionamento para 6.000 pontos) diminuindo seus custos operacionais e também a complexidade da sua rede com menos configurações e uma arquitetura mais integrada entre núcleo de rede e seus acessos.

Possibilita também flexibilidade quanto a localização de serviços na rede, podendo, como exemplo, ter serviços corporativos como VPN's empresariais em qualquer ponto da rede de agregação e acesso. Os serviços fixos como IPTV e *Data Centers* na arquitetura Seamless MPLS também podem ser acessados por qualquer cliente conectado na camada de acesso. Isso permite a adoção dos serviços de computação em nuvem pelos clientes de banda-larga fixos e móveis.

Em relação a facilidade de configuração, através do estudo de caso pode-se concluir que a arquitetura Seamless MPLS traz benefícios operacionais para as redes de provedores de serviços que implementarem MPLS/IP.

A validação da arquitetura foi mostrada na simulação de rede apresentada na dissertação de Tobita, N.C. (2014) para obtenção de mestrado: Análise do uso da arquitetura Seamless MPLS para redes convergentes de serviços móveis e fixos.

## 8. Referências

- ASTÉLY, D. et al. LTE: The Evolution of Mobile Broadband. **IEEE Communications Magazine**. Nova York. Abril 2009. p.44-51.
- CISCO SYSTEMS. **Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2010-2015**. San Jose, EUA: Fevereiro 2011. 27p. (White Paper).

- JIMAA, S. et al. LTE-A an Overview and Future Research Areas. In: IEEE 7th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). Outubro 2011 **Proceedings...** Nova York: IEEE Conference Publications. 2011. p. 395-399.
- LEYMANN, N. et al. **“Seamless MPLS Architecture”, draft-ietf-mpls-seamless-mpls-02**. [s.l.] Outubro 2012. 43p.
- LITTLE, S.. Is Microwave Backhaul Up to the 4G Task? **IEEE Microwave Magazine**, Nova York, v.10, n.5, p.67-74, Agosto 2009.
- MARTINI, L. et al. **"Transport of Layer 2 Frames Over MPLS"**, **draft-martini-12circuit-trans-mpls-16.txt**. [s.l.] Fevereiro 2005. 23p.
- REKHTER, Y. ; ROSEN, E.. **RFC3107: Carrying Label Information in BGP-4**. [s.l.]. Maio 2001. 9p.
- ROSEN, E. ; REKHTER, Y.. **RFC2547: BGP/MPLS VPNs**. [s.l.]. Março 1999. 26p.
- SHAFIQ, M.; JI, L., LIU, A.X.; WANG, J.. Characterizing and Modeling Internet Traffic Dynamics of Cellular Devices. In: International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems SIGMETRICS'11, San Jose, California, USA. Junho 7–11, 2011. **Proceedings...** Nova York: ACM. 2011. p.305-316
- TOBITA, N. C. **Análise do uso da arquitetura Seamless MPLS para redes convergentes de serviços móveis e fixos**. São Paulo, 2014. 97p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Coordenadoria de Ensino Tecnológico, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2014.