

# APLICAÇÃO DE REDES METRO ETHERNET EM AMBIENTES DE TELECOM<sup>1</sup>

Tiago Bilhalva<sup>2</sup> <tgobil@gmail.com>

Verônica Conceição Oliveira da Silva<sup>3</sup> <vconceicao@gmail.com> – Orientador

Universidade Luterana do Brasil (Ulbra) – Curso de Tecnologia em Redes de Computadores – Câmpus Canoas  
Av. Farroupilha, 8.001 – Bairro São José – CEP 92425-900 – Canoas - RS

21 de Junho de 2011

## RESUMO

Este artigo apresenta o estudo e aplicação da tecnologia de Redes Metro Ethernet em ambientes de telecom para prover um meio de comunicação em altas velocidades baseado no protocolo Ethernet. A partir de uma infraestrutura operacional instalada, este projeto descreve as etapas da implementação dos equipamentos e serviços que poderão ser oferecidos aos clientes da empresa alvo.

**Palavras-chave:** Redes Metro Ethernet; Padrão Ethernet; Gigabit Ethernet.

## ABSTRACT

**Title:** “Application of Metro Ethernet Network in Telecom Environments”

*This article presents the study and application of technology in Metro Ethernet Networks for telecom Environments provide a means of communication at high speeds based on the Ethernet protocol. Starting from an operational infrastructure installed, this project describes the steps of the implementation of equipment and services that may be offered to customers of the target company.*

**Key-words:** Metro Ethernet Network; Ethernet Standard; Gigabit Ethernet.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico na área de telecomunicações, as operadoras necessitam disponibilizar serviços cada vez mais rápidos e com confiabilidade. Esta demanda por maiores velocidades de comunicação são tão importantes para as grandes corporações, como para os clientes domésticos, onde as pessoas estão cada vez mais exigentes buscando agilidade em seus processos. As operadoras precisam ter uma estrutura de rede adequada, caso contrário poderão ter sua lucratividade e crescimento prejudicados, se não suprirem esta demanda de mercado.

Motivado por este exponencial aumento no consumo, um novo modelo de arquitetura em redes foi desenvolvido com características voltadas à vazão, confiabilidade e agilidade dos meios em que se encontra inserido. Tal estrutura une a alta capacidade de tráfego em áreas densamente povoadas, com o uso do padrão Ethernet.

A versatilidade e escalabilidade do padrão Ethernet simplificam e reduzem os custos de manutenção e operação da rede, além de possibilitarem o desenvolvimento de novos serviços e produtos por parte dos fabricantes e operadoras. No entanto, uma operadora de telecomunicações precisa adequar sua estrutura, antes voltada para redes de Multiplexação por Divisão de Tempo (TDM), ao tratamento de pacotes em redes *Internet Protocol* (IP).

Este artigo busca apresentar o estudo e a implantação de uma rede Metro Ethernet aplicada em uma empresa de telecom cuja estrutura de rede atual não comporta serviços com altas velocidades e de valor agregado, tendo em vista que sua área de concessão abrange uma região metropolitana, o padrão Metro Ethernet torna-se o mais adequado neste projeto. A tecnologia Metro Ethernet é muito utilizada nas principais operadoras de telecomunicações mundiais, (por exemplo a AT&T, HKBN e OI) principalmente por ter como base o protocolo Ethernet, amplamente consolidado nas redes atuais.

---

1 Artigo elaborado como Trabalho de Conclusão do Curso em Tecnologia em Redes de Computadores, submetido ao Curso de Redes de Computadores da Universidade Luterana do Brasil, Câmpus Canoas.

2 Aluno formando do curso de Tecnologia em Redes de Computadores.

3 Professora orientadora deste trabalho.

Com a possibilidade desta nova estrutura tratar um grande volume de dados, serviços do tipo *Triple Play*, que constituem voz, vídeo e dados, podem ser oferecidos a seus clientes, beneficiando a sociedade de uma forma geral com produtos inovadores e de melhor qualidade.

A seção 2 descreve a fundamentação teórica do projeto. A seguir, a seção 3 apresenta o ambiente atual da empresa que necessita adequar sua estrutura de rede para ganhar mercado e, na seção 4, são descritos os requisitos e a forma como foi implementada a rede Metro Ethernet na empresa. Por fim, são apresentadas as conclusões embasadas em todo o trabalho realizado bem como o referencial necessário para este artigo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem por objetivo fundamentar a implementação da tecnologia Metro Ethernet em uma empresa de grande porte do setor de telecomunicações, particularmente distribuída na região metropolitana de Porto Alegre-RS.

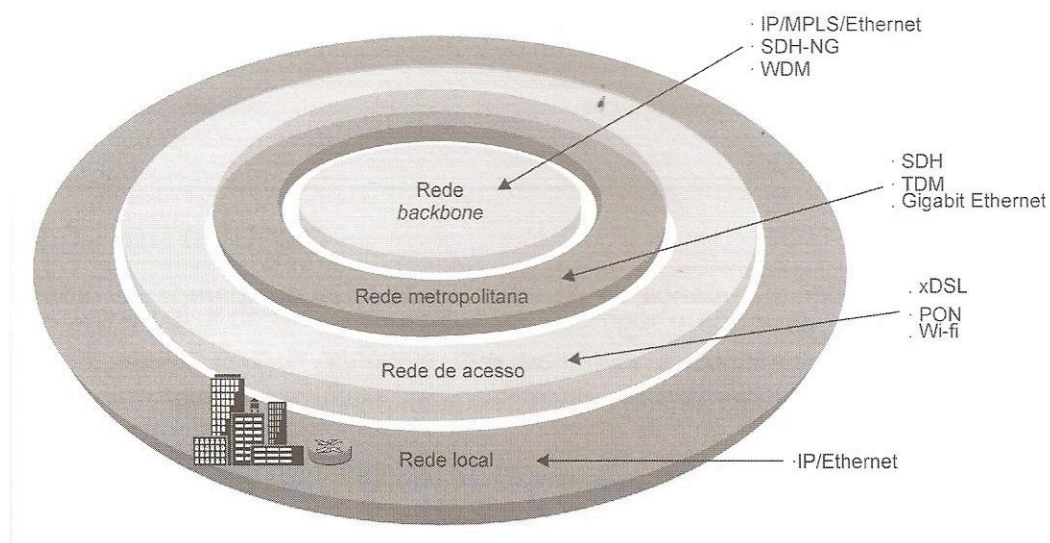
### 2.1 Redes de Nova Geração

Segundo Tronco (2006), os atuais sistemas de telecomunicações são construídos de uma combinação composta de diversas tecnologias de rede, aplicações e sistemas de gerência resultando num sistema de alta complexidade. Em decorrência desta diversidade tecnológica, operações como aprovisionamento, supervisão e treinamento tem seu custo consideravelmente elevados. As redes de nova geração trazem consigo o intuito de simplificar este processo através de uma nova arquitetura baseada somente em redes IP e tecnologia óptica. Visando a preservação dos investimentos esta nova tecnologia também pode se conectar aos sistemas legados.

O conceito de *Next Generation Network* (NGN) traz ao meio das telecomunicações a ideia de convergência das redes para uma plataforma única, onde ocorre uma separação do *hardware* e do *software*. Tal processo se assemelha ao ocorrido na indústria de computadores pessoais, o usuário pode escolher o *hardware* de um determinado fabricante e o *software* de outro, tecnicamente o sistema deve trabalhar em harmonia e a redução de custos aliado a grande variedade de aplicativos, são as vantagens obtidas. De volta ao ambiente de telecom isto significa uma arquitetura capaz de agregar diversos fabricantes e disponibilizar os mais variados tipos de serviços aos seus clientes.

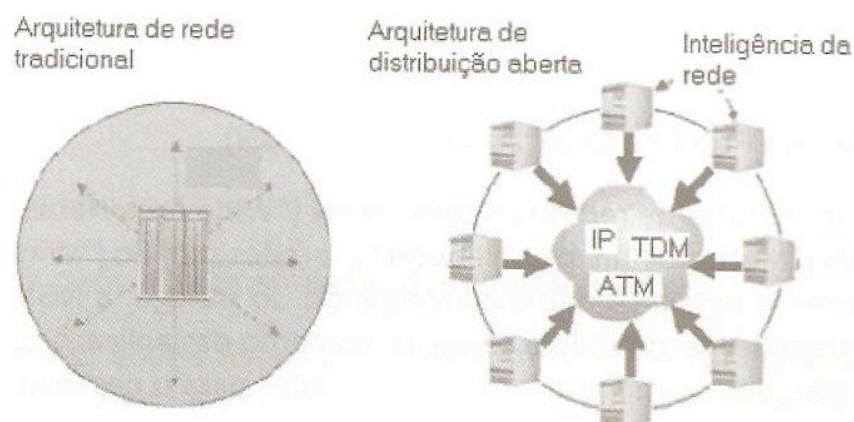
O primeiro passo para a instalação de uma plataforma NGN é a implantação da infraestrutura de redes, que pode ser dividida em várias etapas: implantação da rede de núcleo (*backbone*), da rede metropolitana e da rede de acesso. (TRONCO, 2006, p. 23).

A Figura 1 demonstra as tecnologias mais implementadas atualmente nessa infraestrutura e como estão distribuídas neste contexto.



**Figura 1 – Tecnologias mais inovadoras (TRONCO, 2006)**

De acordo com Lima Junior (2009), a arquitetura de rede tradicional é baseada em *hardware* e *software* proprietários, espera pelos novos desenvolvimentos de softwares para iniciar novos serviços/aplicações e longo período de tempo para desenvolvimento de novas aplicações. Em arquiteturas de distribuição aberta temos mais aplicações, maiores rendimentos, criação de novos serviços dentro da própria rede, menores custos e menores períodos de tempo para novas aplicações. A Figura 2 exhibe o comparativo entre Arquitetura de rede tradicional e Arquitetura de rede distribuída.



**Figura 2 – Arquitetura de rede tradicional x Arquitetura de rede distribuída (LIMA JUNIOR, 2009)**

Conforme Tronco (2006), a tecnologia que utiliza o protocolo da internet ou tecnologia IP vem se consolidando no setor de telecomunicações da mesma forma que o fez nos setores corporativos e de Tecnologia da Informação (TI), facilitando assim a convergência através de um novo paradigma “tudo sobre IP” e fortalecendo a tecnologia Ethernet.

## 2.2 O padrão IEEE 802.3

De acordo com Filippetti (2008), Ethernet é um método de acesso ao meio por contenção, o qual permite que todos os *hosts* (dispositivos) em uma rede Ethernet compartilhem a mesma largura de banda de um enlace. Ethernet é muito popular devido a sua implementação descomplicada, consolidação no mercado, baixo custo, escalabilidade e facilidade de atualização para novas tecnologias como Gigabit e 10 Gigabit Ethernet.

Segundo Tanenbaum (2003), a arquitetura Ethernet é a mais usada em redes de computadores locais, operando nas camadas um e dois do modelo *Open Systems Interconnection* (OSI) definindo, portanto, a parte física da rede local. Tal arquitetura está disponível atualmente em quatro velocidades máximas de transmissão: 10 Megabit por segundo (Mbps) (Ethernet padrão), 100 Mbps (Fast Ethernet), 1 Gbps (Gigabit Ethernet) e 10 Gbps (10G Ethernet). Portanto, a função do Ethernet é coletar os dados entregues pelos protocolos de alto nível e inseri-los dentro de quadros que serão enviados através da rede.

De acordo com Lima Junior (2009), a Ethernet eficientemente modifica o custo de fornecimento de serviços de alta velocidade, viabilizando uma nova geração de serviços escaláveis, que podem ser ativados dinamicamente sobre um software de controle remoto. Mecanismos avançados de *Quality of Service* (QoS) proporcionam os meios para compatibilizar requerimentos *Service Level Agreement* (SLA), e a capacidade para suporte de múltiplos serviços sobre uma interface Ethernet simples, tornando-se na principal chave para redução de custos de acesso *Wide Area Network* (WAN). Devido à grande base de redes *Synchronous Optical Networking* (SONET) e *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) instalada, a capacidade de interconexão com redes Gigabit Ethernet é o segredo para se proporcionar mercado de serviços em tempo real a baixo custo para os proprietários.

Segundo Tanenbaum (2003), na camada física a arquitetura Ethernet tem seus dados codificados no meio de transmissão de acordo com o tipo de meio (cabo metálico ou fibra óptica). Para cada taxa de transferência utilizada, um padrão diferente de codificação é utilizado:

- 10 Mbps (Ethernet padrão): é usada uma codificação chamada Manchester (aplicada a todos os tipos de cabos).
- 100 Mbps (Fast Ethernet): é usada uma codificação chamada 4B/5B (para todos os tipos de

cabos).

- 1 Gbps (Gigabit Ethernet): usa uma codificação chamada 4D-PAM-5 quando no uso de cabos de par trançado e a codificação 8B/10B é usada quando em uso de fibras ópticas.
- 10 Gbps (10G Ethernet): usa codificação denominada 64B/66B quando em uso de fibras ópticas (exceto cabos 10Gbase-LX2, que utilizam a codificação 8B/10B) e uma codificação chamada DSQ128/PAM-16 quando em uso de cabos de par trançado.

### 2.2.1 Gigabit Ethernet

Conforme Norris (2002), o primeiro passo em direção ao desenvolvimento da Gigabit Ethernet foi a criação do padrão IEEE 802.3z *Task Force*. A esta comissão foi dada a tarefa de desenvolver um padrão que iria abordar a necessidade de uma tecnologia de alta velocidade que interligasse redes locais a *backbones* ou *Point of Presence* (POP) de uma rede. Como todas as tecnologias Ethernet, o IEEE 802.3z Gigabit Ethernet é uma extensão do padrão IEEE 802.3 e tem muito em comum com seus antecessores no que diz respeito às características da camada *Media Access Control* (MAC) e enquadramento, mas são as camadas físicas e de enlace que lhe permitem operar em velocidades consideravelmente altas.

### 2.2.2 10 Gigabit Ethernet

Conforme Norris, (2002), as redes 10 Gigabit Ethernet tem seu padrão descrito na força tarefa IEEE 802.3ae, segue quase a mesma maneira que o padrão Gigabit Ethernet foi especificado. A estrutura geral é sensivelmente a mesma, e as mudanças foram introduzidas apenas para lidar melhor com as altas taxas de transferência. O IEEE 802.3ae especifica que somente o modo *full-duplex* é aplicado a redes 10 Gigabit Ethernet, pois como seus links a 10 Gbps são normalmente ponto-a-ponto e através de fibras ópticas, não há disputa entre as interfaces na hora de transmitir.

Com o padrão Ethernet atingindo altas velocidades, bem como o aumento na oferta de novos serviços e consumo, as grandes operadoras de telecom começaram a adequar suas arquiteturas para suprir esta necessidade de mercado, com isso a implantação de redes metropolitanas baseadas no padrão Ethernet tem ganho destaque e mercado na área de telecomunicações.

## 2.3 Redes Metro Ethernet

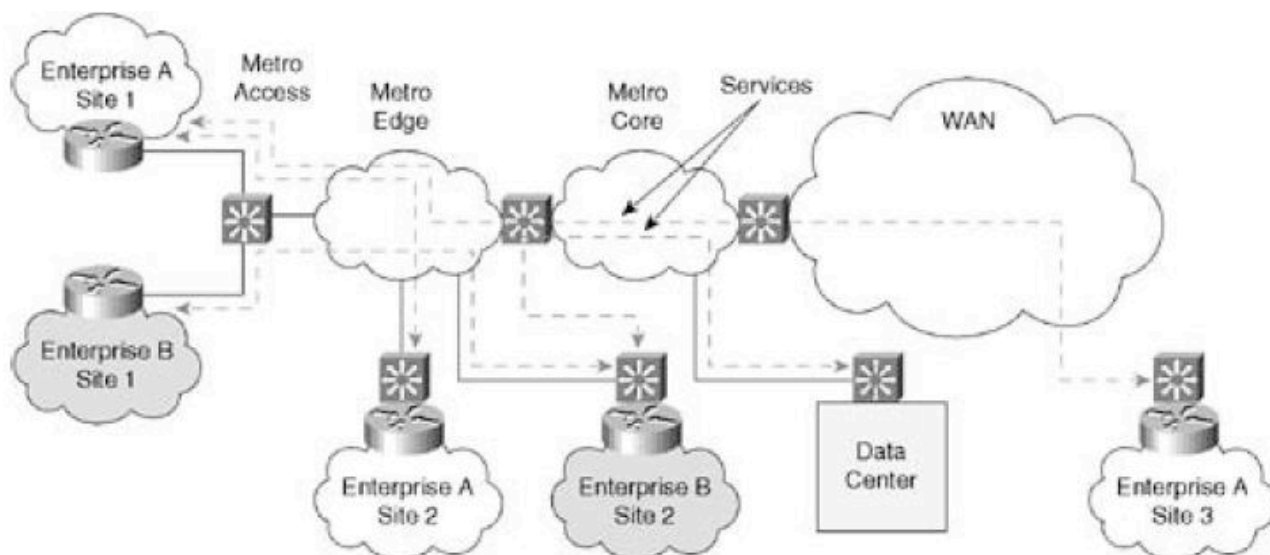
Conforme Tronco (2006), a maior parte do tráfego corporativo atualmente tem origem e destino em portas Ethernet. Com mais de 30 anos de história está consolidado como padrão na indústria, superando tecnologias até então consistentes no mercado de telecomunicações, tais como: *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) e *Frame-Relay*.

Redes metropolitanas provêm as ligações entre a rede de acesso e o *backbone* da operadora, este modelo de arquitetura tem como objetivo dar vazão ao grande volume de dados dos grandes centros urbanos.

De acordo com Halabi (2003), com ênfase no acesso, agregação e prestação de serviços a Rede Metro Ethernet está dividida em três segmentos:

- *Metro Access* (Acesso da Metro): Este é o seguimento que representa a parcela da última milha, que é a parte da rede que alcança o cliente final. Em aplicações empresariais, por exemplo, o acesso compreenderia a um equipamento instalado próximo ou no interior de um complexo empresarial.
- *Metro Edge* (Borda da Metro): Este segmento constitui o primeiro nível de agregação na Metro, as conexões que deixam o seguimento de acesso são concentrados nestes equipamentos localizados dentro da operadora.
- *Metro Core* (Núcleo da Metro): Este segmento se apresenta como um segundo nível de agregação, concentrando vários *links* de equipamentos da Borda da Metro que por sua vez, se conectam com a WAN da operadora ou *backbone* IP.

Na Figura 3 é exemplificado uma topologia Metro Ethernet e como os segmentos *access*, *edge* e *core* estão distribuídos.



**Figura 3 – Distribuição dos segmentos de Acesso, Borda e Núcleo (HALABI, 2003)**

Na prática esta terminologia da Rede Metro Ethernet pode ser um tanto confusa, em alguns casos há apenas um nível de agregação onde o primeiro acesso do cliente é feito diretamente no *Metro Edge* ou mesmo no *Metro Core*, dependendo das necessidades da operadora ou condições da infraestrutura de transporte local.

## 2.4 Tecnologias de transporte Metro Ethernet

Os serviços Metro Ethernet e suas aplicações, não dependem necessariamente de tecnologia Ethernet para o transporte dos dados. A Rede Metro pode ser construída sobre diferentes tecnologias, tais como:

- *Ethernet over SONET/SDH (EoS)*: Por ser a tecnologia mais utilizada em *backbones* de operadoras, a infraestrutura SDH desperta grande interesse para uso no transporte de quadros Ethernet, utilizando a estrutura da tecnologia SDH é possível ao EoS um perfeito transporte com alta aptidão de Operação, Administração e Manutenção (OAM). Com o uso do EoS os principais atributos SONET/SDH são mantidos, tais como a restauração rápida, o monitoramento do link de qualidade e o da gerência de rede já implementadas.
- *Ethernet over WDM (EoW)*: *Wavelength Division Multiplexing (WDM)* é a tecnologia que permite a multiplexação de sinais ópticos em uma única fibra, usando diferentes comprimentos de onda para cada sinal. Assim é possível transmitir em um mesmo enlace de fibra diferentes canais, multiplicando sua capacidade e possibilitando a comunicação bidirecional. As operadoras se valem desta característica por permitir o aumento considerável nas taxas de transmissão de dados.
- *Ethernet over RPR (EoR)*: A tecnologia *Resilient Packet Ring (RPR)* surgiu no final dos anos 90 incentivada pela crescente demanda das redes de transporte, e prometia agregar a eficiência da rede IP com a capacidade robusta das redes SDH. As redes RPR são organizadas para transmitir pacotes em anel, otimizar e garantir o uso da banda, atraso e variação do atraso através da definição de classes de dados.
- *Ethernet over Fiber (EoF)*: A tecnologia EoF caracteriza-se por usar exclusivamente a tecnologia Ethernet para transmissão dos dados e atua nas camadas 1 e 2 do modelo de referência *Open Systems Interconnection (OSI)*. Desta maneira pode-se evitar o uso de tecnologias de nível 1 como o SDH, interligando a rede diretamente à *switches* Gigabits gerenciáveis.

No Quadro 1 é apresentado de forma resumida os principais serviços, tipos de conexões e tecnologias de transporte utilizadas na Rede Metro Ethernet.

**Quadro 1 – Serviços Ethernet (TRONCO, 2006)**

Enable Service over Ethernet	Storage	Internet Access	IP VPN	CESoE	IP Telephony	Video on Demand
Ethernet Connectivity Service	<b>E-Line and E-LAN (Virtual and Private, MAN and WAN)</b>					
Service Delivery Technology	Ethernet over Fiber	Ethernet over SONET/SDH	Ethernet over RPR	Ethernet over MPLS	Ethernet over WDM	

Cada uma das tecnologias citadas acima possui suas próprias características quanto ao uso da Ethernet em *backbones*, contextualizando melhor o EoW, e observa-se que é a técnica onde permite maior taxa de transmissão por usar diferentes comprimentos de onda num mesmo cabo óptico, no entanto sua implantação agrega custos muito elevados. Já no EoF, por se tratar de uma conexão ponto a ponto utiliza-se unicamente o Gigabit Ethernet sem qualquer outro encapsulamento. Tais enlaces são limitados a uma distância máxima de 40 Km. Por aproveitar uma planta SDH já instalada, o EoS é muito utilizado nos ambientes de telecom, agregando aos quadros Ethernet suas características de qualidade de serviço, resiliência e baixa latência, porém por se tratar de uma tecnologia desenvolvida para o transporte de voz, peca por ter uma gerência complexa e tecnicamente difícil.

Com base no que foi estudado, é possível visualizar como as redes Metro Ethernet trazem a integração mais apropriada para solucionar os problemas de acesso e implantação de novas tecnologias hoje disponíveis para empresa alvo dos estudos, propiciando, assim maior rentabilidade financeira e competitividade no mercado de telecom.

### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto foi analisado um cenário em produção de uma operadora de telecomunicações de abrangência nacional atuando nos mais diversos seguimentos de mercado, tais como: GSM, 3G, banda larga, serviços de dados, entre outros.

#### 3.1 Ambiente atual

Este projeto será desenvolvido para uma empresa de telecomunicações que tem suas estações ou POPs distribuídos grande parte em Porto Alegre e região metropolitana.

Seu principal produto de comercialização são as linhas telefônicas convencionais e móveis GSM, sendo também agregado a estes produtos o acesso banda larga *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL) e 3G (terceira geração).

Serviços de comunicação de dados são oferecidos através de uma arquitetura ATM e *Frame-Relay* ou pela estrutura de *backbone* IP composta de roteadores de núcleo, borda e acesso rodando o protocolo MPLS. No Quadro 2 é apresentado de forma resumida as localidades e principais estações desta organização.

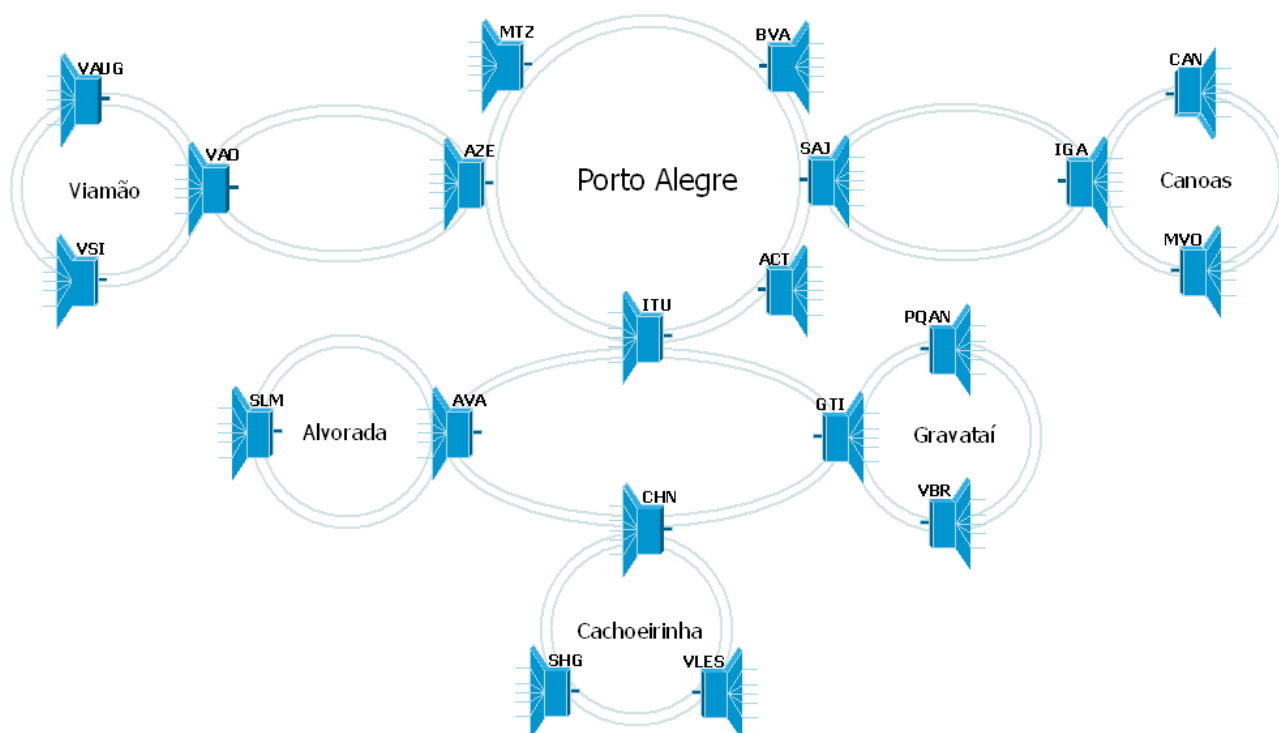
**Quadro 2 – Localidades e estações**

Localidade	Estações POP's					
Porto Alegre	Centro (MTZ)	Bela Vista (BVA)	São João (SAJ)	Anchieta (ACT)	Jd. Itú (ITU)	Azenha (AZE)
Canoas	Centro (CAN)	Igara (IGA)	Mathias Velho (MVO)	-	-	-
Gravataí	Centro (GTI)	Vila Branca (VBR)	Parque dos Anjos (PQAN)	-	-	-
Cachoeirinha	Centro (CHN)	Vila Esperança (VLES)	Shopping (SHG)	-	-	-
Viamão	Centro (VAO)	Vila Santa Isabel (VSI)	Vila Augusta (VAUG)	-	-	-
Alvorada	Centro (AVA)	Salomé (SLM)	-	-	-	-

A rede de transporte é composta por equipamentos SONET/SDH, também distribuída por suas centrais. Alguns destes equipamentos possuem implementadas interfaces Gigabit Ethernet que permitem a agregação de vários links em uma mesma porta.

### 3.2 Rede transporte SDH

O principal meio para entrega dos serviços aos seus clientes é a rede de transporte SDH que atende todas as estações de Porto Alegre e região metropolitana. A rede foi inicialmente projetada e instalada visando atender as centrais de telefonia fixa, mas com o crescimento do mercado de comunicação de dados foi sendo ampliada de acordo com as características de infraestrutura óptica de cada região. A Figura 4 ilustra esta topologia que serve de base para as tecnologias atuais e futuras.



**Figura 4 – Topologia atual rede SONET/SDH metropolitana**

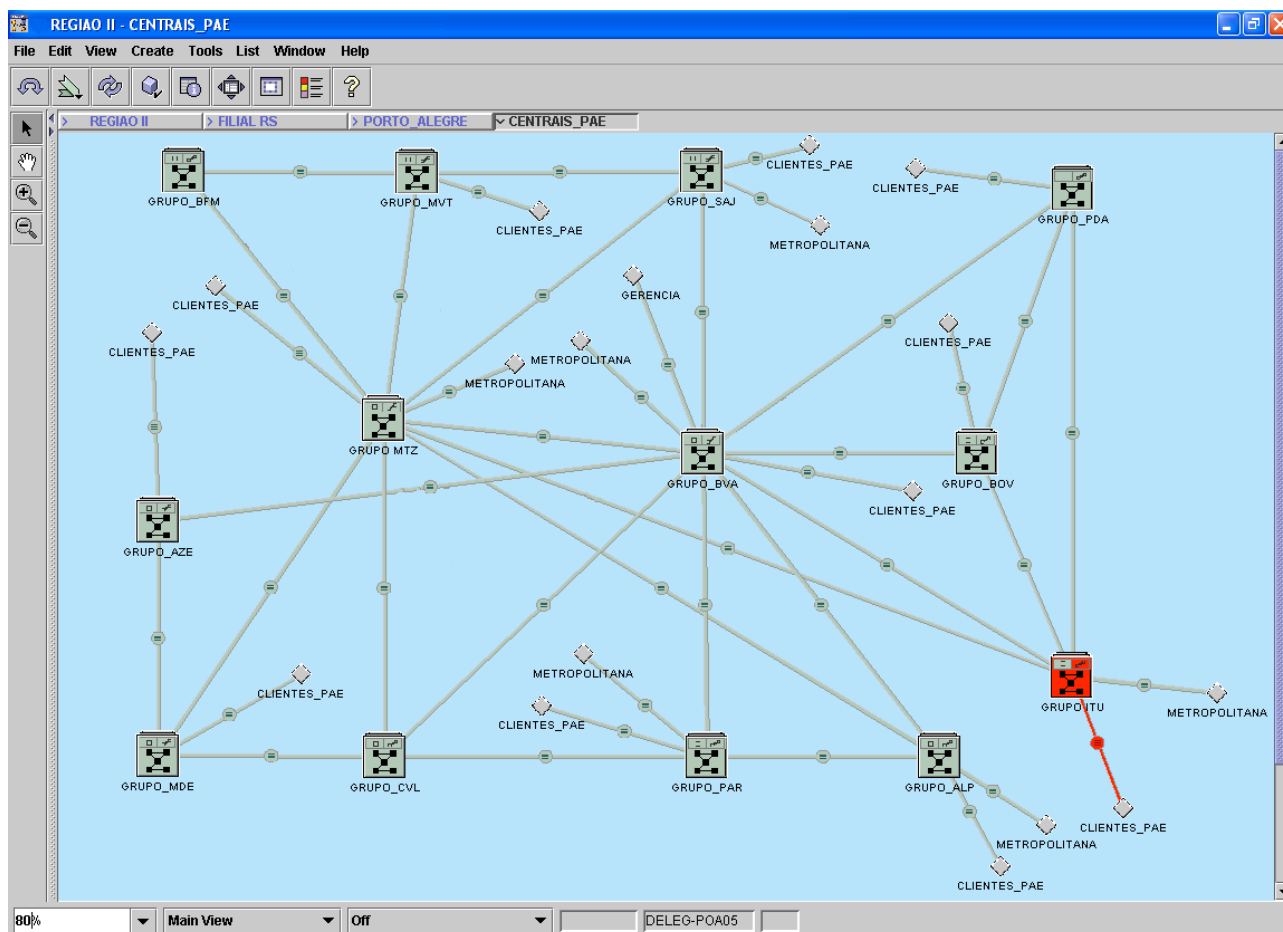
Dependendo do tipo de serviço contratado pelo cliente é possível o uso de portas Ethernet diretamente na rede SONET/SDH, no entanto, tal configuração agrega custos mais elevados ao produto final devido ao valor de implantação e gerência destes módulos na rede. Grandes clientes com altas demandas, tais como os bancos, tem instalados em suas dependências, equipamentos da rede de transmissão ou elementos da rede ATM para dar vazão aos seus enlaces internos.

### 3.3 Rede ATM – Newbridge

A rede ATM é um dos principais meios de fornecer conectividade de dados aos seus clientes e por ser uma arquitetura antiga, ainda tem grande utilidade, pois suas características de estabilidade e gerência gráfica fazem com que a tornem bastante confiável. Esta rede proporciona interfaces V24, V35, STM1 ou até mesmo Ethernet (no caso do switch ATM 7270), onde sua distribuição abrange praticamente todas as centrais da empresa e os equipamentos chamados de nós, fazem o papel de acesso ao cliente final. Em casos específicos, um equipamento ATM pode operar dentro das dependências do cliente, trazendo grandes vantagens, visto que, minimiza a ocorrência de falhas em circuitos e facilita o diagnóstico das mesmas.

As velocidades comercializadas na topologia ATM não são compatíveis com as necessidades atuais dos clientes. Com o padrão Ethernet cada vez mais consolidado, o uso deste nas redes ATM acaba por ter um custo muito elevado, não sendo atrativo comercialmente. A Figura 5 ilustra a topologia da rede ATM atual, implantada nesta operadora e vista no aplicativo de gerência 5620 NM (Network Manager) desenvolvido pelo fabricante Alcatel-Lucent.





**Figura 5 – Topologia e Gerência ATM**

Por possuir uma rede telefônica metálica que atente todas as cidades da região metropolitana, o principal acesso à banda larga é por via tecnologia ADSL, onde, seus primeiros equipamentos também fazem uso da rede Newbridge para alcançar os *switches* ATM de agregação.

### 3.4 Banda Larga ADSL

A tecnologia XDSL permite a transmissão de dados através da rede de cabos metálicos antes só utilizados para voz analógica, sendo possível, mediante este meio, atingir praticamente qualquer usuário que possua um terminal telefônico com condições físicas apropriadas.

A estrutura básica de uma rede ADSL consiste primeiramente de um equipamento chamado DSLAM, que tem a função de acesso aos clientes oriundos de uma determinada estação telefônica. O DSLAM se assemelha a um switch convencional, controlando as velocidades, qualidade de serviço ou reportando alarmes ao nível de gerência. Na outra extremidade da rede encontram-se os equipamentos chamados de autenticadores ou BRAS, onde sua função é validar cada usuário mediante consulta aos provedores de acesso, liberando assim o endereço IP ao dispositivo instalado no cliente final.

Os DSLAMs hoje instalados na empresa são classificados de duas formas: ATM ou Ethernet. Cada um faz referência ao padrão de modulação do sinal (ADSL e ADSL2+), com características que consideram a distância e a velocidade máxima suportada.

- ADSL: Padrão descrito no ITU-T G.992.1, com taxas máximas de 8 Mbps de *downstream* e 1,0 Mbps de *upstream*, com um alcance de até 3 Km da estação.
- ADSL2+: Padrão descrito no ITU-T G.992.5, atinge velocidades de 24 Mbps de *downstream* e 1,0 Mbps de *upstream*, com alcance de até 2,5 Km da estação, mas os 24Mbps somente são garantidos nos primeiros 1,5 Km, em distâncias maiores há queda na velocidade final.

Na análise efetuada, a empresa não possui problemas na entrega do serviço de banda larga aos clientes que residem próximos à estação telefônica, com clientes residentes distantes fica evidente que uma



grande parcela de potenciais consumidores se vê descoberta por falta de acesso.

A empresa adotou como alternativa o uso de armários externos instalados mais próximos dos usuários, porém sua maior dificuldade é entregar altas velocidades em DSLAMs que tenham seu *uplink* maiores que 32 Mbps, foi observado que nos DSLAMs Ethernet em armários é utilizado um conversor Ethernet, capaz de agregar 16 canais de E1 em um único enlace Ethernet, o que dificulta a gerência e manutenção em casos de falha. A Figura 6 ilustra parte da topologia ADSL analisada, suas formas de acesso e agregação.

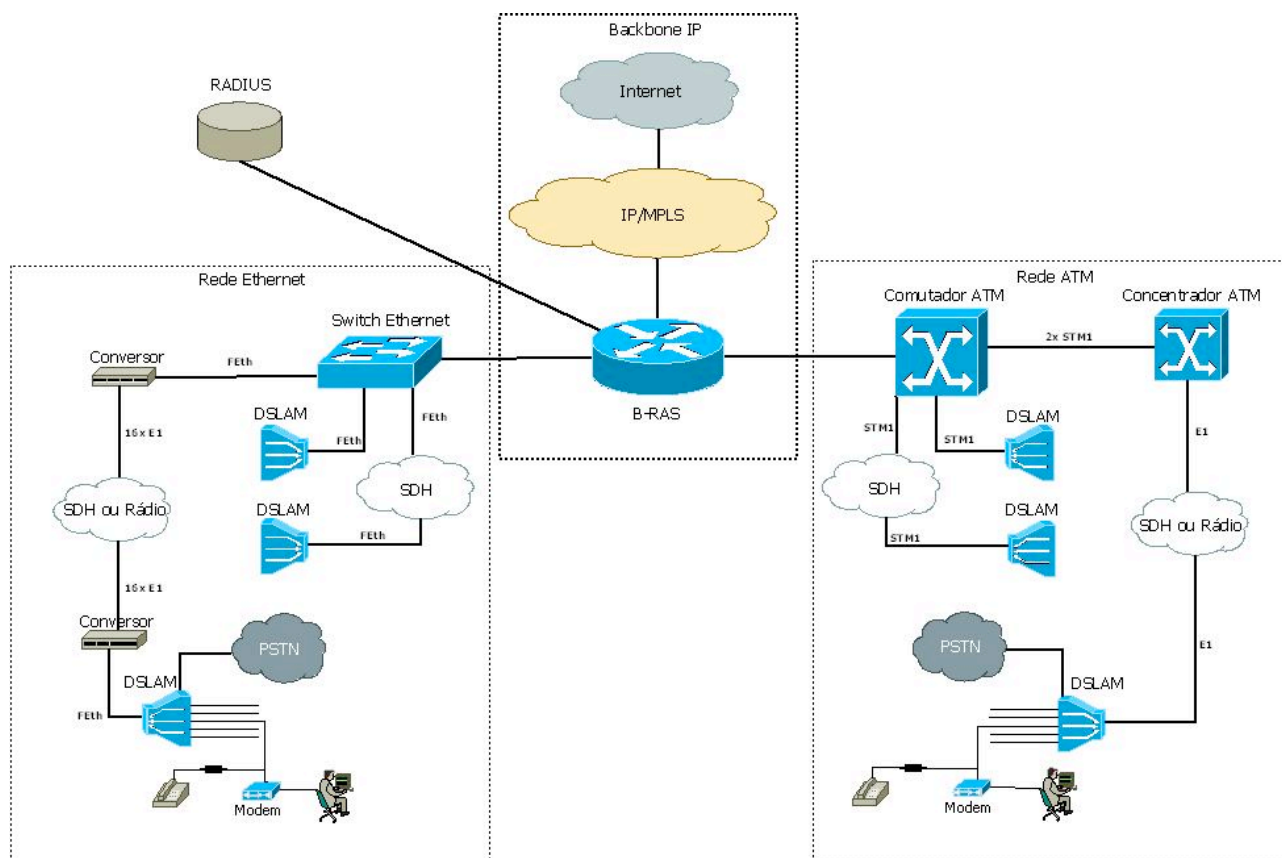


Figura 6 – Topologia ADSL Ethernet e ATM

### 3.5 Rede IP/MPLS - Backbone IP

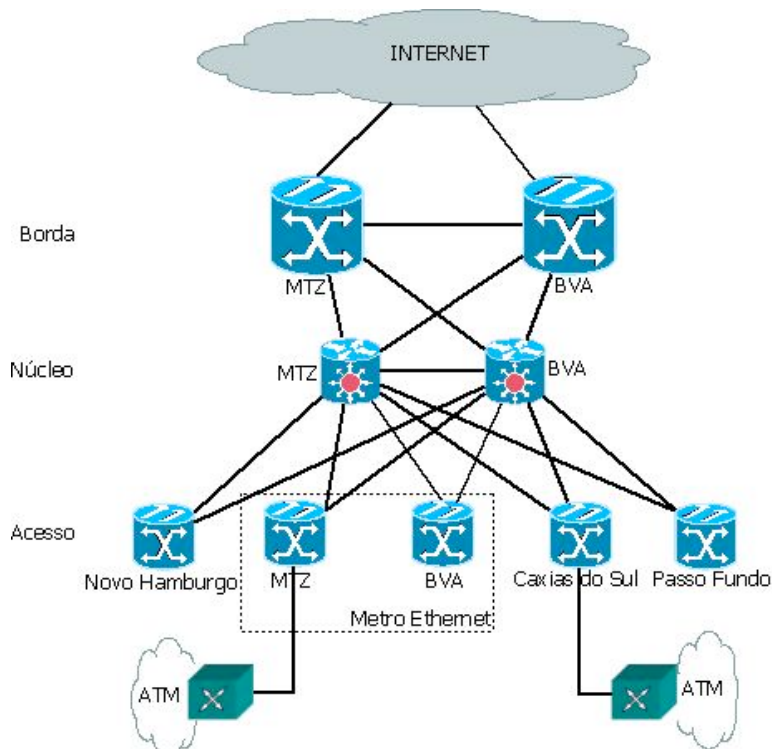
Todo tráfego de dados que utiliza o protocolo IP, de alguma forma, acaba passando pelo *backbone* IP da rede; seja este tráfego saindo para internet, outras operadoras, ou em um enlace curto (em uma mesma cidade ou região).

O *backbone* IP tem a função de agregar, tratar e direcionar o tráfego vindo dos clientes ou serviços IP disponibilizados pela empresa. Também através deste são estabelecidas as conexões com outras filiais ou *backbones* internacionais. Semelhante a outras tecnologias, o *backbone* IP pode ser dividido em 3 segmentos:

- **Acesso:** composto por *switches* de nível 3 ou roteadores de grande capacidade; agregam os enlaces de clientes e dependendo recebem tratamento de qualidade de serviço, como limitações de banda em determinados protocolos, por exemplo.
- **Borda:** camada da rede que conecta a empresa com as demais operadoras e empresas provedoras de serviços de internet; tais enlaces são tratados por roteadores de alto desempenho e vazão de dados.
- **Núcleo:** os roteadores desta camada precisam ser muito rápidos no tratamento dos pacotes, pois possuem a responsabilidade de encaminhamento do tráfego entre os equipamentos da borda e acesso da rede.

A demanda crescente do mercado por conexões IP entre empresas de pequeno a grande porte tem, de

certa forma, dificultado a oferta deste serviço. Em sua camada de acesso à rede IP, os enlaces de serviços ou clientes utilizam a rede de transporte SDH, conversores Ethernet ou modems ópticos, criando uma malha de equipamentos e pontos de falha, que aliado a uma limitação de banda, se contrapõe aos anseios de maior lucratividade e diversidade tecnológica. Na Figura 7 é apresentada, de forma resumida, a rede IP/MPLS atual e suas conexões com as demais tecnologias hoje em operação, a área pontilhada destaca os roteadores onde a rede Metro Ethernet fará suas principais conexões com a nuvem IP da empresa.



**Figura 7 – Topologia rede IP/MPLS**

Mapeando que a maior parte dos consumidores de serviços de conectividade, hoje, estão situados nos grandes centros urbanos, o uso de uma estrutura de acesso desenvolvida especialmente para este fim, poderia contribuir na solução destes problemas, alavancar receitas e competitividade no mercado provendo vazão adequada ao número de potenciais clientes.

## 4 SOLUÇÃO PROPOSTA

Conforme análise dos problemas encontrados e na tentativa de solucioná-los, foi identificada a necessidade de implementar uma nova estrutura que facilite o acesso dos enlaces de dados, utilize o padrão Ethernet, possua escalabilidade, suporte altas velocidades, propiciando a aquisição de novas tecnologias e serviços modernos. Com base na análise de propostas, em que alguns fornecedores do ramo de telecomunicações foram consultados, e no estudo de uma rede em produção, a solução mais adequada para o cenário apresentado foi a rede Metro Ethernet Alcatel-Lucent, composta pelos equipamentos 7750 SR (*Service Router*), 7450 ESS (*Ethernet Service Switch*) e o sistema de gerência 5620 SAM (*Service Aware Manager*). Por ser de conhecimento da empresa, as qualidades da rede ATM Alcatel-Lucent (estabilidade, tolerância a falhas e suporte técnico avançado junto ao fornecedor), a decisão também se deu por vantagens comerciais diferenciadas, ofertadas por um único fabricante.

### 4.1 Rede Metro Ethernet Alcatel-Lucent

Composta pelos equipamentos 7750 SR (*Service Router*), 7450 ESS (*Ethernet Service Switch*) e o sistema de gerência 5620 SAM (*Service Aware Manager*), esta rede é baseada no protocolo IP/MPLS que otimiza o desempenho da rede no nível de acesso e compatibilidade com sistemas legados. A integração com redes SONET/SDH e *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) disponibiliza a largura de banda necessária para a nova geração de produtos e serviços *triple play*. Enquanto *switches* Ethernet tradicionais oferecem conectividade *best effort* (modelo de serviço que compartilha a largura de banda por todos os

fluxos de dados transmitidos, sendo estes concorrentes entre si), a solução Metro Ethernet da Alcatel foi projetada com funcionalidades *carrier class* (modelo de serviço que controla os fluxos de dados transmitidos em classes, sendo que estes não disputam a mesma largura de banda), como gerenciamento e alta disponibilidade, escalabilidade de serviços, permitindo aprimorar a oferta de serviços mais confiáveis e de alto valor agregado.

#### 4.1.1 Roteador de Serviço 7750

Atua no núcleo da rede Metro Ethernet e tem como finalidade dar vazão ao tráfego de saída e entrada das redes legadas e da camada de acesso à nuvem IP/MPLS. Seu chassi pode ser apresentado tanto com 7 *slots* quanto com 12 *slots*. Neste projeto foi empregado o modelo 7750 SR-7 de 7 *slots* que de acordo com suas características, atende bem às necessidades da empresa.

- 500 Gbps de capacidade total de tráfego.
- 5 *slots* I/O (*input/output*) – 10 *slots* MDA (*Media Dependent Adapters*).
- 50 Gbps por *slot* escalonáveis para 100 Gbps.
- Alta disponibilidade e ISSU (*In-Service Software Upgrade*) serviço que permite atualizações de software e correções sem a necessidade de paralisação do sistema.

#### 4.1.2 Switch de Serviço Ethernet 7450

Equipamento que pode atuar na borda ou no acesso da rede Metro Ethernet. Sua principal finalidade é prover o primeiro nível de agregação dos serviços por meio direto ou por meio da rede SONET/SDH e DWDM. De igual forma que o 7750 seu chassi é apresentado com 7 ou 12 *slots* e conforme suas características o 7450 ESS-7 foi o utilizado neste projeto.

### 4.2 Projeto

Para alcançar o objetivo de implementar a rede Metro Ethernet Alcatel-Lucent, com sucesso, este projeto foi modelado em 4 partes: Planejamento, Implementação, Homologação e Produção.

#### 4.2.1 Planejamento

Respeitando a estrutura organizacional da empresa, o planejamento deste projeto foi acompanhado pelas áreas técnicas envolvidas. Como na estrutura atual as redes de transporte, IP/MPLS e fibra óptica, são independentes, um grupo de colaboradores especialistas foi montado para discutir problemas e alternativas viáveis no decorrer do processo juntamente com a consultoria do fabricante Alcatel-Lucent, tendo em vista sempre a possibilidade de escalabilidade da rede.

#### 4.2.2 Implementação da rede

O principal meio de transporte da empresa alvo deste projeto é a rede SONET/SDH e foi necessário uma avaliação baseada nesta topologia para definir em que estações podem ser instalados os equipamentos. Outro critério importante para esta definição foram as disposições das outras redes implantadas na empresa, IP/MPLS e ATM.

A nomenclatura dos equipamentos instalados em sua planta interna segue um padrão no qual é possível rapidamente identificar sua localização geográfica, tipo de equipamento, tecnologia e quantidade. Esta padronização tem fundamental importância em todas as instâncias de operação e manutenção, pois agiliza diagnósticos de falha, acionamentos técnicos e aprovisionamento de novos serviços. A definição do nome do equipamento segue uma hierarquia dividida em dois grupos: Localização geográfica e tipo de equipamento, e dentre esse, sub-grupos que especificam mais detalhadamente o equipamento. No Quadro 3 são apresentados os grupos e sub-grupos e de que forma o *hostname* do equipamento é definido, tal entendimento será importante nos passos seguintes da implementação.

**Quadro 3 – Padronização dos *hostnames***

	Geográfico			Tipo		Resultado
	Estado	Localidade	Estação	Finalidade	Tecnologia/Quantidade	
	RS	PAE	MTZ	3	02	
<b>Hostname</b>	RS	GTI	VBR	6	70	RSPAEMTZ302
						RSGTIVBR670

	RS	PAE	BVA	7	00	RSPAEBVA700
--	----	-----	-----	---	----	-------------

O grupo “Tipo” pode ser melhor explicado no Quadro 4, onde são definidos a numeração do *hostname* de acordo com a função do equipamento.

**Quadro 4 – Classificação dos equipamentos**

Finalidade		Tecnologia/Quantidade
Número	Equipamento	Intervalo
3	Roteador	00 a 10 = Acesso IP/MPLS
6	DSLAM	00 a 39 = ATM
		70 a 99 = Ethernet
7	B-RAS	00 a 10 = Agregador ADSL

Equipamentos mais antigos ocupam valores de finalidade entre 1 e 9, portanto o valor escolhido para representar os roteadores e *switches* da rede Metro Ethernet foi 10. No sub-grupo tecnologia, intervalos de 10 à 19 classificam o equipamento núcleo da rede e de 20 à 49 os *switches* de acesso Metro Ethernet.

#### 4.2.3 Núcleo Metro Ethernet

Para a empresa, duas estações são consideradas as principais e suas dependências concentram toda estrutura de telecom envolvida. As estações MTZ e BVA em Porto Alegre irão receber os equipamentos destinados ao núcleo da rede Metro Ethernet onde terão enlaces de 10 Gbps com entroncamentos entre si conhecido como *mesh* (malha). Atualmente é possível o uso de conexões ópticas diretas entre estas estações, conhecidas como tronco de “fibras escuras” caracterizados por serem uma ligação direta entre as estações.

A rede IP/MPLS também segue esta distribuição, portanto cada roteador 7750 terá conexões com alta vazão de tráfego a 10 Gbps com esta rede, caso ocorra uma falha em algum destes enlaces, o protocolo de roteamento poderá redirecionar o tráfego automaticamente por outro caminho disponível até a recuperação do enlace.

Para haver uma integração com a rede ATM foi criado um enlace OC3 (155 Mbps) interligando o *backbone* ATM à rede Metro Ethernet. A rede ATM está distribuída em seu *backbone* na estação MTZ, portanto esta conexão existe apenas com um equipamento do núcleo da rede Metro Ethernet.

Salientando que a rede de transporte também converge para estas estações, conexões de 1 Gbps com o núcleo da Metro Ethernet facilitarão a agregação dos serviços e servem como alternativa caso algum trecho da rede SDH esteja com recursos de banda esgotado.

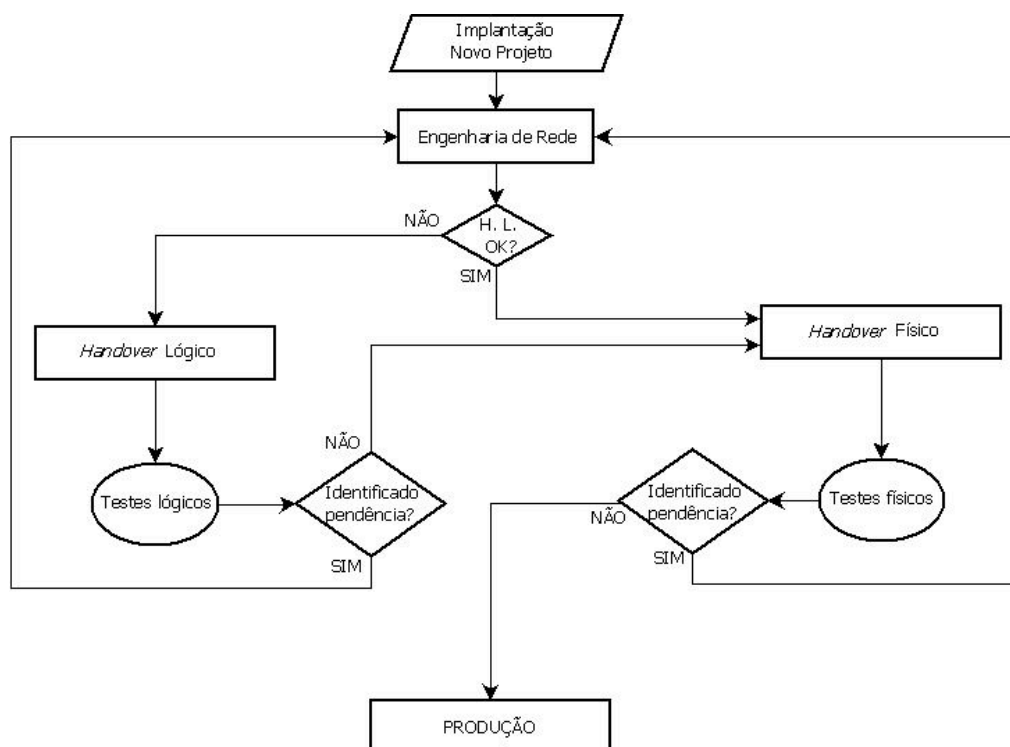
#### 4.2.4 Borda e Acesso Metro Ethernet

Os *switches* 7450 ESS-7 foram distribuídos na planta de forma a desempenharem funções que pertencem a ambas camadas, borda e acesso e tal formatação buscou otimizar ao máximo os recursos disponíveis nos equipamentos. Outro fator relevante foi a topologia da rede transporte nos POP's metropolitanos, conforme ilustrado anteriormente na Figura 4. É possível identificar as centrais em Porto Alegre que concentram os anéis ópticos da rede SDH, provendo estas estações com a borda Metro Ethernet e com isso obter um ganho maior na distribuição dos serviços, caso contrário, todo enlace de cliente ou serviço teria que seguir via SDH até o núcleo ATM ou MPLS, sobrecarregando a rede e dificultando a operação. Por fim, o entroncamento óptico entre as estações consolidou esta distribuição, visto que, o cenário ideal acarretaria um investimento considerável na infraestrutura óptica externa, e o mesmo não está nos planos da empresa a curto prazo.

Diferentemente da topologia em malha utilizada no núcleo da rede, na camada de borda e acesso foi aplicado o modelo de conexão conhecido como anel. Neste, os equipamentos são conectados um após o outro onde o início e o final deste circuito chegam aos roteadores de núcleo, caso ocorra uma falha no anel a convergência se dará pelo outro caminho, assumindo características de barramento. É importante ressaltar que houve o cuidado neste projeto de evitar os conhecidos “pseudo-anéis”, uma topologia lógica em anel, mas que seus enlaces passam por um caminho em comum, mesmo cabo de fibra óptica, por exemplo, em caso de ruptura ou degradação deixariam o equipamento isolado da rede.

Considerando estes fatores, a distribuição dos equipamentos pode ser dividida em dois anéis ópticos

- Anel 1 - interliga as estações AZE e ITU com o núcleo da rede, especial atenção foi dada a estação ITU, pois esta se encontra geograficamente situada próximo as cidades de Alvorada, Gravataí e Cachoeirinha onde há grande demanda por serviços de alta velocidade.
- Anel 2 - composta por 3 estações, atenderá a estação SAJ e ACT em Porto Alegre caracterizadas pelo comércio empresarial e industrial, completando este anel, outro 7450 foi designado para estação Canoas, com a principal finalidade de suprir a demanda por banda larga na região.



**Figura 9 – Fluxo de aceite lógico e físico**

#### 4.3.1 Handover Lógico

O *Handover Lógico* é realizado pela equipe de gestão e monitoramento das rede IP, ao término de uma instalação, a engenharia de redes dispara o processo de aceite lógico a esta equipe. Todas as configurações do equipamento serão revisadas, acessos, interfaces e principalmente a configuração dos alarmes com o sistema de monitoramento.

As configurações das interfaces de entroncamento 10 Gbps são revisadas nesta etapa, pois este é o momento de identificar qualquer falha de configuração, a geração proposital de alarmes verifica se os parâmetros estão sendo corretamente interpretados pela gerência. Na Figura 10 é apresentada parte da configuração da interface de entroncamento no núcleo da rede Metro Ethernet, tal verificação faz parte dos procedimentos de *Handover Lógico*.

```

A:RSPAEBVA1010#
A:RSPAEBVA1010# show port 4/2/1

=====
Ethernet Interface
=====
Description       : CONEXAO_COM_PAEMT303_TE13/2*RS_0732418
Interface         : 4/2/1                               Oper Speed      : 10 Gbps
Link-level        : Ethernet                             Config Speed    : N/A
Admin State       : up                                   Oper Duplex     : full
Oper State        : up                                   Config Duplex   : N/A
Physical Link     : Yes                                  MTU             : 1556
Single Fiber Mode : No
IfIndex           : 138444800
Last State Change : 05/15/2011 00:29:21                 Hold time up    : 0 seconds
Last Cleared Time  : N/A                                  Hold time down  : 0 seconds
                                                           DDM Events     : Enabled
  
```

**Figura 10 – Resumo de configuração interface 10 Gbps**

Ao término dos procedimentos de aceite lógico, a solicitação é devolvida a engenharia. Caso alguma pendência seja identificada os procedimentos de configuração deverão ser revistos, caso contrário o processo de aceite físico é iniciado.

### 4.3.2 *Handover* Físico

Esta etapa é realizada pela equipe de operação e manutenção da rede IP e solicitada pela engenharia de rede. A execução desta tarefa envolve uma série de critérios que visam o contexto da instalação física dos equipamentos. O objetivo desta atividade é validar se a aplicação do projeto foi seguido corretamente na prática.

Caracterizada por ser uma planilha eletrônica localizada em um diretório de acesso restrito às áreas envolvidas, esta planilha possui itens que devem ser inspecionados e validados. Dividida em 3 grupos (física, funcional e limpeza), agrega sub-itens tais como, fixação do bastidor, identificação do equipamento e parte elétrica, organização e identificação do cabeamento óptico e metálico, plano de face do equipamento de acordo com o projeto, medições da tensão de entrada das fontes, limpeza em geral e demais itens desta natureza.

De igual forma, no processo de *Handover* Lógico, esta lista de verificações é encaminhada para engenharia com as pendências verificadas ou com o aceite final e caso seja constatado alguma irregularidade, a empresa terceirizada responsável pela implantação deverá rever os itens, então o processo reinicia, caso aceite, a engenharia encerra a implantação e disponibiliza o equipamento para produção.

## 4.4 Produção

Com as etapas anteriores concluídas e a nova rede disponibilizada para entrar em produção, a etapa seguinte foi determinar quais serviços teriam prioridade de implantação, considerando as necessidades de mercado e arrecadação da empresa.

### 4.4.1 Banda Larga sobre Metro Ethernet

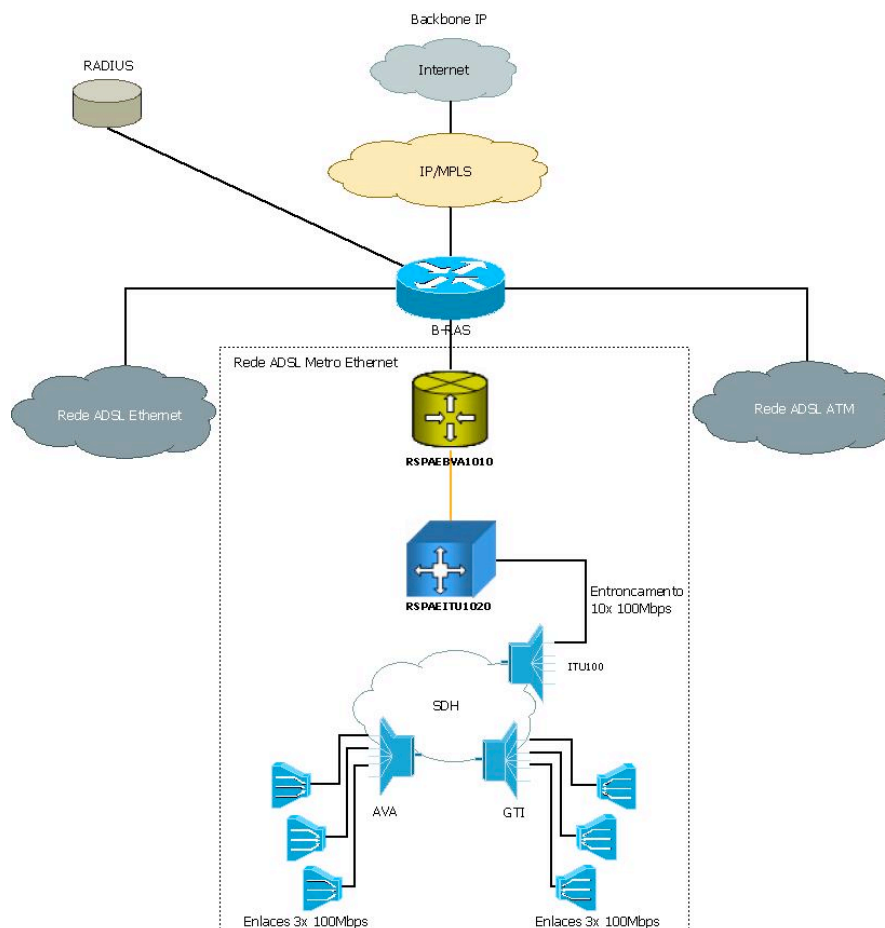
Atualmente uma das maiores demandas por conectividade do mercado é a banda larga, método que disponibiliza acesso a internet com altas velocidades na sua maior parte à clientes residenciais. A banda larga pode ser disponibilizada de diversas maneiras, através de cabos telefônicos (XDSL), cabos coaxiais (*cable* modem) ou redes sem fio (WiMax ou 3G). Como a empresa alvo deste projeto atua primeiramente no ramo de telefonia fixa, o método de distribuição deste sinal de banda larga é com o uso do padrão XDSL, pois esta operadora possui uma grande malha de cabos instalados por toda região metropolitana de Porto Alegre. Buscando contextualizar melhor as tecnologias XDSL, os padrões mais recentes desenvolvidos são chamados de *Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line* (VDSL) ou VDSL1 e VDSL2, que aplicados a esta rede metropolitana atenderão a demanda dos clientes mais exigentes por altas velocidades de conexão.

- VDSL1: possibilita taxas de transferência de até 50 Mbps em distancias que variam de 330 m à 1,5 Km.
- VDSL2: permite taxas de até 100 Mbps a uma distância de 500 m, indicado para uso em prédios ou condomínios.

Conforme apontado no item 3.4 deste artigo, a solução para grande dificuldade em entregar ao cliente final altas velocidades através de cabos telefônicos, resulta em estender os equipamentos conhecidos como DSLAMs o mais próximo possível do usuário e, com o uso do padrão Ethernet, uma agregação de diversos equipamentos em uma única interface Gigabit facilitando esta demanda.

Diferentemente da topologia de distribuição antiga, onde existem poucos pontos em comum, sujeitos a falhas massivas do serviço, na topologia Metro Ethernet aliada com a rede SONET/SDH, seus enlaces de agregação concentram diversos equipamentos e, caso haja alguma falha, grande parte da rede fica indisponível. Deve-se questionar também a dificuldade em testes e diagnósticos de falhas, visto que os enlaces podem passar por vários equipamentos de diversos fabricantes, uma documentação da topologia e configurações é imprescindível neste momento. Apesar destas características, o sistema possui poucas ocorrências com diagnóstico envolvendo a rede Metro Ethernet e por ser um sistema crítico para operação, é amplamente monitorado e falhas podem ser identificadas rapidamente. Na Figura 11 é apresentada parte da topologia ADSL Metro Ethernet, enfatizando uma agregação de vários DSLAMs em uma única interface Gigabit Ethernet.





**Figura 11 – Topologia ADSL Metro Ethernet**

#### 4.4.2 Acesso 3G sobre Metro Ethernet

O serviço 3G permite ao cliente uma grande mobilidade no seu acesso à Internet, e em conjunto com a rede Metro Ethernet mais pontos de distribuição tornam-se possíveis, pois no serviço 3G é indispensável uma grande distribuição de seus equipamentos abrangendo áreas de cobertura mais ampla possível.

A rede Metro Ethernet está preparada para dar vazão a este volume de dados, trazendo inúmeros benefícios a sociedade, pois é cada vez maior o número de *smartphones*, *tablets* e *netbooks* adquiridos nas grandes cidades, e a organização deve suprir as necessidades e anseios dos clientes.

#### 4.4.3 Serviços corporativos sobre Metro Ethernet

No ambiente empresarial a rede Metro Ethernet agrega grandes facilidades de conectividade, tratamento e controle de serviços e as empresas de todos os portes necessitam ter suas filiais e parceiros conectados de forma segura. Serviços desta natureza devem ser competitivos no mercado e com o padrão Ethernet esta tarefa se torna possível.

Com o uso do protocolo *Virtual Private LAN Services* (VPLS), a rede Metro Ethernet poderá tratar as conexões de clientes na camada 2 enlace (referente ao modelo OSI). Tal serviço proporciona a operadora um maior controle sobre o tráfego, oferecendo ao clientes produtos customizados de gerenciamento somando valor agregado ao produto final.

Muitas vezes visando economia, empresas migram parcial ou totalmente suas centrais telefônicas convencionais para Voz sobre IP (VoIP). Com a Metro Ethernet o tratamento destes pacotes pode ser priorizado, de igual forma aconteceria se utilizada a rede MPLS. No entanto, se as pontas desse enlace estiverem ao alcance da rede metropolitana o seu tratamento é mais simples e não sobrecarregam equipamentos de hierarquia superior.

#### 4.4.4 Portifólio de novos serviços

As possibilidades de vazão oferecidas pela Metro Ethernet incrementam uma série de novos produtos

e serviços que poderão ser estudados e viabilizados no futuro. Auxiliados por meios de transporte baseados em DWDM, composta de uma poderosa rede óptica ou até mesmo do novo padrão IEEE 802.3ba que promete tráfego de 100Gbps, serviços de TV por demanda via IP (IPTV) de alta resolução e a quarta geração (4G) de telefonia móvel serão uma realidade em pouco tempo. A rede Metro Ethernet prevê esta evolução e garante o suporte destas necessidades.

## 5 CONCLUSÃO

Com a implantação da solução Metro Ethernet aliada aos recursos e meios de transporte disponíveis, um novo seguimento de rede fortemente consolidado no mercado foi incluído no cenário desta empresa. Este primeiro passo procurou adequar uma estrutura legada robusta, porém limitada e com altos valores investidos às demandas atuais por serviços de última geração, tendo em vista que sua área de atuação abrange uma área densamente povoada.

Embasado nos conceitos atribuídos às redes Metro Ethernet foi necessário uma boa compreensão do ambiente atual da empresa, pois os fatores que determinaram a topologia da nova rede passaram pela disposição de seus equipamentos (forma como estão interligados), entroncamentos ópticos e mercado de novos clientes.

Em plena operação, a rede Metro Ethernet torna-se crítica para os anseios desta organização (operadora), uma falha que não possa ser contornada de imediato pode afetar parte da sociedade que a utilizará em serviços de comunicação de dados dos mais variados tipos. Considerando este nível elevado de criticidade, uma especial atenção foi dada aos anéis de entroncamento óptico, procurando sempre o uso de caminhos externos diferentes entre os equipamentos, fato que na prática comprova a grande incidência de problemas em cabeamentos *outdoor*. A solução Metro Ethernet da Alcatel-Lucent acompanha uma poderosa ferramenta de gerenciamento chamada 5620 SAM, na qual a empresa possui um bom conhecimento, pois é da mesma família 5620 NM utilizada na rede ATM.

Por ser um padrão consolidado no mercado, o Ethernet aplicado em redes metropolitanas propicia um ganho às operadoras na diversidade de produtos e serviços, pois características como simplicidade, escalabilidade e baixos custos são mantidos nesta estrutura. No entanto foi verificado em produção, que a integração com redes legadas de transporte TDM somada a diversidade de fabricantes, acarreta dificuldades em aprovisionar serviços ou diagnosticar e reparar falhas, embora a rede Metro Ethernet em si seja monitorada por uma gerência própria, o serviço está inserido em um contexto maior e mais complexo.

O principal objetivo deste projeto foi alcançado mediante os esforços em preparar uma empresa com grande potencial de mercado mas que, de certa forma, encontrava-se “engessada” em uma estrutura de rede incompatível com o novo cenário tecnológico e agora está preparada para o crescimento com a implantação da rede Metro Ethernet.

As maiores dificuldades encontradas nesta implementação, foram em adaptar uma estrutura de rede totalmente nova, a um ambiente operacional composto de tecnologias mais antigas em que não era possível qualquer alteração, por estarem em produção. Visto que, todo planejamento executado foi balizado pelo custo benefício, este contribuiu para dificultar o trabalho no momento de definição topológica da rede. Em um cenário ideal e seguindo os conceitos Metro Ethernet, uma abrangência maior poderia ser alcançada, porém da maneira como foi implementada é possível a escalabilidade de forma segura e ordenada.

Considerando trabalhos futuros é possível investir conhecimento na ampliação desta rede, para que esta atenda cada vez mais usuários, e com o advento das novas tecnologias e serviços, este futuro não tarda a chegar.

Importante enfatizar que este caminho é redesenhado a cada novidade de mercado, a cada necessidade de crescimento pessoal ou coletivo, no qual cada um de nós contribui de alguma forma. Esta constante busca por melhorias e inovações é o principal incentivo em manter-se atualizado e aplicar nosso conhecimento em benefício da sociedade.

## AGRADECIMENTO(S)

Agradeço minha esposa Luciana, minha mãe, meus sogros, cunhadas e amigos pela compreensão e apoio que me dedicaram ao longo deste caminho; por acreditarem e me incentivarem a nunca desistir de

meus ideais.

Agradeço a minha orientadora, pela dedicação, paciência e apoio para realização deste trabalho que, sem sua confiança, não o realizaria.

Agradeço ao corpo docente desta Universidade, em especial aos professores do curso de Redes de Computadores, incansáveis e determinados no nobre dom de ensinar.

Enfim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para que fosse possível concluir este trabalho.

## REFERÊNCIAS

Alcatel-Lucent 7750 SR *Service Router*, Disponível em: <<http://www.com-inter.ru/files/uploaded/mppls-775023062009.pdf>>. Acesso em 10 de Maio de 2011.

ALECRIM, Paulo Dias de. **Simulação Computacional para Redes de Computadores**. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna LTDA, 2009 253 p.

FILIPPETTI, Marco Aurélio. **CCNA 4.1 – Guia Completo de Estudo**. Florianópolis: Ed. Visual Books, 2008 480 p.

Gigabit Ethernet – O fim do gargalo nas redes de telecomunicações, Disponível em: <[http://www.promon.com.br/portugues/noticias/download/Gigabit\\_4Web.pdf](http://www.promon.com.br/portugues/noticias/download/Gigabit_4Web.pdf)>. Acesso em 01 de Abril de 2011.

HALABI, Sam. **Metro Ethernet**. Indianapolis: Cisco Press, 2003 240 p.

KASIM, Abdul; et. al. **Delivering Carrier Ethernet: Extending Ethernet Beyond the LAN**. Nova York: Ed. McGraw-Hill, 2007 568 p.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de Computadores e a Internet: Uma abordagem top-down**. São Paulo: Ed. Addison Wesley, 2006 656 p.

LIMA JUNIOR, Almir Wirth. **Rede de Computadores Tecnologia e Convergência das Redes**. Rio de Janeiro: Ed. Alta Books, 2009 608 p.

Metro Ethernet Forum MEF, Disponível em: <<http://metroethernetforum.org/index.php>>. Acesso em: 20 de Abril de 2011.

NORRIS, Mark. **Gigabit Ethernet: Technology and Applications**. Norwood: Artech House Telecommunications Library, 2002 270 p.

TANENBAUM, Andrew S.. **Redes de Computadores**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2003 945 p.

TRONCO, Tânia Regina. **Redes de Nova Geração**. São Paulo: Ed. Érica, 2006. 169 p.