

2

Implementação de Redes Ethernet e Padrões de Infra-Estrutura Telefônica Legada

Ao longo do presente capítulo serão apresentados nas seções 2.1 e 2.2 os elementos básicos das tecnologias SDH/SONET/TDM e Ethernet. A partir destes elementos, uma comparação entre estas tecnologias de transportes será apresentada na seção 2.3. Na seção 2.4 serão introduzidos os aspectos relacionados a flexibilidade, topologia e custos das redes Ethernet. Finalmente, a seção 2.5 apresentará os comentários e conclusões do presente capítulo.

2.1

Introdução aos padrões TDM

Será apresentada a seguir, de forma simplificada, a infra-estrutura legada de telefonia que ainda é amplamente utilizada como meio de transporte. Também serão apresentadas novas tecnologias associadas a um novo paradigma de negócios no setor de telecomunicações muito mais flexível e barato.

O sistema legado utiliza a tecnologia TDM para processar o sinal a ser enviado. Neste sistema, um sinal de voz analógico é amostrado a cada 125 μ s e em seguida, digitalizado e enviando através de uma rede de telecomunicação ao seu destino. Na Figura 1 pode ser observado a forma de implementação da tecnologia TDM.

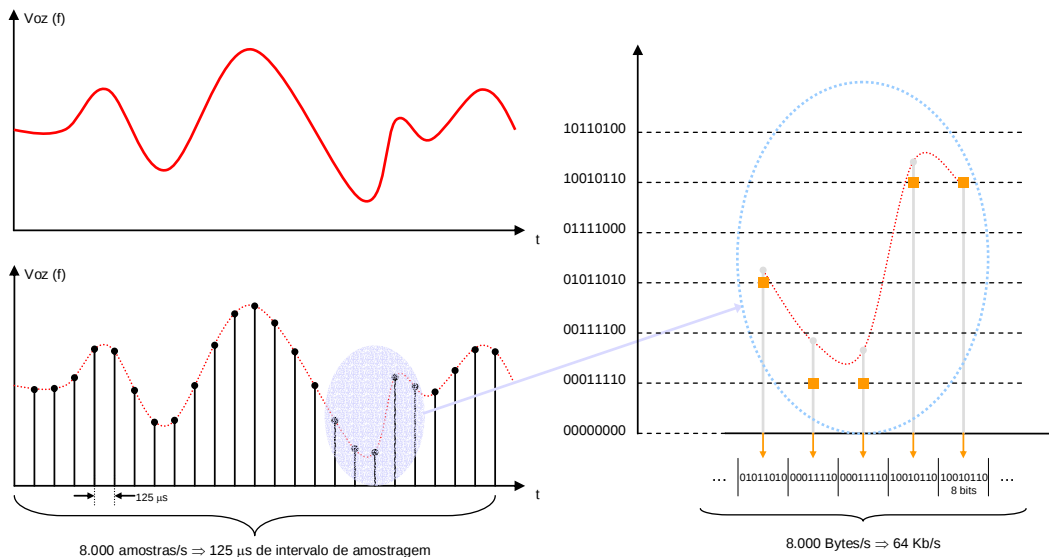


Figura 1: Processo de digitalização de sinal analógico de voz

Pode ser destacado que para cada canal de voz, a cada segundo são geradas 8.000 amostras de 8 bits totalizando 64 kbps, sendo esta a taxa básica desta tecnologia. Estes valores resultam do teorema de Nyquist, adotado nas aplicações PCM (Pulse Code Modulation), que estabelece que a taxa de amostragem de um sinal deve ser o dobro de sua frequência máxima. Como o sinal de voz de uma conexão telefônica utiliza uma banda passante de 4 kHz, resulta o número de amostras indicado.¹

Em áreas residenciais, troncos E_1 (European format for digital transmission), correspondentes a 30 canais de voz multiplexados, são normalmente utilizados e constituem a forma de agregação básica nesta área. Assim, um tronco E_1 , transportando 30 canais de voz opera na taxa de 2 Mbps. O multiplexador indicado na Figura 2 ilustra esta agregação.

¹HORAK, R. **Communications Systems and Networks**, Second Edition, M&T Books, 2000, pp. 241-242.

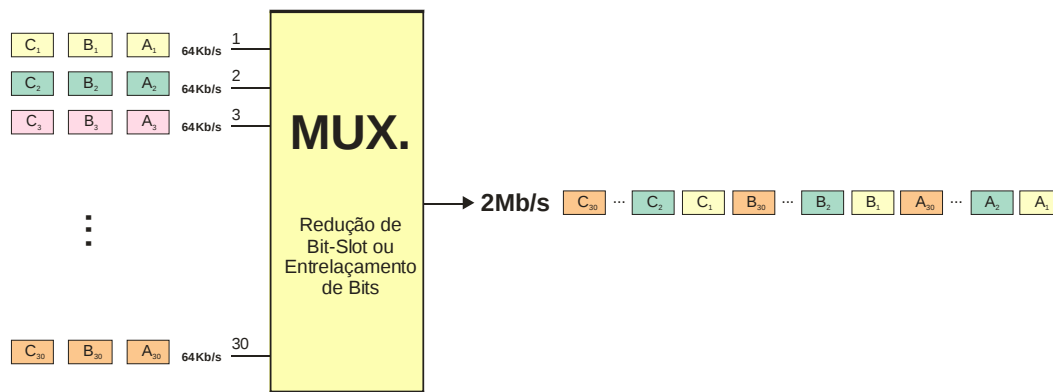


Figura 2: MUX SDH: A formação de um canal E_1 através de 30 canais de voz digitalizados.

No padrão SONET, 24 canais de voz digitalizados formam um tronco T1, correspondendo a 1.544 Mbps.

A partir da rede local, o processo de agregação tem sua continuidade adaptada para os tráfegos metropolitano, regional e de longa distância. As formações destes tráfegos obedecem a padrões rígidos e hierarquizados. Na etapa inicial da tecnologia TDM, atingiam-se taxas de até 139 Mbps utilizando método de sincronização eletrônica rudimentar originando o sistema denominado como plesiócrono. Nos sistemas digitais plesiócronicos instalados nos USA, atingiam-se taxas de 44.736 Mbps. Com o início da utilização de fibras ópticas e a disponibilização de novas técnicas de sincronização eletrônica, desenvolveram-se os padrões SDH e SONET com agregação de tráfegos tributários segundo a Figuras 3 e 4.

Nos USA, o padrão SONET passou a ser utilizado através da inclusão do tráfego de 44 Mbps, denominado T3, Figura 4, na primeira taxa óptica básica STS-1 em 51 Mbps.

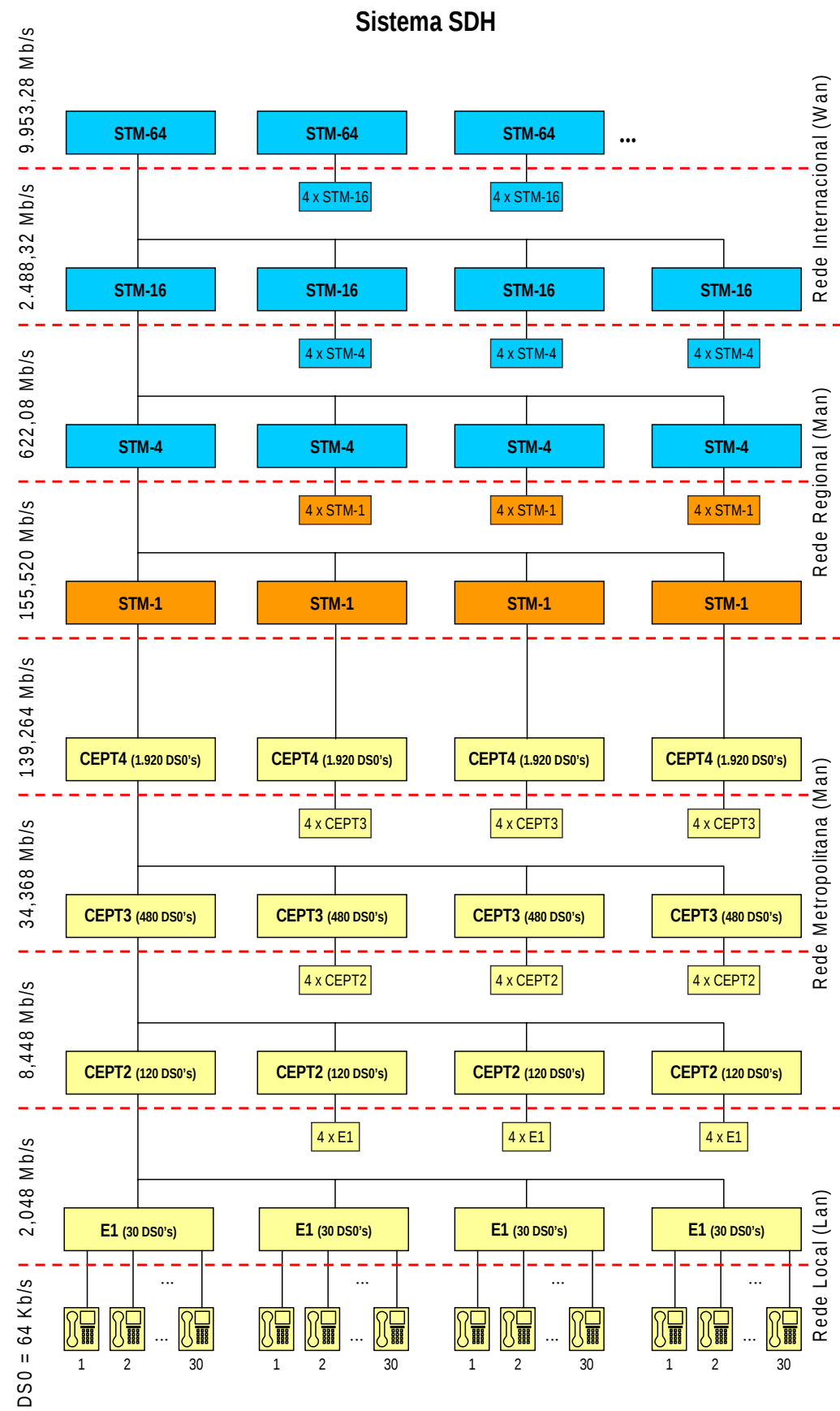


Figura 3: Hierarquização de tráfego no padrão SDH.

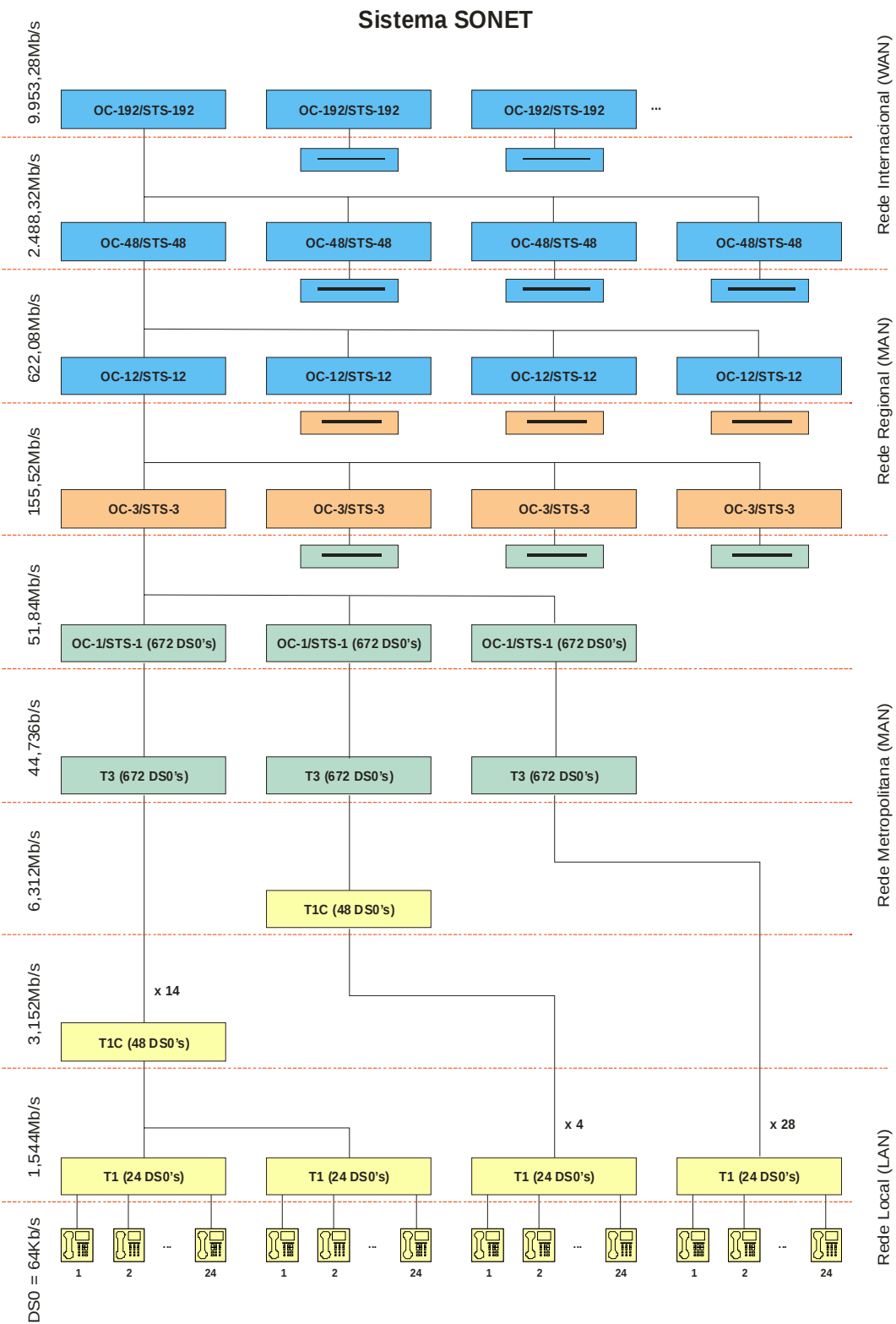


Figura 4: Hierarquização de tráfego no padrão SONET.

O padrão SDH, adotado na Europa e no Brasil, possibilitou que tráfegos operando em taxas de 139 Mbps fossem concatenados ao padrão STM-1 operando em 155,52 Mbps.

Os “pacotes” STM-1 (Synchronous Transfer Module) são configurados logicamente como uma matriz de 9 linhas e 270 colunas com cada elemento desta matriz correspondendo a um byte, como indicado na Figura 5, sendo as primeiras nove colunas destinadas ao cabeçalho e as demais as informações a serem transferida. Uma das aplicações usuais implementadas pelas operadoras telefônicas consiste na utilização de uma conexão STM-1 agregando 63 canais E1 contendo 1830 canais de voz, segundo ilustra a Figura .²

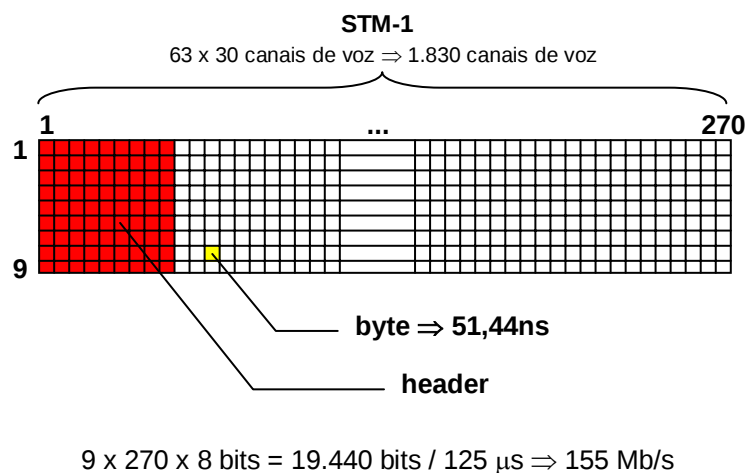


Figura 5: Pacote STM-1.

Os canais telefônicos dos assinantes residenciais com taxas de 64 kbps foram sucessivamente multiplexados de acordo com os padrões de agregação SDH até o nível STM-1. Cada um dos 1830 assinantes ocupará um único byte no quadro composto por $270 \times 9 = 2430$ bytes. A Figura 6 destaca a distância de $125\mu\text{s}$ entre dois bytes de uma conexão e sua duração correspondendo a 51,44ns obtidos através do *bit slot* em STM-1, isto é:

$$\text{Taxa} \Rightarrow 155,52 \text{ Mbps}; \text{ Bit slot} = 1 / 155,52 \times 10^6 = 6,430041 \text{ ns}$$

$$\text{Byte} \Rightarrow 8 \times 6,430041 \text{ ns} = 51,44 \text{ ns}$$

²Nortel Networks, **Synchronous Transmission System**, London, UK, N11 1HB, pp.142.

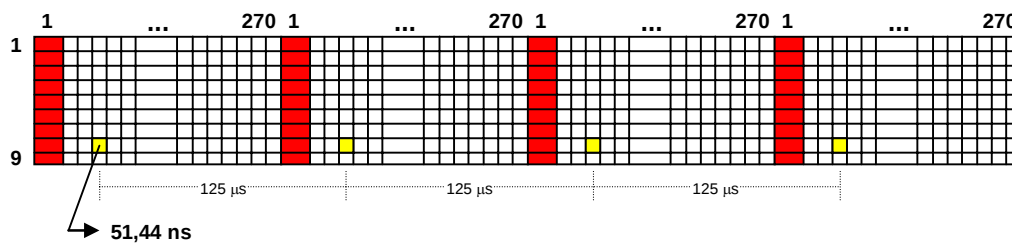


Figura 6: Ativação de uma conexão STM-1/155 Mbps destacando seu quadro constituído por uma estrutura matricial de 09 x 270 bytes como duração total de 125 μs, correspondente a 51,44 ns por byte. Quando 63 E_1 's contendo um total de 1830 canais de voz são considerados, cada canal de voz corresponderá a um byte.

A Figura 7 ilustra a configuração física associada ao quadro STM-1 quando uma conexão de 1830 canais telefônicos de voz está ativada entre os pontos A e B utilizando a rota o-p-q-r-s-t-u-v-w-x-y-z.

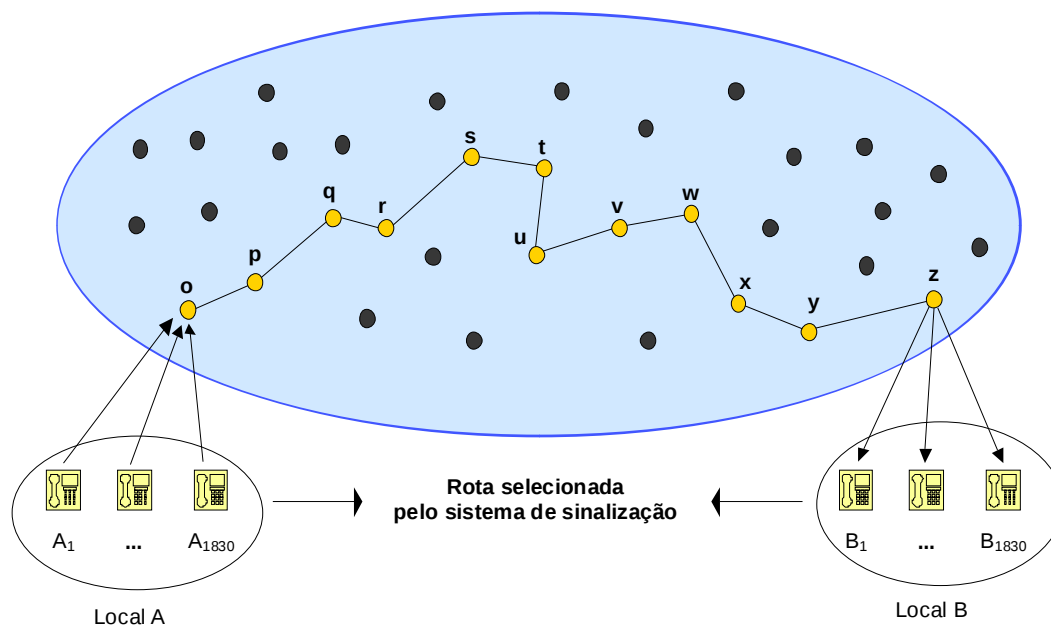


Figura 7: Conexão de 1830 canais de voz via STM-1 utilizando a rota indicada.

Na formação de tráfego, os canais de 2Mbps até 139Mbps são denominados de tributários. Os canais tributários são associados para a formação de pacotes de acordo com a Figura 8.

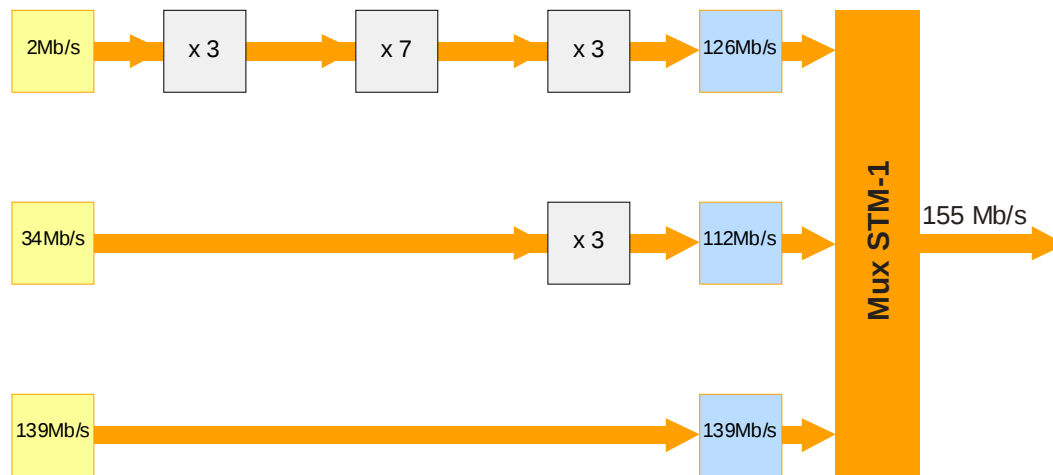


Figura 8: Hierarquia do tráfego tributário para a formação de um quadro STM-1/155 Mbps².

Um quadro STM-1 poderá ser constituído por 1830 canais de voz/64kbps, 63 E₁/2Mbps ou por uma composição mista de tributários. A Figura 8 indica então as diferentes composições possíveis de implementação deste quadro, observando-se que seu número é restrito.

A formação do tráfego local, metropolitano, regional e internacional dos padrões SDH e SONET obedecem a hierarquia indicada na Figura 3 e na Figura 4.

Não constitui objetivo da presente dissertação uma descrição detalhada das tecnologias SONET/SDH. A descrição de sistemáticas de provisionamento para concatenação, detalhes do cabeçalho e do *payload*, hierarquia TMN, sincronização, proteção, restauração, *internetworking* com ATM, regeneradores, etc., podem ser verificados nas referências^{2,9}. Considerações desenvolvidas no presente texto ilustram idéias iniciais e fornecem o quadro STM-1 para comparações com a tecnologia Ethernet que serão apresentadas orientadas para avaliação do desempenho econômico das mesmas.

Pode-se então destacar que para a presente dissertação que a característica principal dos padrões TDM é a hierarquização das taxas envolvidas. Torna-se então oportuno descreverem-se os aspectos básicos da tecnologia Ethernet para posteriormente elaborar-se uma comparação entre as tecnologias SDH/SONET × ETHERNET.

2.2

Elementos Básicos da Tecnologia Ethernet

2.2.1

Descrição do Quadro Ethernet

Como elemento básico inicial, considere o quadro Ethernet como definido originalmente pelo padrão IEEE 802.3⁷ na Figura 9:

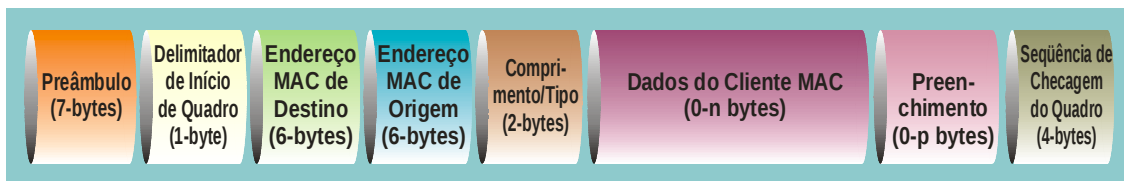


Figura 9: Pacote Ethernet padrão IEEE 802.3.

- **Preâmbulo (Preamble):** É uma sequência de 56 bits contendo 1s e 0s, alternadamente (101010...). É usado para sincronização e serve para dar tempo aos componentes da rede para detectar a presença de sinal no meio.
- **Delimitador do Início do quadro (Start Frame Delimiter):** 1 byte contendo 10101011, finalmente indica para os componentes da rede o início do quadro;
- **Endereços MAC (Media access control) de Destino e de Origem (Destination & Source MAC Addresses):** o campo de endereço MAC de destino identifica a estação ou as estações que devem receber do quadro, enquanto que o endereço MAC de origem indica a estação que enviou do quadro. O endereço de destino pode especificar uma estação individual ou endereços *multicast*³ de um grupo de estações. Se todos os bits dos 6 bytes do campo de endereço de destino estiverem preenchidos com 1s, o quadro será recebido por todos os componentes da LAN (Local Area Network), esse seria um endereço de *broadcast*³.

³SPURGEON, C. **Ethernet: the definitive guide**, O'Reilly & Associates, Inc., 2000, ISBN1-56592-660-9.

- Comprimento ou Tipo (*Length/Type*): Neste campo podem ser sinalizados dois tipos de informação. Se o valor do campo for menor ou igual a 1500, ele indica o comprimento do campo de dados. Se o valor for superior a 1536, o mesmo campo passa a indicar a natureza do protocolo do cliente MAC;
- Dados do Cliente MAC (*MAC Client Data*): Este campo contém os dados a serem transmitidos entre a estação de origem e a estação ou estações de destino. Pode ter no máximo 1500 bytes.
- Preenchimento (Pad): O tamanho mínimo do quadro Ethernet é de 64 bytes, entre o campo de endereço de destino e o campo de CRC (Cyclic Redundancy Code) do quadro, se esse tamanho não for alcançado, bytes extras são acrescentados neste campo para que se possa alcançar este mínimo.
- CRC do quadro (*Frame Check Sequence*): Este campo contém um CRC de 4 bytes calculado com todos os bytes incluindo o campo de endereço MAC. Quando a estação origem monta um quadro Ethernet, ela calcula o CRC e o inclui neste campo, e quando o quadro é recebido pela estação de destino, esta refaz o cálculo e compara com o valor informado neste campo. Se os valores não coincidirem, isto é, se não forem exatamente iguais, a estação de destino presume que houve algum tipo de erro e descarta o quadro.
- *Interframe*: O protocolo Ethernet necessita de um tempo de recuperação entre quadros. Este tempo é chamado de *Interframe*. Este tempo é de 9,6µs para 10Mbps, 96 ns para 100Mbps e 960 ns para 1Gbps de taxa Ethernet.

2.2.2

Ethernet compartilhada

Na década de 70, três empresas, a *Digital Equipment Corporation*, a *Intel* e a *Xerox* se uniram para desenvolver um protocolo que permitisse fácil acesso e flexibilidade de operação nas redes locais. Foi então desenvolvido o padrão

Ethernet cuja padronização para utilização em 10Mbps foi apresentada através da edição inicial da norma IEEE 802.3⁴ em 1983

Com o crescimento de sua utilização, o aumento da base instalada e a evolução da informática, surgiu a necessidade de um padrão de maior velocidade e em 1995, a recomendação IEEE 802.3u⁵ veio atender esta solicitação recomendando os padrões da chamada *Fast Ethernet* com capacidade de atingir a velocidade de até 100 Mbps.

A partir do *Fast Ethernet*, com o surgimento de processadores com velocidades mais elevadas e aplicativos que trabalhavam com arquivos ainda maiores, a demanda por redes locais operando em taxas superiores a 100 Mbps ficou evidenciada. Para atender esta demanda formaram-se grupos de fabricantes e fóruns de padronização. Em 1998, consolidou-se o padrão IEEE 802.3z⁶ estabelecendo aplicações na taxa de 1 Gbps denominado de Gigabit Ethernet.

2.2.3

Ethernet comutada × Ethernet compartilhada

Uma rede Ethernet pode ter dois modos de controle de tráfego, o compartilhado (*SHARED*) e comutado (*SWITCHED*). No modo compartilhado, utiliza-se um *Hub* com um número especificado de portas. Cada porta estará conectada a um único servidor. Forma-se então um meio com acesso de apenas um servidor a cada instante. O *Hub* formará através de suas portas um domínio de colisão. Cada servidor, para acessar o meio, deverá escutá-lo até que um intervalo de silêncio seja verificado. O protocolo que gerencia este acesso é denominado de CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Colision Detection).

No modo comutado (*switched*), Figura 10, utiliza-se um *switch*. Cada porta do *switch* possui um domínio de colisão dedicado, Isto é, cada servidor conectado

⁴Institute of Electrical and Electronics Engineers. **IEEE std 802.3**: Standard for local and metropolitan area networks – carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications. New York, 2002.

⁵Institute of Electrical and Electronics Engineers. **IEEE std 802.3u**: Standard for local and metropolitan area networks – MAC parameters, physical layer, MAUs, and repeater for 100 Mbps operation, type 100BASE-T (publicada como parte da IEEE 802.3). New York, 1995.

⁶Institute of Electrical and Electronics Engineers. **IEEE std 802.3z**: Standard for local and metropolitan area networks – Gigabit Ethernet (publicada como parte da IEEE 802.3). New York, 1998.

a qualquer uma das portas poderá enviar e receber mensagens simultaneamente, sem necessidade de escutar e/ou negociar acesso ao meio.

Nesta configuração utiliza-se então um único domínio de *broadcast frames* para todas as portas. Este domínio dedica-se a formação de sua tabela de chaveamento através dos endereços das placas de redes dos servidores.⁷

Em conexões metropolitanas e de longa distância e nas taxas de 1Gbps e 10Gbps, a tecnologia Ethernet utiliza quase sempre o modo comutado.

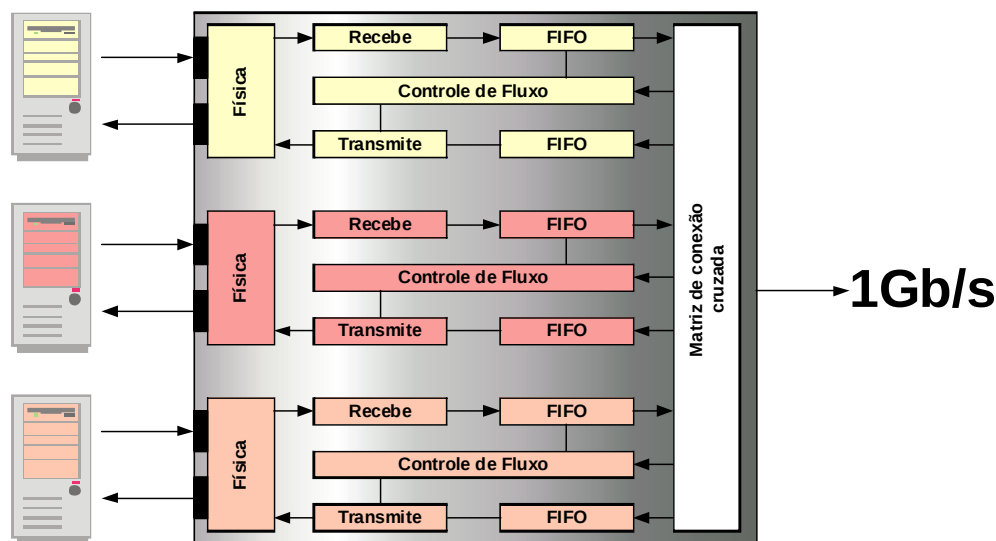


Figura 10: Funções de um comutador (SWITCH) indicando funcionalidades de formação de filas, controle de fluxo, controle de conexão entre as portas e conexão *full-duplex* em cada porta.

Um *switch* Ethernet representado pelo desenho esquemático da Figura 10, ao ser ativado implementa um protocolo de autonegociação para estabelecer a taxa de linha entre cada conexão porta *switch*/servidor. Desta forma, um *switch* com portas de 1Gbps poderá suportar servidores de 10Mbps, 100Mbps e 1Gbps. Uma vez estabelecidas as conexões, um processo inteligente de armazenamento e controle de fluxo permite o controle de tráfego entre as portas e/ou o meio externo. Caso um servidor envie uma mensagem para outro que esteja ocupado recebendo mensagens de um terceiro servidor ou do meio externo, os pacotes enviados serão armazenados e enfileirados até que o servidor destino esteja

⁷HUNT, Craig. **TCP/IP Network administration**, Second Edition, O'Reilly & Associates, 1998, ISBN 1-56592-322-7.

liberado. Eventualmente, o *switch* poderá enviar um sinal ao servidor origem indicando a saturação dos *buffers* e dos mecanismos de enfileiramento e a interrupção do envio de mensagens para o *switch*. Considere por exemplo um *switch* contendo 20 portas Fast Ethernet 100Mbps e uma porta de saída para a rede externa operando em 1Gbps. Caso os 20 servidores estejam operando em 100Mbps e tentem enviar mensagens ao meio externo simultaneamente, a porta de saída não terá capacidade para atender esta demanda de tráfego (2Gbps). Entretanto, os mecanismos de controle de fluxo contidos no *switch* sinalizarão aos servidores e negociarão uma redução do volume de mensagens a serem enviadas em cada porta. Além das funcionalidades indicadas, os *switches* poderão estabelecer classes de serviço, padrões de QoS, priorização de mensagens na formação de filas, mecanismos de proteção, etc.

2.3

Comparação Ethernet versus SDH/TDM

2.3.1

Eficiência de utilização da capacidade disponível

As redes SDH/SONET obedecem a padrões rígidos de formação de tráfego, isto é, a forma como os tráfegos tributários de 2Mbps, 34Mbps, 139Mbps são associados apresenta um número rígido de possibilidades ilustrado pela Figura 8 para uma conexão STM-1.

Pode ser observado que um canal de vídeo/VHS comprimido para uma taxa de 3Mbps requisitaria para seu transporte em uma conexão SDH eventualmente 2 E1's / 4Mbps, pois esta taxa (3Mbps) não constitui um múltiplo exato das hierarquias SDH. Evidencia-se então uma baixa eficiência⁸ de utilização de banda passante disponível. Caso utilizasse a tecnologia Gigabit Ethernet, incrementos inferiores a 1Mbps poderiam ser adicionados até a taxa de 1Gbps independente de qualquer padrão de hierarquização. A granularidade da conexão seria independente da taxa de 64kbps e seus múltiplos. Pode-se então destacar que a

⁸PARIKH, Anand. **Optimizing multiservice SONET networks for optical Ethernet services**. In: Deploying an optical Ethernet network in the access and enterprise space, Conference, Institute for International Research, Miami, FL, February 2001.

utilização do padrão ethernet apresenta uma performance de utilização da banda passante disponível sensivelmente superior aos padrões TDM/SDH/SONET. Alguns equipamentos SONET/SDH de ultima geração permitem que sistemáticas de concatenação⁹ aumentem a eficiência de utilização da capacidade disponível mesmo em níveis hierárquicos superiores, mas seus custos e seu gerenciamento são extremamente elevados e complexos.

2.3.2

Tecnologia **SWITCHED ETHERNET** e Tecnologia IP

As funcionalidades Ethernet são implementadas por comutadores (*switches*) através das características disponibilizadas por circuitos integrados de grande escala VLSI (Very Large Scale Integration), ASICs (Application-Specific Integrated Circuit), FPGAs (Field-Programmable Gate Array) e/ou processadores de rede (Net Processors). A transferência de um quadro Ethernet de uma porta para outra é implementada a partir da leitura do endereço destino e consulta de uma tabela implantada à medida que a rede esta sendo utilizada. Em uma rede IP baseada em roteadores, os pacotes são transferidos a partir do endereço IP de destino e da implementação de ferramentas computacionais dedicadas à obtenção do menor caminho disponível, onde a topologia e os recursos da rede são avaliados. Neste caso, estas funcionalidades são ativadas em nível da camada três.

Usualmente, implementações em nível de camada três apresentam maior complexidade, principalmente quando vários protocolos deverão ser ativados em uma conexão. Considere por exemplo, redes de dados que utilizam conexões TDM do tipo IP/ATM/SDH/WDM. Em várias oportunidades, pacotes IP com 1500 bytes tem que ser subdivididos em células ATM (Asynchronous Transfer Mode) de 53 bytes¹⁰ e conectados a um padrão SDH/SONET.

Mesmo sendo considerada como uma tecnologia de camada 2, as soluções ATM utilizando circuitos virtuais (VC's e VP's) requerem nestas implementações numerosas equipes dedicadas ao seu gerenciamento tornando-se complexa e

⁹WANG, Jiyang. "Migration from SONET/SDH to Optical Ethernet in Metropolitan Area", Atrica Communication 2003 White paper, page (14).

¹⁰IBE, Oliver. **Essentials of ATM Network Services**, Addison-Wesley, 2001, ISBN 0201184613.

custosa. As conexões TDM limitam a rede em termos de eficiência e *oversubscription*. Verifica-se então que as soluções Ethernet podem ser, no nível de protocolos, extremamente simples, e possuem uma sistemática de gerenciamento mais barato e eficiente.¹¹

2.3.3

Oversubscription de assinantes¹²

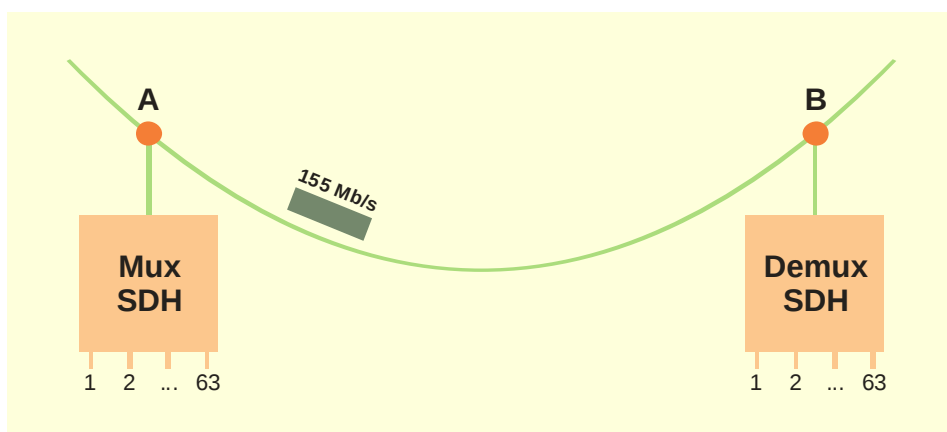


Figura 11: Conexão SDH

Nesta etapa, serão comparadas uma conexão SDH/STM-1/155 Mbps e uma conexão Ethernet que estivesse operando na mesma taxa. O exemplo em questão, ilustrado pelas Figuras 11 e 12, constitui em um dos pontos principais a serem entendidos ao longo da presente dissertação. As dificuldades indicadas nas aplicações TDM/SDH/SONET são contornadas em novos equipamentos e versões recentes destas tecnologias, mas nunca totalmente superadas por terem sido desenvolvidas dedicadas ao tráfego de voz e utilizarem comutação de circuitos. A conexão entre os pontos A e B poderia estar transportando voz ou dados com ou sem compressão.¹³

¹¹LAHAT, Amir. **Reducing complexity and cost in access networks using advanced optical solutions**. In: Deploying an optical Ethernet in the access and enterprise space, Conference, Institute for International Research, Miami, FL, February 2001.

¹²RAVINDIR, Sajnan. White paper: "Eliminating Unused Ethernet Bandwidth with Oversubscription", Ample Communications. Publicação eletrônica, julho 2003. <rsajwan@amplecomm.com>

¹³TOMSU, Peter. **Next Generation Optical Networks: The Convergence of IP intelligence and Optical Technology**, Prentice Hall, 2002, ISBN 0-13-028226-X.

Na Figura 11 está ilustrada uma conexão SDH / 155Mbps entre dois pontos A e B de uma região metropolitana. Considere-se que 63 canais E_1 estão sendo oferecidos. Dado as características que envolvem a divisão no tempo e a granularidade mínima E_1 / 2Mbps, este serviço seria acessível a somente 63 assinantes. Pode-se então visualizar a conexão através do quadro STM-1 indicado na Figura 12.

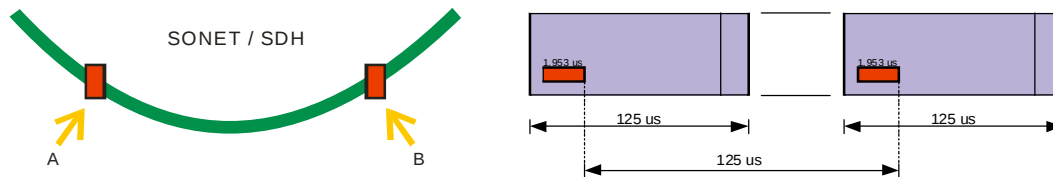


Figura 12: Conexão SDH/SONET.

Pode ser então observado que cada assinante, ocupará o quadro STM-1 por um intervalo de tempo de 1,984 μ s a cada 125 μ s estando ou não utilizando a conexão. Desta forma, nenhum nível de *oversubscription* seria permitido.

Na configuração apresentada na Figura 13 as unidades de multiplexação foram substituídas por *switches* Ethernet. Pode-se então através da formação de filas e funcionalidades de contingenciamento de banda indicadas anteriormente na Figura 10, associadas a esta tecnologia ao nível das camadas 1 e 2, oferecer-se a conexão entre os pontos A e B a, por exemplo, 256 assinantes para a mesma taxa de 155 Mbps. Fica evidenciado então a utilização de níveis de *oversubscription* que poderão ser calculados de forma correta utilizando-se avaliações estatísticas do tráfego médio neste trecho. Algumas conexões IP aplicam um nível superior a 30 vezes.

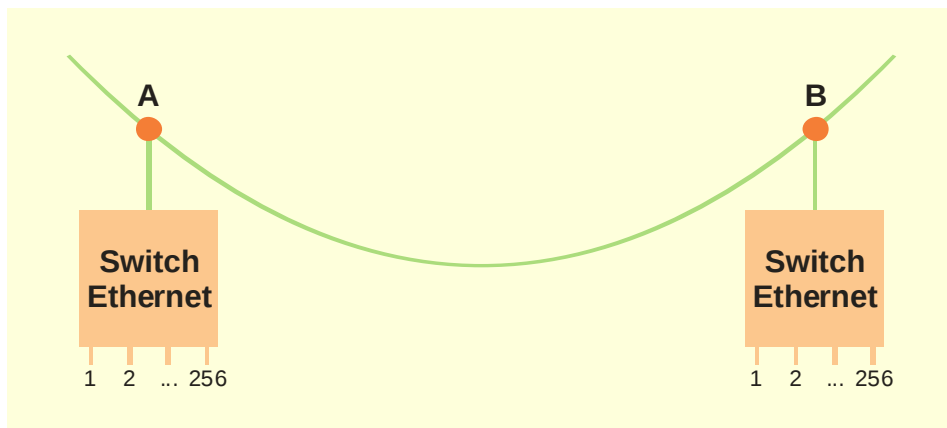


Figura 13: Conexão Ethernet ativada na mesma taxa de uma conexão STM-1 utilizando as funcionalidades de armazenamento, enfileiramento, contingenciamento de banda passante, etc, para implementação de *oversubscription*.

Deve ser ressaltado que a possibilidade de 64 dentre 256 assinantes utilizarem a capacidade total existente é reduzidíssima, com isso o dimensionamento da rede para atender a uma demanda mínima de 2 Mbps/E1 por usuário pode ser implementada.

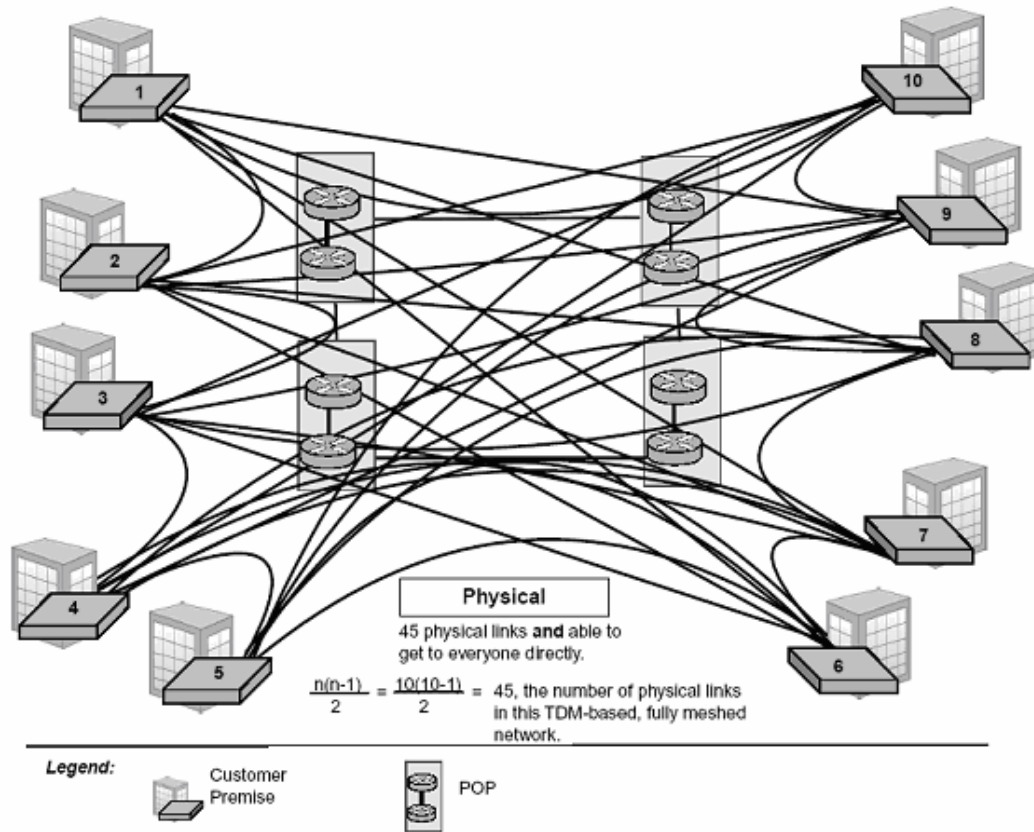
O dimensionamento de uma rede legada/TDM ou Ethernet deve ser implementado através de um estudo do tráfego da área específica considerando os serviços prioritários, horários de pico, etc. Nas redes legadas não existem muitas flexibilidades, como foi visto anteriormente, com isso a relação de *oversubscription* será extremamente reduzida. Ao contrário, a tecnologia Ethernet, além de relocar a banda disponível, administra a taxa com a prioridade estabelecida.

2.4

Flexibilidade, Topologia, Retardo, Jitter e Custo¹⁴

Pode-se verificar que uma rede TDM/SDH/SONET com 10 Servidores 4 POP (Points of Presence) requisitará para obtenção de conectividade total 45 enlaces dedicados como pode ser observado na Figura 14.

¹⁴WANG, Jiyang. Optical Ethernet: Making Ethernet Carrier Class for Professional Services, *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 9, pp. 1452-1462, September 2004.



Source: IDC, 2002

Figura 14¹⁵ Utilização de soluções SDH/SONET com 45 enlaces para obtenção de conectividade total.

Utilizando-se a tecnologia Ethernet, a conectividade total seria obtida com apenas 24 enlaces dedicados. Esta flexibilidade, resultante das funcionalidades Ethernet, tornou ainda mais atrativa sua utilização em redes metropolitanas como se observa na Figura 15.

¹⁵STRAUSS, Paul; SMOLEK, Jason; and PERRIN, Sterling. White paper: "Making the business case for metro service providers to deploy 10 Gigabit Ethernet now", IDC Extreme Networks. Publicação eletrônica, September 2000.



O retardo associado às aplicações da tecnologia Ethernet apresenta duas situações distintas: em topologias tipo malha sem conectividade, o desempenho apresenta performance inadequada para algumas aplicações de voz e vídeo. Em conexões ponto a ponto, multiponto-multiponto com conectividade, o desempenho pode ser adequado e superar as aplicações ATM/SDH/SONET, pois os pacotes IP não precisam ser subdivididos para serem mapeados, como ocorre nas aplicações sobre ATM. Pode-se então destacar que aplicações que demandem latência fixa podem ser realizadas através de uma nova geração de *switches* gigabit Ethernet conectados diretamente a camada CWDM/DWDM^{16,17} com desempenho superior aos verificados nas aplicações TDM. O desempenho das aplicações Gigabit Ethernet apresentam uma especificação de *jitter* de 100 ppm (partes por milhão). Para apresentar a mesma performance, as aplicações

¹Extreme Network. White paper: "Building a new generation metropolitan area network". Publicação eletrônica, 2000, pp. 9.

ATM/SDH/SONET devem apresentar um valor de (4,6-20) ppm, isto é, requerem uma especificação muito mais rígida e difícil de atingir.¹⁸

Para que um determinado tráfego de voz ou dados seja conectado a um canal OC-3/STM-1 (Optical Carrier) operando em uma rede metropolitana deverão ser investidos na aquisição de interfaces um valor total em torno de US\$ 12.000,00. O mesmo tráfego poderia ser conectado na mesma rede através de interfaces Ethernet (2 canais de 100Mbps) a um custo de US\$850,00^{19,20}

2.5

Comentários e conclusões^{21,22}

Ao longo do presente capítulo foram introduzidas as soluções TDM e Ethernet destacando-se uma avaliação comparativa entre estas tecnologias. A comparação apresentada não objetivou analisar a performance técnica das mesmas. Aspectos técnicos foram pré-selecionados em função do desempenho econômico resultante da utilização de padrões de QoS flexibilizados²³ utilizados nas redes Ethernet metropolitanas e de longa distância, que serão comentados nos próximos capítulos. Podem ser destacados então aspectos referentes à flexibilidade, topologia, escalabilidade, gerenciamento, “oversubscription”, provisionamento, retardo, *jitter* etc., segundo ilustra a Tabela 1²⁴ abaixo.

¹⁸JAIN, Raj and Naveen, B. White paper: “Current Issues and Trends in Optical Networking”, Nayna Networks, Inc., 2002, pp. 4.

¹⁹YVES, Hupe. **Scaling Metropolitan Networks**, In: Deploying an optical Ethernet in the access and enterprise space, Conference, Institute for International Research, Miami, FL, February 2001.

²⁰SISTANIZADEH, Kamran. White paper: “Spanning the Enterprise with Gigabit Ethernet”, Yipes Communications. Publicação eletrônica, 2001.

²¹The Metro Ethernet Forum. White paper: “Comparison to Legacy SONET/SDH MANs for Metro Data Service Providers”. Publicação eletrônica, 2003.

²²SISTANIZADEH, Kamran. White paper: “Spanning the Enterprise with Gigabit Ethernet”, Yipes communications. Publicação eletrônica, 2001.

²³Atrica Communications. White paper: “Delivering Hard QoS in Carrier Ethernet Networks”. Publicação eletrônica, 2005.

²⁴LAHAT, Amir. **Reducing complexity and cost in access networks using advanced optical solutions**, table “Service Comparison: SONET×Optical Ethernet”. In: Deploying an optical Ethernet in the access and enterprise space, Conference, Institute for International Research, Miami, FL, February 2001.

Serviço	ATM / SDH / SONET	1 / GbE
Provisionamento	Dias / Semanas	Segundos / Horas
Tarifação	Taxa Fixa	Baseado na utilização ou Fixa
Custo/Mb/s	Acima de US\$ 100,00	Inferior a US\$ 10,00
Gerenciamento	Complexo	Simples
Gerenciamento Via Usuário	Inexistente	Simples e Recomendável
Eficiência de Utilização de Banda	Reduzida e Complexa Quando Utilizada Concatenação	Elevada e Simples
Escalamento	Complexo, Alto Custo e Demorado	Simples, Custo Reduzido e Rápido
Oversubscription	Extremamente Difícil (Inexistente)	Simples e Elevada
QoS: Qualidade de serviço	Elevada: Proteção e restauração em 60ms via camada 1	Baixa: proteção e restauração em minutos via 802.1p e 802.1q, camada 2

Tabela 1: Comparação entre os serviços oferecidos pelas tecnologias ATM/SDH/SONET e ETHERNET nas redes metropolitanas e longa distância.