

3

Redes de Acesso

Ao longo do presente capítulo são introduzidas algumas opções das tecnologias de acesso e justificada a escolha da tecnologia baseada em PON para atender as novas demandas por aumento de banda. É especificamente destacada nesta justificativa a escolha do GPON e de suas evoluções XG-PON e WDM-PON. São apresentados cenários escalonáveis, ou seja, cenários que possam ter suas configurações em termos de disponibilidade e capacidades (entrega de banda) ampliadas e as arquiteturas que permitam a coexistência entre o atendimento da demanda atual e da demanda futura. Estas configurações são avaliadas considerando sua integração com a infraestrutura instalada e sua evolução sem impactar os usuários atualmente atendidos.

Os resultados desta avaliação associados a elementos de rede de distribuição óptica constituem os tópicos básicos de uma análise de investimentos dos principais cenários associados às arquiteturas introduzidas destacando o CAPEX, o escalonamento das bandas nas premissas dos usuários e as possíveis reduções de custos resultantes.

3.1

Tecnologias de Acesso Banda Larga para Suporte aos Novos Serviços

Diversas são as opções de tecnologias utilizadas no acesso com relação ao meio físico (camada 1 do modelo OSI). Quando se oferece um serviço de televisão baseado em IPTV, pacotes IP (camada 3) são transmitidos em camada 2 (Ethernet), sendo possível fazer uso de rede privada, sendo essa cabeada ou sem fio, ou mesmo da rede de internet pública.

Dentro das opções de tecnologias utilizadas em redes cabeadas, estão a Híbrida Coaxial e Fibra (HFC), a Linha Digital do Assinante (DSL), incluindo suas variações ADSL, ADSL2, ADSL2+ e VDSL2, a Rede Óptica Passiva (PON) e a Ethernet (*Active Ethernet*), podendo existir combinação de tecnologias. O

desempenho em termos de banda média de algumas dessas opções já foi mostrado no capítulo 2.

Nas opções de rede sem fio, algumas possibilidades são as tecnologias que fazem uso de satélite, as tecnologias sem fio fixas, como WiMAX (pode ser implementada também como móvel), além de *Digital Multimedia Broadcast* (DMB) e *Direct Video Broadcast – Handset* (DVB-H).

Dentro das tecnologias acima mencionadas, serão exploradas nesse trabalho as opções de tecnologia PON por sua capacidade de poder fornecer largura de banda suficiente para atender os novos serviços com margem para atendimento a futuros serviços com uso intensivo de banda, como mencionado no capítulo 2.

Nas redes ópticas PON, utiliza-se uma arquitetura de distribuição do tipo ponto-multiponto que não faz uso de elementos eletrônicos na planta externa mas, ao contrário, é formada por divisores e acopladores passivos de maneira a distribuir uma banda de transmissão entre vários usuários. Seu alcance depende do tipo de tecnologia utilizada, mas em geral atinge entre 10 e 20 km e pode distribuir tráfego a até 128 usuários com mesma infraestrutura, também dependendo da tecnologia utilizada. Evoluções já estão sendo estudadas e padronizadas para suportar maior distância e quantidade de usuários. Além da infraestrutura passiva externa, redes PON também são formadas por terminais de linha ópticos (OLT – *Optical Line Terminator*), localizados na central do provedor de serviços, e por terminais de rede ópticos ONT (*Optical Network Terminal*) ou ONU (*Optical Network Unit*), localizados no ambiente do cliente no primeiro caso, ou próximo dele no segundo caso (fonte: *An Introduction to PON Technologies*).

A Figura 6 ilustra arquitetura genérica de uma rede PON.

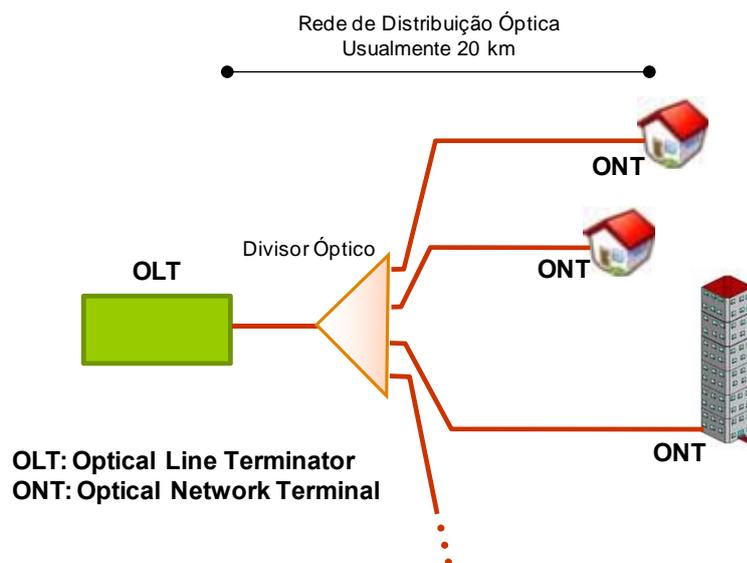


Figura 6 - Arquitetura de uma rede PON genérica.

Outras arquiteturas de redes de acesso óptico, como Ethernet ponto-a-ponto e Ethernet ativo estão disponíveis, mas não serão abordadas nesse estudo. Tais tecnologias consideram uso de elementos ativos (*switches*/roteadores) mais próximos do usuário final, de maneira a prover maior largura de banda.

Dentro das opções atualmente consideradas de tecnologia PON, destacam-se o GPON e o EPON (Ethernet PON). A tecnologia GPON foi padronizada em 2003 pelo ITU-T por meio da recomendação ITU-T G.984. Já a tecnologia EPON foi padronizada em 2004 pelo IEEE através da IEEE 802.3ah. Seguem abaixo descritivos e comparativos associados às características principais das duas tecnologias (fontes: 1) *Next Generation Ethernet Access Networks: GPON vs. EPON*; 2) *GPON vs. EPON Costs Comparison*; 3) *Comparing Gigabit PON Technologies ITU-T G.984 GPON vs. IEEE 802.3ah EPON*).

- Escalabilidade e Flexibilidade

O EPON está implementado com taxa fixa no sentido ascendente (da ONT sentido OLT) e no sentido descendente (da OLT sentido ONT) de 1250 Mbps, enquanto o GPON tem a flexibilidade de permitir utilizar taxas de 1250 ou 2500 Mbps no sentido descendente e 155, 622, 1250 ou 2500 Mbps no sentido ascendente. Uma vez que o perfil de tráfego nas redes de acesso é assimétrico, pelo menos para o perfil de consumo atual, exigindo uma largura de banda bem

menor no sentido ascendente, tem-se então no GPON a flexibilidade de poder trabalhar com largura de banda reduzida no *upstream*, podendo-se dessa maneira fazer uso de transmissores nas ONTs para o tráfego ascendente e receptores na OLT para recepção do sinal ascendente com custo reduzido. Além disso, o GPON pode ter o dobro da banda bruta no sentido descendente em relação ao EPON, quando configurado com 2500 Mbps. No item abaixo, verifica-se que a banda útil pode ser maior que o dobro, devido à diferença entre a eficiência dos protocolos.

- Utilização da Largura de Banda

Um importante parâmetro de avaliação de protocolos é a sua eficiência. Da taxa total transmitida, apenas uma parcela é utilizada efetivamente para a transmissão da informação do cliente, ficando o restante para os cabeçalhos utilizados para controle. A eficiência do protocolo é então a relação entre a taxa utilizada para a transmissão da informação do cliente e a taxa total transmitida. Enquanto o GPON tem eficiência de aproximadamente 92%, o EPON tem eficiência de aproximadamente 72% como resultado da codificação 8B/10B, podendo chegar a, por exemplo, 51% para transporte de um perfil de tráfego com 90% de dados e 10% de TDM. Nesse caso, somente aproximadamente metade da banda transmitida pode ser utilizada para tráfego útil (*payload*) e trazer retorno sobre o investimento feito pelo provedor de serviço.

- Facilidade para Suportar Serviços de Voz e TDM

O EPON não está adaptado para suportar TDM em sua forma nativa, devendo para isso utilizar emulação de circuito, o que requer maior custo de hardware e software, além de ser uma solução que ainda não demonstrou confiabilidade e qualidade esperadas pelos padrões dos operadores de telecomunicações. O GPON, por outro lado, suporta TDM de forma nativa, tanto de baixa taxa (E1/T1) quanto de taxa mais elevada (STM-1/OC3), sem custo adicional, permitindo aos operadores de telecomunicações manterem o enorme legado TDM existente em suas redes.

- Tipos de Redes de Distribuição Óptica (ODN - *Optical Distribution Networks*) Suportadas

No que tange aos tipos de ODN suportadas por cada uma das tecnologias, o EPON suporta apenas ODN classes A e B, enquanto o GPON suporta ODN classes A, B e C. Como definido na “*ETS 300 681, Optical Distribution Network (ODN) for Optical Access Network (OAN), June 1997*”, as classes de perda A, B e C possuem respectivamente perda mínima em dB de 5, 10 e 15 e máxima de 20, 25 e 30. Como verificado na Tabela 3, que mostra a quantidade de usuários que é possível atender para 3 distâncias distintas com cada classe de perda, verifica-se que com a classe C é possível atender mais que o dobro dos usuários atendidos pela classe B, reduzindo uso de fibras e de portas da OLT, consequentemente reduzindo custos da infraestrutura da rede.

Tabela 3 - Quantidade de usuários suportados por cada classe de ODN para três distâncias.

		Distância		
		7 km	10 km	20 km
Quantidade de usuários	ODN Classe A	16	13	6
	ODN Classe B	40	32	15
	ODN Classe C	101	81	39

A descrição dos elementos da ODN será feita na seção 3.5.

- Suporte a CATV *overlay*

Tanto o GPON quanto o EPON suportam transporte de sinal *overlay* de televisão a cabo (CATV) para serviço de vídeo *broadcast* de alta velocidade em sentido descendente. Nessa arquitetura com *overlay*, há uma sobreposição da rede de transmissão de vídeo com independência da rede PON, utilizando comprimento de onda reservado em 1550 nm, separado do comprimento de onda ascendente e descendente do sinal principal EPON ou GPON.

Na Figura 10 da seção 3.3 será detalhado o plano de comprimento de onda para alocação de dos sinais na arquitetura GPON.

- Proteção de Rede

Ambos os protocolos suportam diferentes níveis de proteção de maneira a garantir suporte à operação, administração e manutenção (OAM) adequadas aos padrões dos operadores e provedores de serviços.

- Custo

Pode-se pensar que, uma vez que o EPON preserva as características do protocolo Ethernet, tecnologia já empregada de forma massiva nas redes de telecomunicações de todo o mundo, é possível aproveitar seu elevado ganho de escala, possibilitando uso de circuitos integrados e lógicas programáveis com custos sensivelmente menores. Por outro lado, pode-se também chegar à conclusão que o GPON, pelo fato de preservar a compatibilidade com serviços TDM, incorpora uma série de restrições do ponto de vista de temporização e sincronização que impactam em seu custo, podendo levá-lo a um patamar de custo superior ao do EPON. Entretanto, o que se observa na prática é que o custo do *chip set* principal que implementa as funcionalidades do GPON já tem o mesmo patamar de preço do *chip set* do EPON, pelo menos quando não se considera o atendimento a serviços TDM, impulsionado pela adoção do GPON de forma massiva na Europa e Estados Unidos.

Tendo em consideração as vantagens anteriormente descritas do GPON frente ao EPON, a proximidade dos custos, além da preferência dos operadores brasileiros e latino-americanos na adoção da primeira tecnologia, a análise de arquitetura de rede para suporte a banda larga que se segue estará concentrada nas redes GPON e em suas possíveis evoluções.

3.2

Arquitetura GPON

Na arquitetura GPON, como já descrito na arquitetura genérica de redes PON da seção 3.1, há um equipamento ativo na central do provedor, chamado OLT, e nos usuários um outro equipamento ativo chamado ONT. A taxa máxima

downstream (sentido OLT-ONT) é de 2500 Mbps e a taxa máxima de *upstream* sentido ONT-OLT é de 1250 Mbps, como também mencionado. O número máximo de usuários permitidos por porta GPON da OLT é de 128 usuários. A Figura 7 abaixo mostra o comprimento de onda utilizado em cada sentido de transmissão.

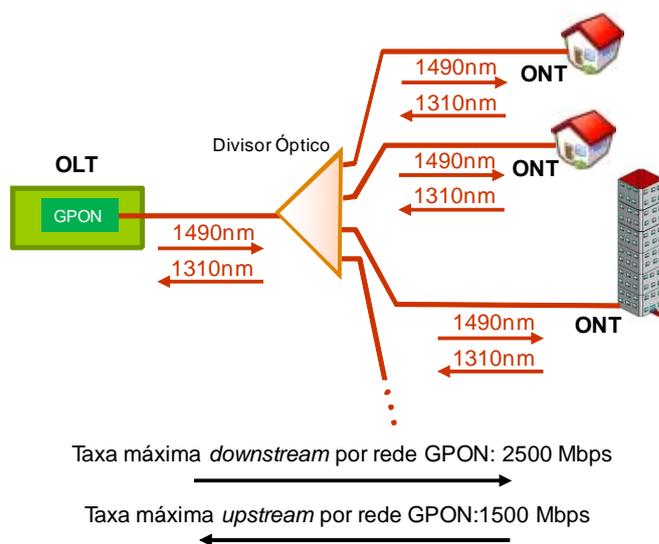


Figura 7 - Arquitetura de uma rede GPON.

No sentido descendente a transmissão é feita em *broadcast*, com o conteúdo destinado a cada usuário liberado localmente pela ONT. Em sentido ascendente a transmissão é feita em TDM (*Time Division Multiplexing*), de modo a evitar colisões.

Considerando cenários com 32, 64 e 128 usuários por porta GPON da OLT (usuários por rede GPON), tem-se a seguinte capacidade de fornecimento de banda aproximada por usuário, considerando eficiência de protocolo de 92% (fonte: *GPON vs. EPON Costs Comparison*) e 2500 Mbps a banda máxima oferecida no *downstream*:

- 32 usuários: 72 Mbps
- 64 usuários: 36 Mbps
- 128 usuários: 18 Mbps

Da expectativa de consumo de banda vista no capítulo 2, é possível observar que a arquitetura com 128 usuários por porta GPON definitivamente não satisfaz à expectativa de entrega mínima de 35 Mbps, estando a configuração com 64 usuários no limite, mas suficiente para dimensionamento de uma rede pelo menos para as necessidades de curto prazo. A configuração com 32 usuários seria então mais adequada quando se pensa na fase 2 da Tabela 2, embora igualmente insuficiente para a fase 3.

A arquitetura também está preparada para suportar sinal de vídeo CATV *overlay*, utilizando comprimento de onda adicional em 1550 nm, além de amplificador óptico e multiplexador WDM, como mostrado na Figura 8.

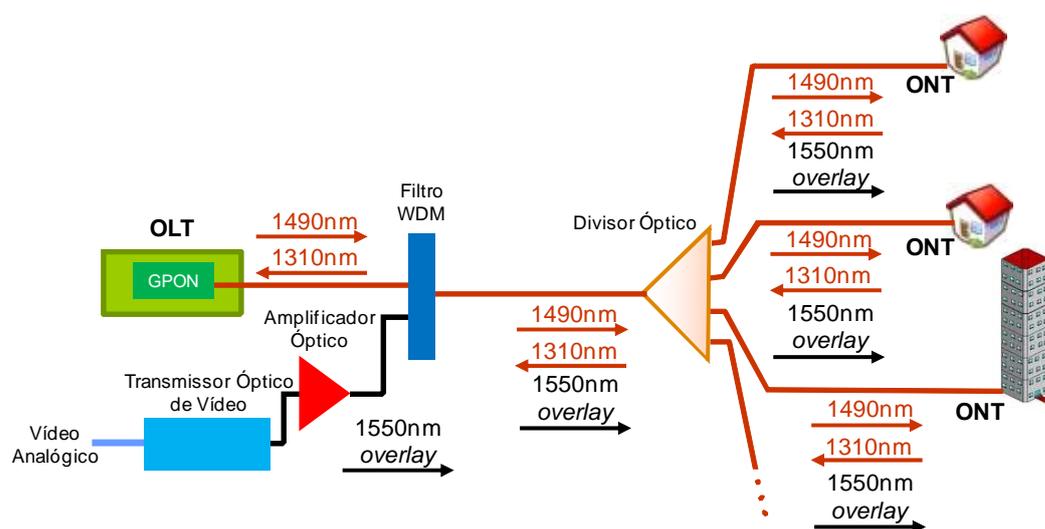


Figura 8 - Arquitetura de uma rede GPON com suporte a vídeo.

3.3

Evolução GPON

Há dois estágios de desenvolvimento associados à evolução do GPON. O primeiro, chamado de NG-PON1, é compatível com as implantações atuais do GPON e seguirão as opções de uso de comprimentos de onda ou banda de ampliação definidas pelo ITU-T G.984.5. Para esse primeiro cenário tem-se duas opções:

- Uso de 10 Gbps

Nesse caso abrem-se duas alternativas com relação à taxa de transmissão no *upstream*, uma com 2,5 Gbps, chamada de XG-PON1 (o X referindo-se a 10 em algarismos Romanos), e outra com 10 Gbps, chamada de XG-PON2. Nas duas alternativas define-se 10 Gbps no *downstream*, o que faz com que a primeira opção seja assimétrica e o XG-PON2 simétrico.

- Uso de WDM

Para essa topologia utiliza-se a mesma infraestrutura de fibra ODN utilizada para a rede GPON trabalhando com o plano de comprimentos de onda definido também de acordo a recomendação ITU-T G.984.5. Nesse caso, a arquitetura corresponde a um ponto-a-ponto com um par de comprimentos de onda dedicado a cada terminal de assinante.

O NG-PON1 também inclui opção de solução para chegar a maiores distâncias.

No segundo estágio, chamado de NG-PON2, não haverá necessariamente compatibilidade com a infraestrutura de rede de fibra atualmente instalada para atender o GPON atual e sua evolução NG-PON1, pois serão buscadas soluções com maior capacidade por comprimento de onda e maior número de comprimentos de ondas. A expectativa é que suas normas estejam prontas em 2015.

A Figura 9 abaixo representa os cenários evolutivos acima mencionados, conforme as recomendações ITU-T G.984.1, G.984.5, G.987 e G.987.1.

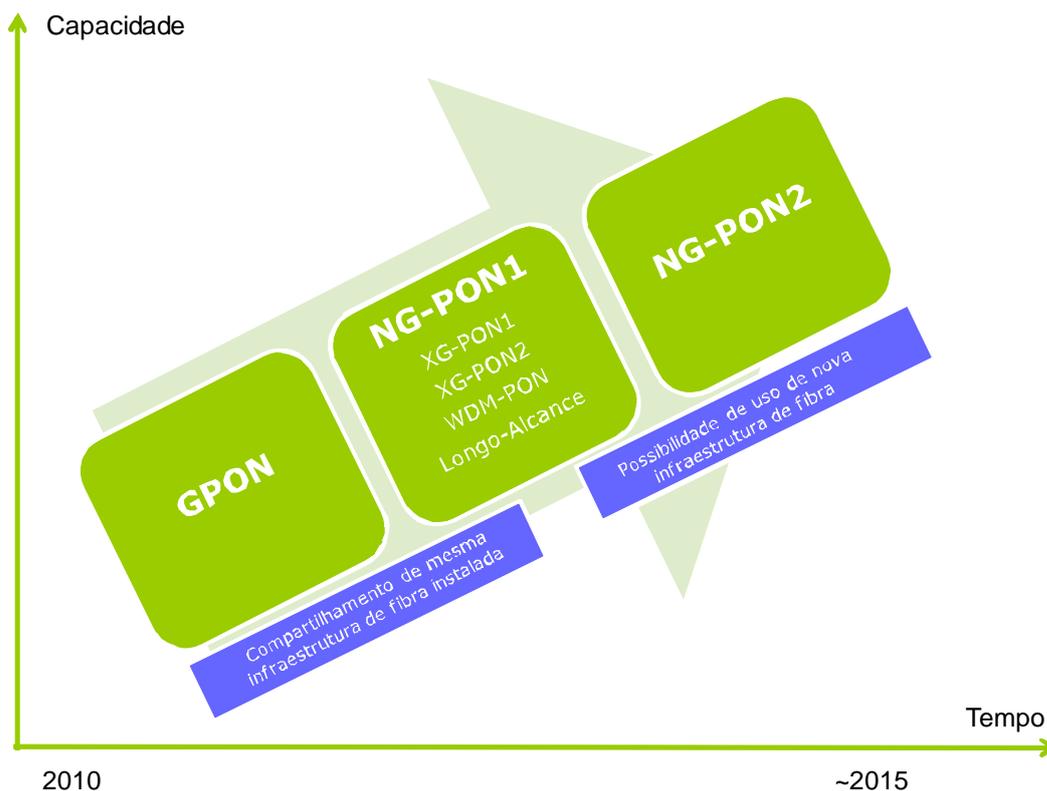


Figura 9 - Evolução da rede GPON em função do tempo.

Pelo menos na primeira etapa de evolução do GPON, o NG-PON1, há grande preocupação em manter-se compatibilidade com o sistema GPON atualmente instalado, ou seja, uso de fibra SMF G.652, suporte a até 30 dB de atenuação total de potência (ODN com classe de perda C), suporte a 20 km de distância de fibra (fator importante para cálculo de dispersão cromática quando se utiliza 10 Gbps), suporte a razão de acoplamento nos divisores ópticos superior a 1:32, compatibilidade com overlay de vídeo RF e não interferência com os comprimentos de onda da solução GPON convencional.

O uso de comprimentos de onda para as tecnologias atuais e a banda alocada para os cenários futuros estão definidos pelas recomendações ITU-T G.984.5 e G.987.1, abaixo resumido na Figura 10.

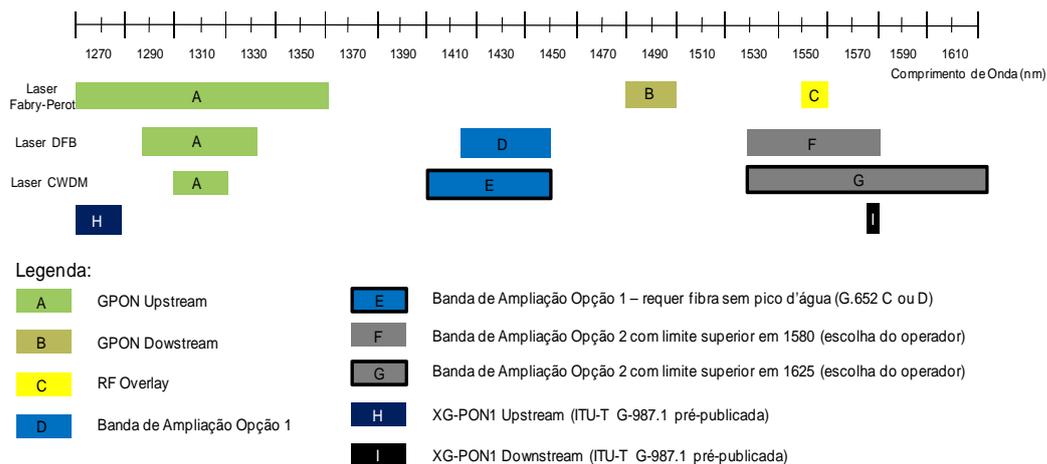


Figura 10 - Plano de comprimento de onda de acordo com as recomendações ITU-T G.985.5 e G.987.1.

Serão descritas a seguir as opções associadas ao NG-PON1.

3.3.1

XG-PON

O XG-PON está padronizado pelo ITU-T com colaboração da FSAN (*Full Service Access Network*) na recomendação G.987. O FSAN, embora não seja uma entidade padronizadora, atua de forma a estimular a aplicação dos padrões relacionados ao PON na indústria, contando com fabricantes e desenvolvedores de equipamentos e componentes utilizados em redes de telecomunicações além de empresas operadoras como membros. Estão previstos o XG-PON1 utilizando 2,5 Gbps no *upstream* e o XG-PON2 utilizando 10 Gbps, ambos trabalhando com taxa de transmissão no *downstream* de 10 Gbps, com uso de comprimentos de onda de acordo com o plano mostrado na Figura 10. A seção 3.4.2 mostrará detalhes da topologia.

Uma vez que a necessidade de consumo de banda no *upstream* ainda é pequena para os padrões atuais de consumo, é suficiente utilizar 2,5 Gbps no *upstream*. Considerando-se também a utilização de alocação dinâmica de banda (DBA – *Dynamic Bandwidth Assignment*) para permitir *oversubscription*, reforça-se a ideia de que no *upstream* não há atualmente necessidade de elevado consumo de banda. Utilizando então taxa de transmissão reduzida no sentido ascendente, é

possível reduzir custo da ONT, mantendo a tecnologia preparada para operação de forma simétrica quando necessário.

3.3.2

WDM-PON

O WDM-PON (*Wavelength Division Multiplexer – Passive Optical Networks*) está sendo considerado pelo mercado como uma opção de aumento de capacidade nas redes PON, embora ainda não padronizado (fontes: 1) *PON in Adolescence: From TDMA to WDM-PON*; 2) *Design of AWG-based WDM-PON Architecture with Multicast Capability*; 3) *Technology Options for Future WDM-PON Access Systems*). Com essa arquitetura, utiliza-se um conjunto de comprimentos de onda de maneira a sobrepor novos terminais de usuário a partir de uma infraestrutura de rede de distribuição PON existente. Uma vez que cada ONU/ONT receberá um comprimento de onda dedicado, será possível ter mais capacidade, maior segurança e maior possibilidade de crescimento. Nessa topologia de rede, será possível ter transparência a protocolos e largura de banda dedicada e independente para cada comprimento de onda, podendo inclusive não utilizar o padrão GPON, já que a topologia não mais será ponto-multiponto, mas sim ponto-a-ponto. Dentro das possibilidades, uma opção seria transportar o sinal GPON dentro de um comprimento de onda do WDM. Outro benefício do WDM-PON será o longo alcance atingido, ao utilizar filtros AWG (*Arrayed Waveguide Grating*) de baixa perda, podendo superar os 20 km do GPON. Mantendo-se a compatibilidade com o GPON, será possível atender os mesmos 32 ou 64 assinantes.

Na seção 3.4.3 serão fornecidos mais detalhes sobre a topologia da rede, mostrando configuração WDM-PON convivendo com rede GPON.

3.3.3

Aumento do Alcance do GPON

Para aumentar o alcance do GPON e atender clientes distantes, aumentando o uso das portas da OLT em situação com distribuição esparsa de usuários é possível fazer uso de amplificadores ópticos, conforme a recomendação

ITU-T G.984.6, seja na estação junto à OLT ou mesmo em algum ponto intermediário, chegando a distâncias de até 60 km, limite de alcance teórico lógico do GPON. A Figura 11 mostra um exemplo de topologia.

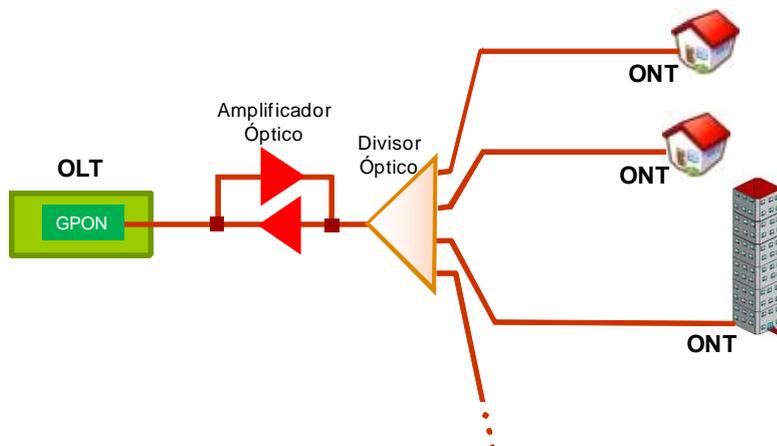


Figura 11 - Topologia exemplificando arquitetura para aumento do alcance da solução GPON.

Com relação ao uso de amplificadores ópticos, existem algumas opções, cada uma com vantagens e desvantagens, como resumido na Tabela 4 e apontado em “*Options for Future Optical Access Networks*”.

Tabela 4 - Comparação entre tecnologias de amplificação para extensão de redes GPON.

	Vantagem	Desvantagem
EDFA (<i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i>)	Tecnologia mais utilizada em redes metropolitanas e de longa distância, implicando em redução de custo.	Atua apenas na banda C (1530-1565 nm) ou L (1565-1625 nm) e não funciona bem em modo <i>burst</i> .
Amplificadores com Fibra Dopada com <i>Thulium (downstream)</i> e <i>Praseodymium (upstream)</i>	Dopagem com <i>Praseodymium</i> associado a técnicas especiais garante boa operação em modo <i>burst</i> .	Não é utilizado em grandes volumes, implicando em alto custo.
SOAs (<i>Semiconductor Optical Amplifiers</i>)	Trabalha em qualquer λ e operação em modo <i>burst</i> .	Desempenho de ganho e ruído inferiores ao EDFA e não é utilizado em grandes volumes, implicando em alto custo.

Outra possibilidade é o uso de um método chamado de terminação de protocolo remoto (RPT – *Remote Protocol Termination*). Com essa arquitetura, estende-se a OLT para um ponto remoto usando um enlace óptico 10 Gigabit Ethernet, podendo assim atingir distância total de mais de 100 km.

Outras opções seriam o uso de regenerador eletrônico, atingindo-se 135 km, e código corretor de erro tipo FEC (*Forward Error Correction*), importante técnica para controlar erros na transmissão de dados, combinado com amplificação óptica, ainda segundo “*Options for Future Optical Access Networks*”.

3.4

Cenários Escalonáveis

Com a latente necessidade de aumento da banda oferecida ao usuário para suportar os novos serviços, torna-se estratégico construir redes que atendam determinada demanda, mas que estejam prontas para escalar, ou seja, é fundamental planejar redes que possam oferecer maior banda no futuro, preservando ao máximo o que foi investido para atender a demanda atual.

Para a análise das opções de cenários escalonáveis, será tomada como ponto inicial uma arquitetura do tipo FTTH (*Fiber-to-the-Home*) com GPON, na qual se tem acesso com fibra até a casa do assinante. Existem outras opções de arquitetura diferindo umas em relação às outras pela distância a que a fibra óptica chega do ponto de acesso do usuário final. Essas arquiteturas são genericamente denominadas FTTX, em que o “X” pode corresponder a: “Cab” (abreviação do inglês *Cabinet*), quando a fibra chega até um armário de rua, servindo a várias centenas de usuários com o acesso final sendo feito por cabo coaxial ou par trançado e com raio de atuação inferior a 1 km; “C” (abreviação do inglês *Curb*), similar ao FTTCab, mas com o armário de rua mais próximo do usuário, em geral com distância inferior a 100 m; “B” (abreviação do inglês *Building* ou *Basement*), quando a fibra chega até a base de um prédio que serve a vários usuários, com acesso final sendo feito por par trançado, cabo coaxial, alguma tecnologia sem fio ou outra; e “H”, como mostrado anteriormente. A Figura 12 ilustra essas opções. Outras variações estão disponíveis, embora não mostradas na figura.

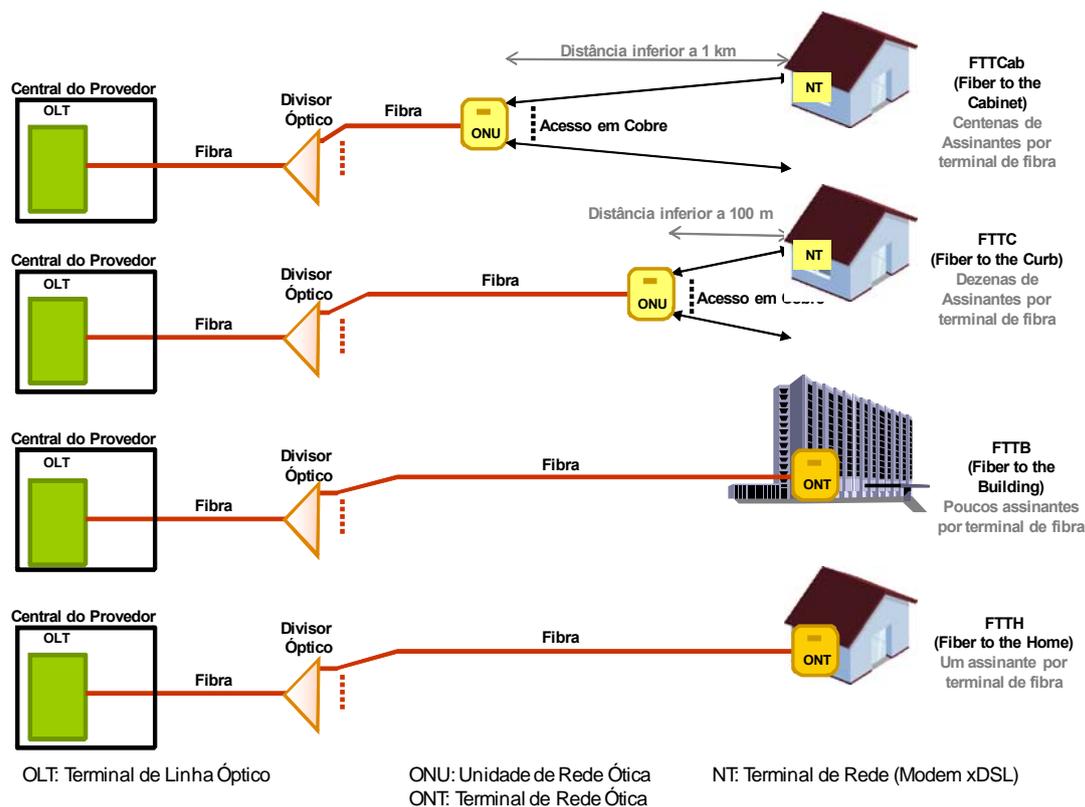


Figura 12 - Exemplo de arquiteturas FTTX.

Quando a ONU está localizada no destino final agregando a funcionalidade de terminal de rede ela é chamada de ONT.

O cenário básico de análise será então composto por uma rede GPON constituída por 32 usuários por porta de conexão da OLT, de maneira a proverem-se aproximadamente 72 Mbps no *downstream*, de acordo com a topologia e serviços a serem oferecidos aos clientes. No cenário básico será considerada a possibilidade de acesso a diferentes serviços pelos usuários finais, como telefonia tradicional POTS e VOIP, serviço de acesso rápido a internet e serviço de TV em tempo real baseado em IPTV, como mostrado na Figura 13, de maneira a se explorar ao máximo a capacidade oferecida pelo GPON. Os comprimentos de onda utilizados seguirão a recomendação ITU-T. O presente estudo de cenários não tratará o uso de vídeo RF *overlay* em comprimento de onda de 1550 nm. Na Figura 13 está representado pelos quadrados amarelo, vermelho e azul o tráfego em sentido descendente, ilustrando transmissão em *broadcast*, mas com seleção de conteúdo destinado a cada usuário feita pelo protocolo GPON na ONT.

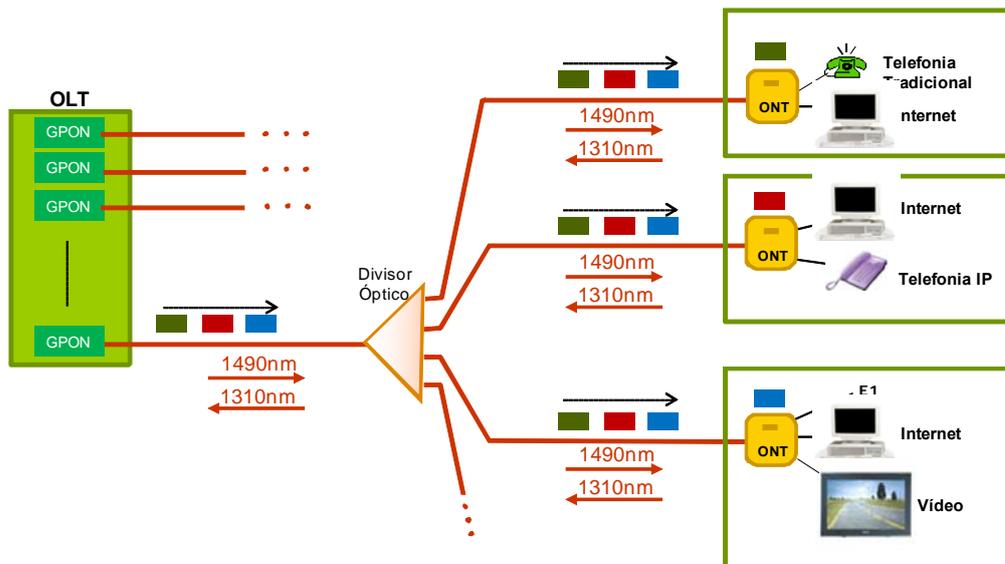


Figura 13 - Topologia do cenário básico GPON.

Seguem nos itens seguintes descrições de algumas opções de aumento de banda e cenários de coexistência entre nova rede e rede existente com evolução a partir da topologia mostrada acima.

Também serão mostrados cenários para aumento de redundância, com objetivo de prover maior disponibilidade ao sistema.

3.4.1

Aumento de Proteção

Com o objetivo de aumentar a disponibilidade do sistema, algumas alternativas de proteção podem ser implementadas, como mostrado na própria recomendação ITU-T G.984.1. As soluções de proteção podem ser soluções bastante simples, nas quais se protege apenas o cabo de fibra entre a OLT e o primeiro divisor óptico, até soluções com níveis de proteção mais rigorosos, onde se protege desde a interface óptica da OLT até a fibra de acesso ao assinante, com aumento de investimento quanto maior o nível de proteção oferecido, como mostrado nas Figuras 14, 15 e 16 abaixo:

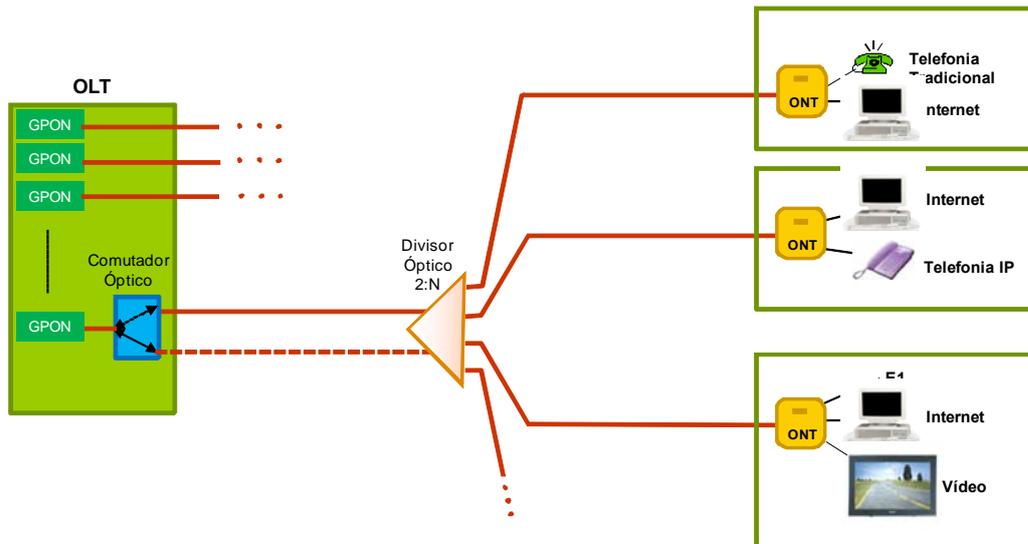


Figura 14 - Proteção do cabo localizado entre a OLT e o primeiro divisor óptico, utilizando-se um comutador óptico.

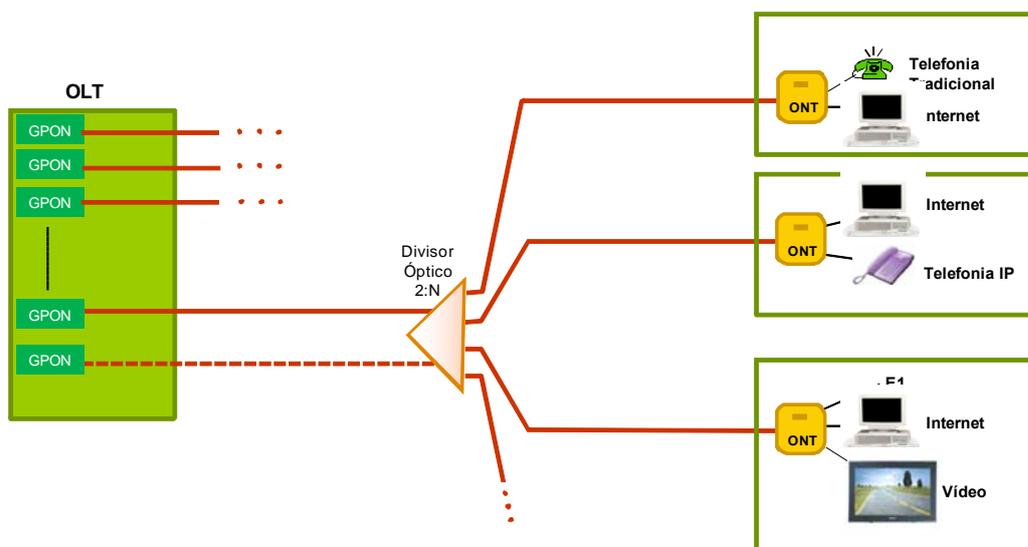


Figura 15 - Proteção da interface da OLT e do cabo localizado entre a OLT e o primeiro divisor óptico.

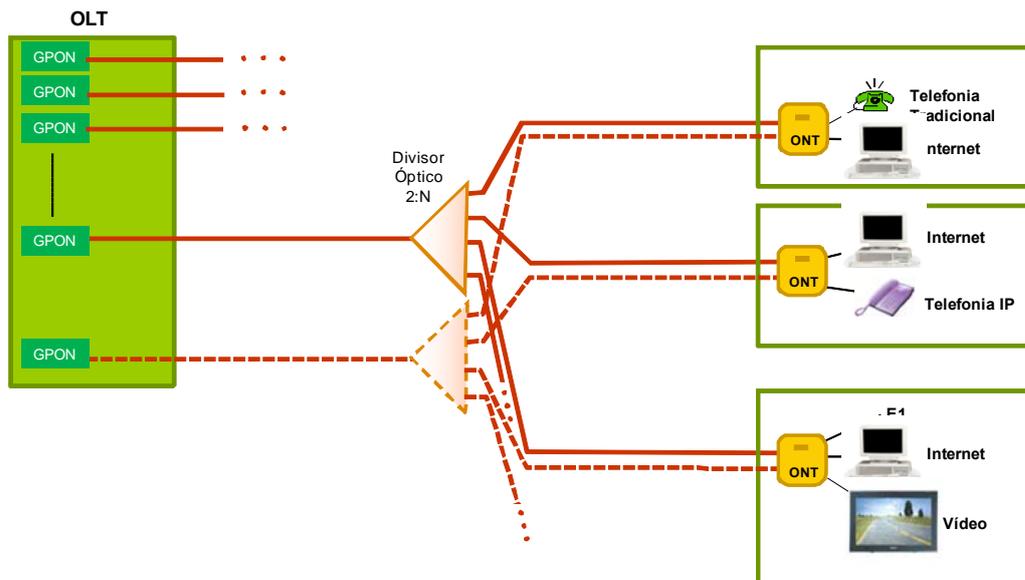


Figura 16 - Proteção da interface da OLT, do cabo localizado entre a OLT e o primeiro divisor óptico e dos cabos de acesso a ONT.

As alternativas mostradas nas figuras 15 e 16 anteriores consideram redundância de interface óptica da OLT. Essa redundância pode ser feita em mesma placa, em placas distintas de mesmo chassi, em placas distintas de chassis distintos e até em placas localizadas em estações de acesso distintas do provedor.

Para qualquer arquitetura de proteção utilizada, é importante considerar sua implementação desde a instalação inicial da rede, com a finalidade de se evitar interrupções de tráfego na rede para instalação do sistema de proteção.

3.4.2

Aumento de Banda – Cenário 1: XG-PON Assimétrico ou Simétrico

Uma opção bastante direta de evolução do GPON para aumento significativo da banda oferecida aos assinantes é a simples troca dos equipamentos terminais por equipamentos que suportem XG-PON, conforme cenários de evolução mostrados na Figura 9. Nessa situação seria mantida a rede de distribuição óptica, mas seria necessário substituir as ONTs e OLTs. A Figura 17 ilustra rede com a nova arquitetura resultado da evolução acima descrita.

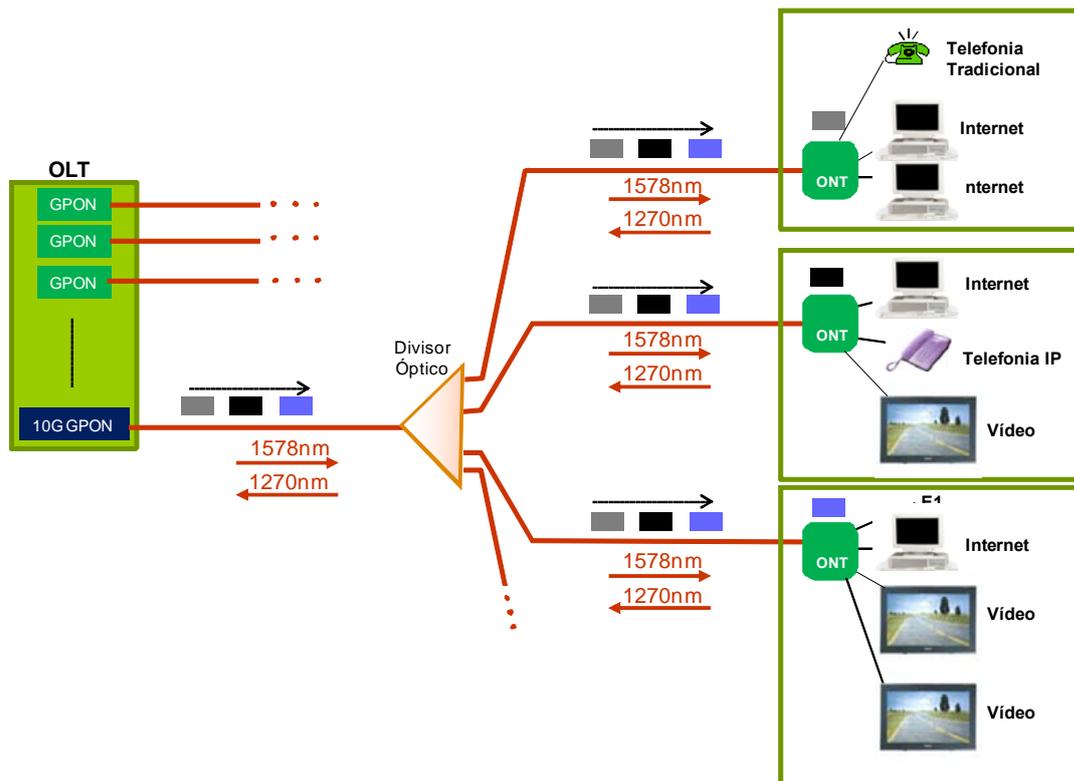


Figura 17 - Topologia XG-PON substituindo topologia básica GPON.

A topologia acima terá uma banda por usuário no *downstream* 4 vezes superior à banda proporcionada pelo cenário básico, ou seja, aproximadamente 288 Mbps para cada um dos 32 usuários, independente de ser utilizado XG-PON1 ou XG-PON2. Os quadrados coloridos, da mesma maneira que na ilustração do cenário básico da Figura 13, indicam o tráfego em sentido descendente.

Esse cenário, embora aparentemente simples de ser implementado, na prática implicaria na migração simultânea de todos os usuários conectados a uma porta GPON da OLT para o XG-PON.

Outra possibilidade de implementação seria não como uma evolução de uma rede GPON para uma rede XG-PON mas sim como uma rede projetada diretamente como XG-PON. Esse cenário também é difícil, pois o XG-PON ainda tem custos elevados. O cenário típico é o descrito na seção 3.4.4, de convivência de uma rede GPON com uma rede XG-PON em mesma infraestrutura de rede de distribuição óptica.

A adoção do XG-PON possibilitará a utilização de divisores ópticos para atendimento a uma maior quantidade de clientes (128 e mesmo 256, respeitando-se os limites de orçamento de potência), conduzindo a um modelo de negócios

mais atrativo, já que uma maior quantidade de usuários compartilhará a mesma infraestrutura de rede óptica de distribuição e OLT, mantendo banda superior ou compatível à banda oferecida por uma arquitetura GPON com 32 ou 64 usuários. A Tabela 5 abaixo ilustra melhor essa situação:

Tabela 5 - Comparação entre banda oferecida pelo GPON e pelo XG-GPON.

	Banda por Usuário [Mbps]	
	GPON	XG-GPON
32 usuários	72	288
64 usuários	36	144
128 usuários	18	72
256 usuários	-	36

3.4.3

Aumento de Banda – Cenário 2: WDM-PON

Outra possibilidade de aumento de capacidade seria o uso de WDM-PON. No WDM-PON utiliza-se um comprimento de onda individual para atendimento a cada assinante FTTX em configuração ponto-a-ponto. Dessa maneira pode-se, por exemplo, prover tráfego dedicado sem compartilhamento de banda a um usuário residencial ou pequeno negócio com 100 Mbps e a um usuário corporativo com 1 Gbps ou mesmo 10 Gbps, todos com protocolo Ethernet, sem uso de TDM. Para essa configuração devem-se utilizar as bandas de ampliação representadas na Figura 10. Como mostrado na Figura 18 abaixo, a arquitetura utiliza um roteador WDM na rede de distribuição de fibra e na central do provedor junto à OLT, estando previsto hoje uso de até 32 comprimentos de onda (CWDM ou DWDM), podendo chegar no futuro a 128.

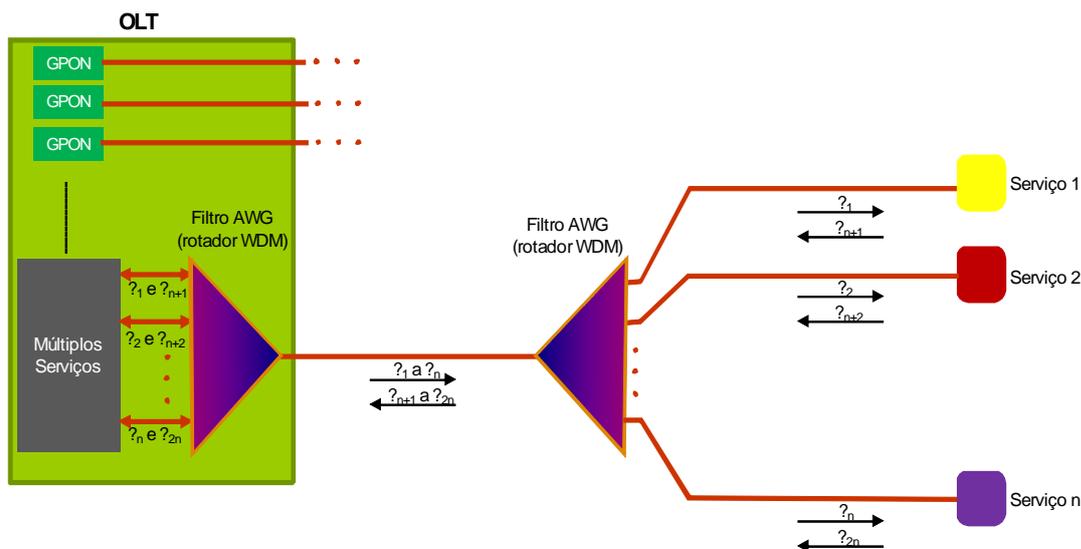


Figura 18 - Topologia WDM-PON.

Soluções para atendimento a grandes clientes corporativos com altas taxas, sobretudo Gigabit Ethernet e 10 Gigabit Ethernet, são cada vez mais comuns. Bancos, empresas de processamento de dados e renomadas empresas varejistas, apenas para citar alguns exemplos, demandam cada vez mais capacidade para conectar suas filiais através de soluções de LAN transparente ou mesmo capacidade de conexão IP para conexão de internet dedicada em alta velocidade. As soluções atualmente adotadas consideram uso de um par de fibra, ou eventualmente uma fibra em sistemas bidirecionais, para acesso ao usuário. Com o uso de WDM-PON, pode-se compartilhar parte da rede óptica de distribuição com diversos usuários, compartilhando os recursos já investidos pelo provedor de serviços bem como os custos operacionais, ao mesmo tempo em que se mantém arquitetura ponto-a-ponto dedicada de alta velocidade e simétrica, requisito para esse tipo de cliente.

Na arquitetura com WDM-PON, uma vez que a topologia passa a ser ponto-a-ponto com a alocação de um comprimento de onda dedicado a cada usuário, sem compartilhamento de banda, questões relacionadas a custos assumem papel ainda mais importante. As ONTs passariam a exigir laser com comprimento de onda adequado à grade de transmissão WDM, com custo bem superior ao custo de um laser sem esse requisito, mesmo que seja DFB (*Distributed Feedback*), como o utilizado nas ONTs GPON. Além do custo da interface óptica em si, há o

custo para criação de estoque, que seria bastante elevado, já que seria necessário ter pelo menos uma unidade em estoque para cada comprimento de onda utilizado na rede. Em redes pequenas a criação do estoque não resultaria em elevado investimento em valor absoluto, mas não se evitaria o elevado custo operacional em manter-se a rede, já que a equipe de manutenção teria que saber o comprimento de onda da ONT do assinante no momento de uma substituição de unidade ou, no momento de uma nova ativação, o técnico de ativação deveria ter conhecimento de qual comprimento de onda a ONT do novo usuário deverá utilizar. Nesse contexto, o uso de laser sintonizável em toda a banda de operação da rede WDM-PON na ONT aparece como a solução mais viável no longo prazo, já que facilitaria a formação do estoque bem como diminuiria a complexidade da manutenção e operação da rede. Entretanto, pelo fato do uso do laser sintonizável ainda considerar o uso de interface colorida na ONT, essa opção ainda tem elevado custo. Algumas alternativas estão sendo estudadas para utilizar-se ONTs não coloridas, objetivando redução de custos, com tecnologias como *Reflective Modulation*, *Sliced Broadband Source* e *Injection-Locked Lasers* (fonte: *Next-Generation Optical Access Networks*), não detalhadas nesse trabalho.

O custo por usuário e a ausência de demanda que justifique a utilização de comprimento de onda dedicado para todos os usuários são motivos suficientes para explicar a pouca implementação de arquiteturas WDM-PON.

3.4.4

Evolução GPON com Coexistência – Cenário 1: Overlaid-PON

Como adiantado na seção 3.4.3, um cenário natural de evolução de uma rede GPON básica seria a utilização de XG-PON, mas coexistindo com o GPON previamente em operação. Nessa situação seria possível atender novos usuários diretamente com XG-PON, utilizando a mesma infraestrutura de rede óptica de distribuição previamente existente. Da mesma maneira, um assinante atendido com GPON poderá ser atendido com XG-PON futuramente, bastando para isso substituir sua ONT para modelo com maior capacidade compatível com o XG-PON. Segue abaixo diagrama mostrando a convivência, com utilização de plano de comprimento de onda distinto para o XG-PON conforme a recomendação ITU-T G.987:

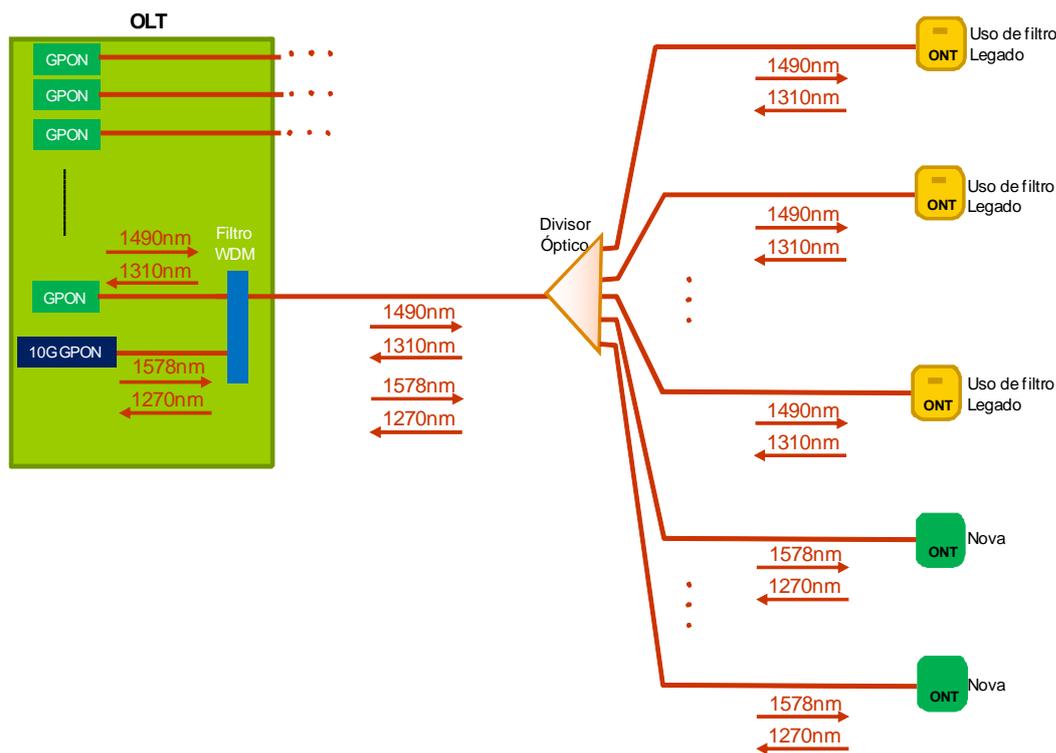


Figura 19 - Topologia XG-PON coexistindo com topologia básica GPON.

Nessa arquitetura, faz-se uso de um filtro WDM localizado na central do provedor junto à OLT, para permitir a multiplexação e demultiplexação dos comprimentos de onda do GPON e do XG-PON. As ONTs GPON, representadas em amarelo, deverão estar equipadas com um filtro (WFB - *Wavelength Blocking Filter*) para bloquear os comprimentos de onda do XG-PON. As ONTs XG-PON, representadas em verde na Figura 19 acima, podem ser utilizadas para atender novos assinantes ou substituir ONTs GPON existentes.

O projeto da rede deverá respeitar o orçamento de potência total disponível, com especial atenção às perdas de potência ópticas introduzidas pelos filtros de multiplexação/demultiplexação e bloqueio de comprimentos de onda. Especificamente com relação ao filtro de multiplexação/demultiplexação, este poderá ser instalado desde a implantação inicial da rede, mesmo que a rede não utilize XG-PON no primeiro momento, evitando-se interrupção de tráfego no futuro para sua inserção.

A principal vantagem desse tipo de arquitetura é que não há necessidade de migração de todos os assinantes simultaneamente para o XG-PON, sendo possível em um primeiro momento fazer o atendimento com a rede básica GPON.

O aumento de banda para cada usuário também pode ser obtido reduzindo-se a quantidade de usuários na rede GPON existente, conforme usuários são migrados para a rede XG-PON.

Outro benefício dessa arquitetura é a possibilidade de ativação dos usuários XG-PON de forma gradual e sem interrupção de tráfego, desde que o filtro WDM e os filtros nas ONTs tenham sido previstos desde a implantação inicial da rede. Ou seja, projeta-se a rede de forma a torná-la a mais flexível possível e com distribuição eficiente de capacidade. O capítulo 3.6 do presente estudo avaliará o impacto no CAPEX do provedor de serviços do uso desses filtros desde a implantação inicial da rede.

3.4.5

Evolução GPON com Coexistência – Cenário 2: Overlaid-PON com WDM

Outra possibilidade de evolução de uma rede GPON básica seria o uso de WDM-PON, situação em que seria possível coexistência também com o XG-PON. A arquitetura é muito similar à arquitetura da Figura 18, mas utiliza-se um divisor óptico junto ao AWG na rede de distribuição, como mostrado na Figura 20.

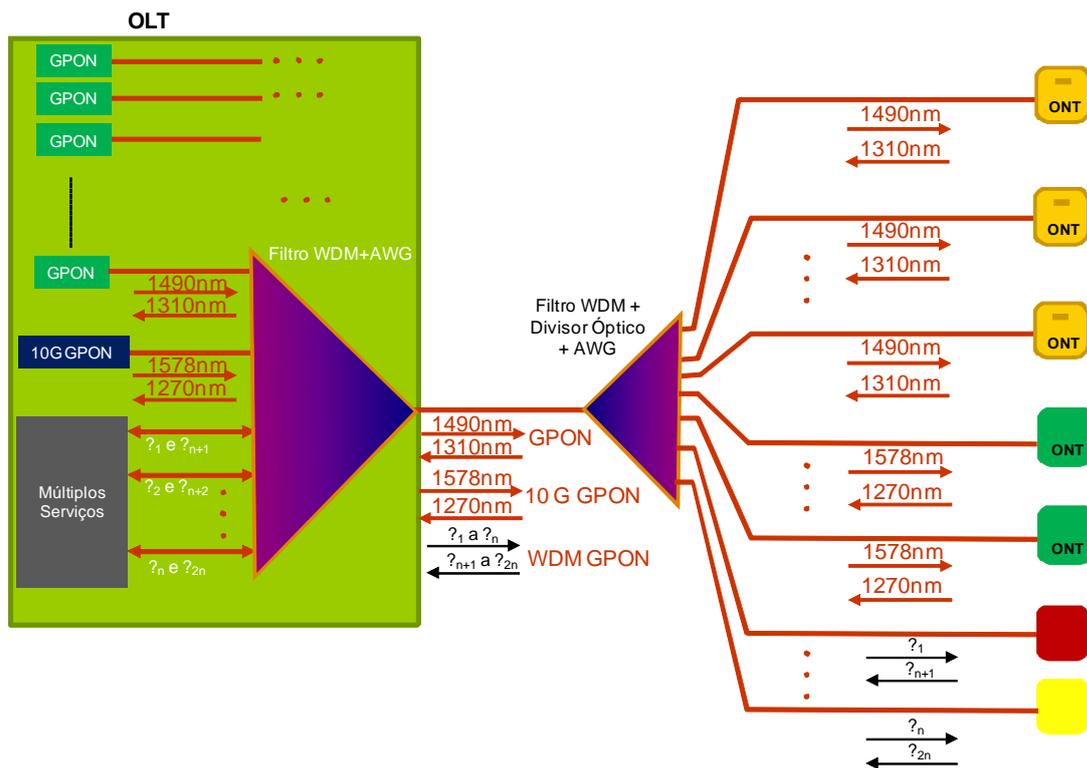


Figura 20 - Topologia WDM-PON coexistindo com topologia XG-PON e GPON.

O detalhamento dos elementos passivos localizados junto à OLT formados por filtro WDM e AWG, ou Multiplexador e Demultiplexador WDM, estão detalhados na Figura 21.

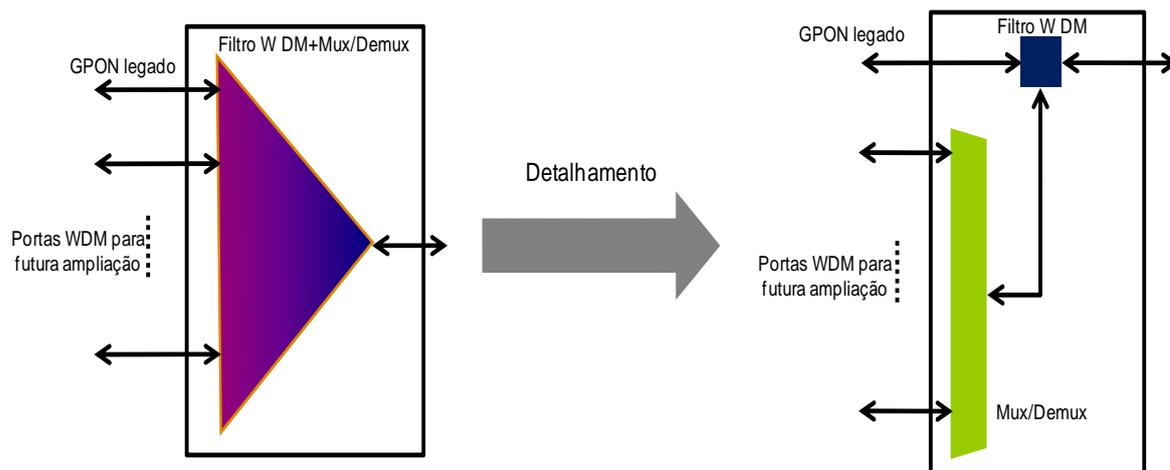


Figura 21 - Detalhamento do Filtro e Multiplexador/Demultiplexador utilizados junto à OLT.

A Figura 22 mostra o detalhamento dos elementos passivos localizados na rede de distribuição óptica formados por filtro WDM, divisor óptico e AWG, ou Multiplexador e Demultiplexador WDM:

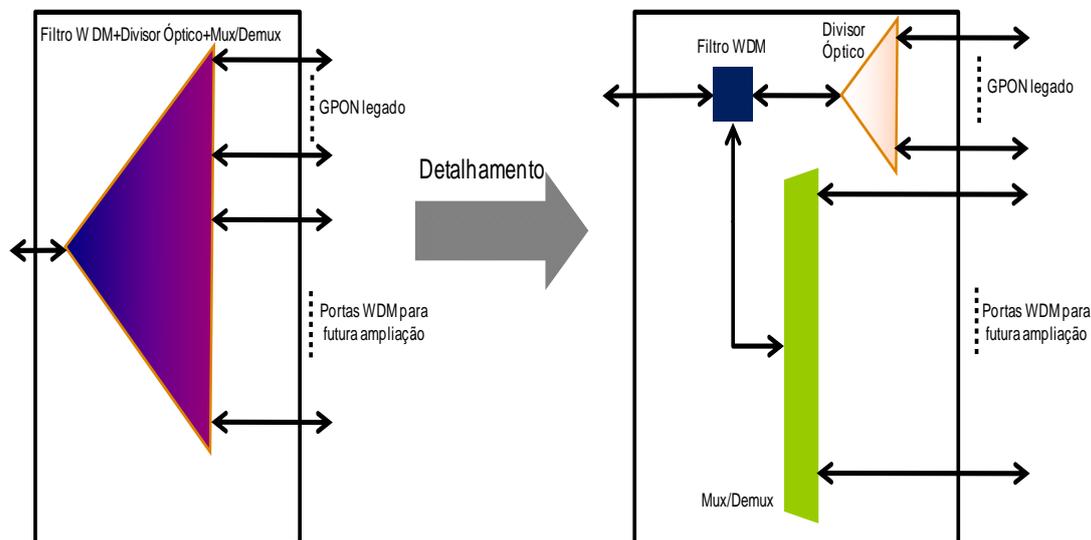


Figura 22 - Detalhamento do Filtro, divisor óptico e Multiplexador/Demultiplexador utilizados ao longo da rede de distribuição óptica.

Assim como na coexistência do GPON com o XG-PON, a convivência com o WDM-PON também implicará o uso de um filtro WDM, mostrado acima, para multiplexar e demultiplexar todos os comprimentos de onda envolvidos. Esse filtro também pode ser instalado desde a implantação da rede básica, evitando interrupções futuras de tráfego. Da mesma maneira, o filtro WDM da ODN também poderá ser inserido desde a instalação da rede básica. Também deverá ser dada especial atenção para os limites de orçamento de potência ao fazer-se uso dos filtros adicionais para a convivência do WDM-PON. O presente estudo avaliará o impacto no CAPEX do provedor de serviços quando utilizados esses filtros desde a implantação inicial da rede.

Assim como no caso de uma rede WDM-PON, nesse caso com um *overlaid*-PON com WDM pode-se compartilhar a rede óptica de distribuição para atendimento a novos usuários com comprimento de onda dedicado com rede já existente utilizada para atendimento a usuários GPON.

3.5

Rede de Distribuição Óptica

Para a análise de Capex que será feita, deve-se atentar para o fato de que a rede PON será formada pelos elementos ativos localizados na central do provedor (OLT), pelos elementos ativos localizados no terminal do assinante (ONU ou ONT) e pela rede óptica de distribuição (ODN), como mostrado em “*FTTH Handbook*”. Como será visto na análise realizada, a ODN representa parte fundamental do investimento na rede e é formada pelos elementos conforme Figuras 23 e 24 abaixo e detalhados em seguida:

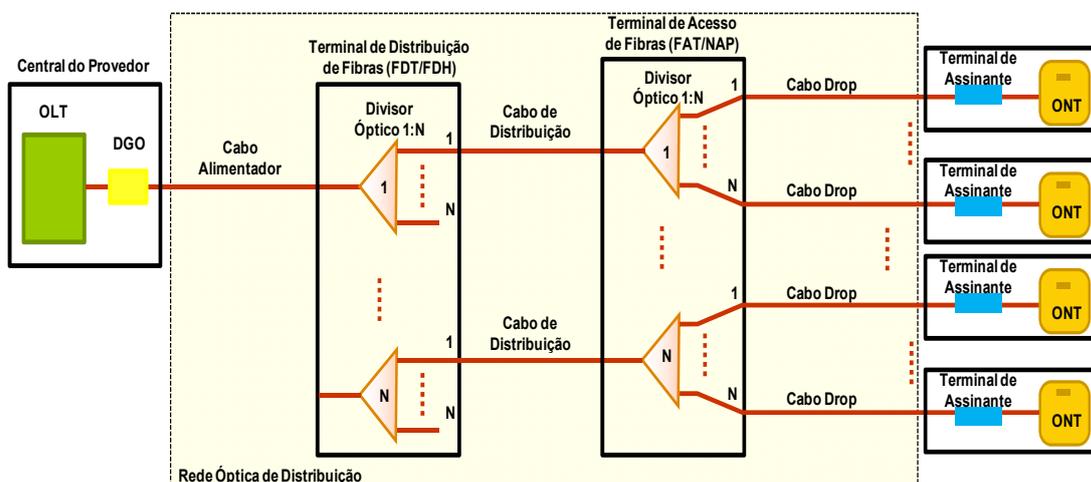


Figura 23 - Arquitetura ODN com dois níveis de distribuição.

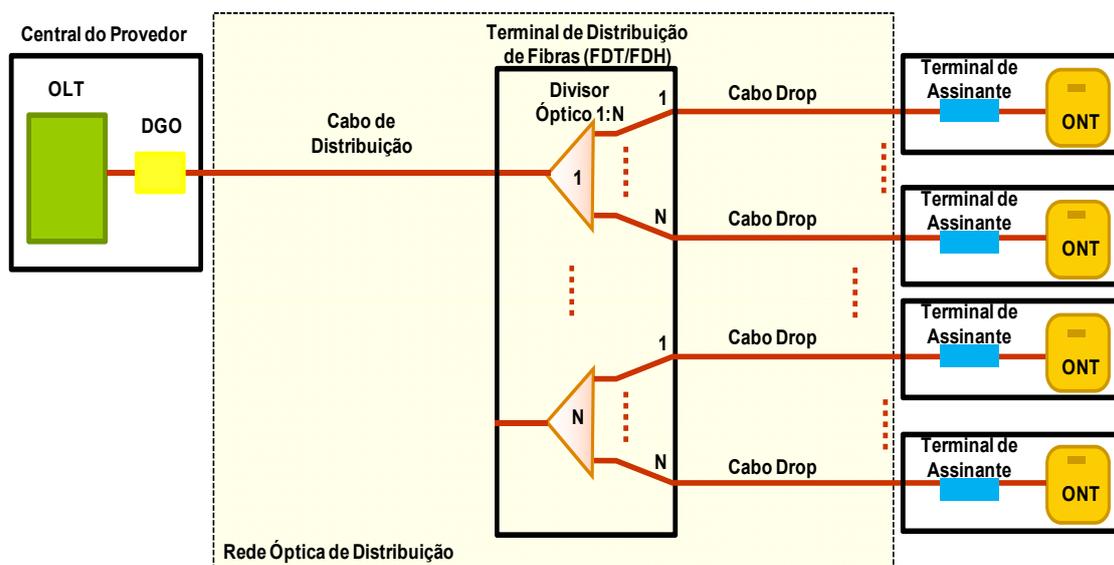


Figura 24 - Arquitetura ODN com um nível de distribuição.

- DGO (Distribuidor Geral Óptico)

Sub-bastidor de distribuição óptica para terminação dos cabos ópticos nas estações e nos terminais de distribuição de fibras com facilidades para emenda e conexão, com cordões de terminação e adaptadores ópticos com terminação variável dependendo do tipo de rede.

- Cabo Alimentador

Cabo óptico que conecta o DGO da estação do provedor até o primeiro nível de distribuição óptica. Esse cabo tem capacidade de fibras variável dependendo do projeto, por exemplo 48 ou 72 fibras, distância de alguns quilômetros, podendo ser aéreo ou terrestre.

- Terminal de Distribuição de Fibras (FDT – *Fiber Distribution Terminal*)

Corresponde ao primeiro ponto de concentração de fibra, que dará a flexibilidade necessária para receber cabo alimentador único, através de divisores ópticos, enviando o tráfego aos cabos de distribuição. Pode ser enterrado ou disponibilizado em armário de rua. Nele são instalados sub-bastidores de distribuição de fibras, sub-bastidor para instalação de divisores ópticos e facilidades de encaminhamento e organização de cordões ópticos.

- Cabo de Distribuição

Cabo que conecta o primeiro nível de divisão óptica ao segundo nível, próximo ao usuário. Tem capacidade inferior ao cabo alimentador, distância em geral inferior a 1 km, também podendo ser enterrado ou aéreo.

- Terminal de Acesso de Fibras (FAT – *Fiber Access Terminal*)

Corresponde ao segundo ponto de concentração de fibra, enviando o tráfego aos cabos *drop* de acesso final com poucas fibras. Assim como no caso do primeiro

ponto de concentração de fibras, pode ser enterrado ou disponibilizado em armário de rua, de menor capacidade. Também serão instalados sub-bastidores de distribuição de fibras, sub-bastidor para instalação de divisores ópticos e facilidades de encaminhamento e organização de cordões ópticos.

- *Cabo Drop*

O cabo *drop* corresponde ao último lance de fibra antes do acesso ao assinante. Em geral tem poucas fibras, máximo quatro, podendo ter algumas fibras adicionais como reserva. Sua distância em geral é inferior a 500 metros, reduzindo ainda mais com o aumento da densidade de usuário da rede PON.

- Terminação de Assinante

A terminação da fibra óptica no cliente é realizada utilizando uma caixa de terminação de cliente. Esta caixa provê facilidades para alojamento de emenda óptica por fusão entre o cordão de terminação e a fibra do *drop* óptico, além de um adaptador óptico para conexão com a ONT.

3.6

Análise de Investimentos

Para a análise de investimentos de capital (Capex) será considerado o cenário de referência básico tal qual mostrado na Figura 13, considerando 64 redes GPON com atendimento a 32 usuários em cada rede, ou seja, 2048 usuários com potencial para consumo de banda de aproximadamente 72 Mbps individualmente sem *oversubscription*. Nas análises será considerada também rede única com apenas 32 usuários como forma de comparação. Não será avaliado o capital necessário à manutenção da rede (Opex).

Dois cenários, chamados de cenário 1 e cenário 2, com topologias mostradas respectivamente nas Figuras 18 e 19, serão avaliados. Será avaliado o valor de Capex adicional em relação ao valor de Capex utilizado no cenário básico de forma a construir uma rede compatível com os cenários 1 e 2 desde sua

implantação inicial, podendo assim no futuro ampliá-la sem interrupção do tráfego existente e sem demais despesas de implantação e ajustes da rede.

Foi considerado como referência um equipamento OLT formado por um chassi capaz de atender os 2048 usuários através de 8 placas distintas, cada placa suportando 8 redes GPON distintas, e cada rede com 32 usuários. Essa configuração é uma configuração típica solicitada pelos operadores de telecomunicações e oferecida pelos fabricantes de equipamentos que atuam no Brasil. Foi considerado que esse chassi já contém interface para gerenciamento do equipamento com porta para gerenciamento e configuração remota, módulos de ventilação e switches Ethernet com interfaces 10 Gigabit Ethernet redundantes para *uplink* com a rede de dados. A Figura 25 abaixo ilustra a configuração genérica do equipamento considerado, mostrando sua conexão com as 64 redes GPON e com o *backbone* Ethernet/IP para acesso aos serviços.

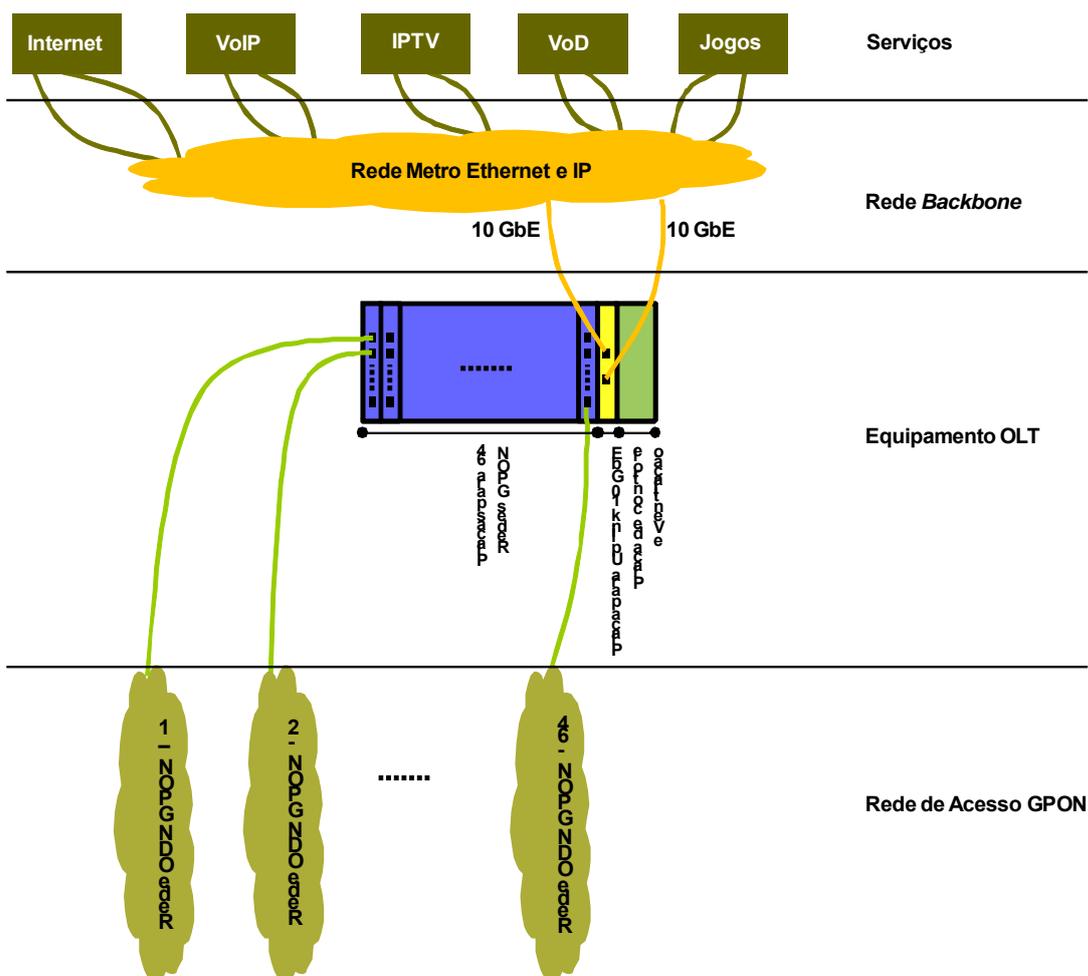


Figura 25 - Configuração OLT mostrando conexões com rede de acesso e *backbone*.

Inicialmente será feita comparação do valor adicional para cada um dos dois cenários considerando como referência apenas o valor de Capex de Equipamentos (parte ativa da rede). Neste Capex estará incluído o valor de OLT, ONT, servidores redundantes de gerenciamento com software, material e serviço de instalação, ativação, configuração e testes dos equipamentos e sistema de gerência.

Em um segundo momento, a análise incluirá no valor de Capex também a rede de distribuição óptica ODN.

Nas duas situações será feita uma análise de sensibilidade aumentando e diminuindo em 20% o valor de referência do elemento passivo adicional (filtro WDM ou filtro WDM com Multiplexador e Demultiplexador) de forma a avaliar o impacto dessa variação na análise do Capex adicional.

Em um terceiro momento será avaliado o impacto da variação do comprimento médio das redes GPON (km de Rede ODN) assim como será avaliado o impacto da variação do valor referencial do km de rede ODN instalada, sendo essa análise de sensibilidade feita para variação de 20% acima e abaixo do valor referência.

Para cada uma das três análises será considerada alternativa com 64 redes GPON e outra alternativa com apenas 1 rede GPON, sempre com 32 usuários por rede GPON.

Os valores de referência utilizados são médias utilizadas por diversos provedores de serviço no Brasil e provedores de equipamentos e fibras ópticas atuando no Brasil, considerando fibra aérea.

- **Análise Considerando Capex de Equipamentos**

Nessa análise considera-se apenas o Capex de Equipamentos, o que inclui OLT, ONT, gerenciamento, material e serviço de instalação, ativação, configuração e testes dos equipamentos e sistema de gerência. Faz-se então uma análise para encontrar o valor adicional para acrescentar filtro WDM (cenário 1) à rede do cenário base e unidade de multiplexação e demultiplexação DWDM de 8 canais com filtro (cenário 2), com análise de sensibilidade do valor de Capex para

aumento e redução de 20% no valor desses elementos passivos em relação ao valor de referência.

Na primeira avaliação considera-se o cenário base de comparação formado por uma rede única com apenas 32 usuários. A Figura 20 abaixo ilustra essa análise:

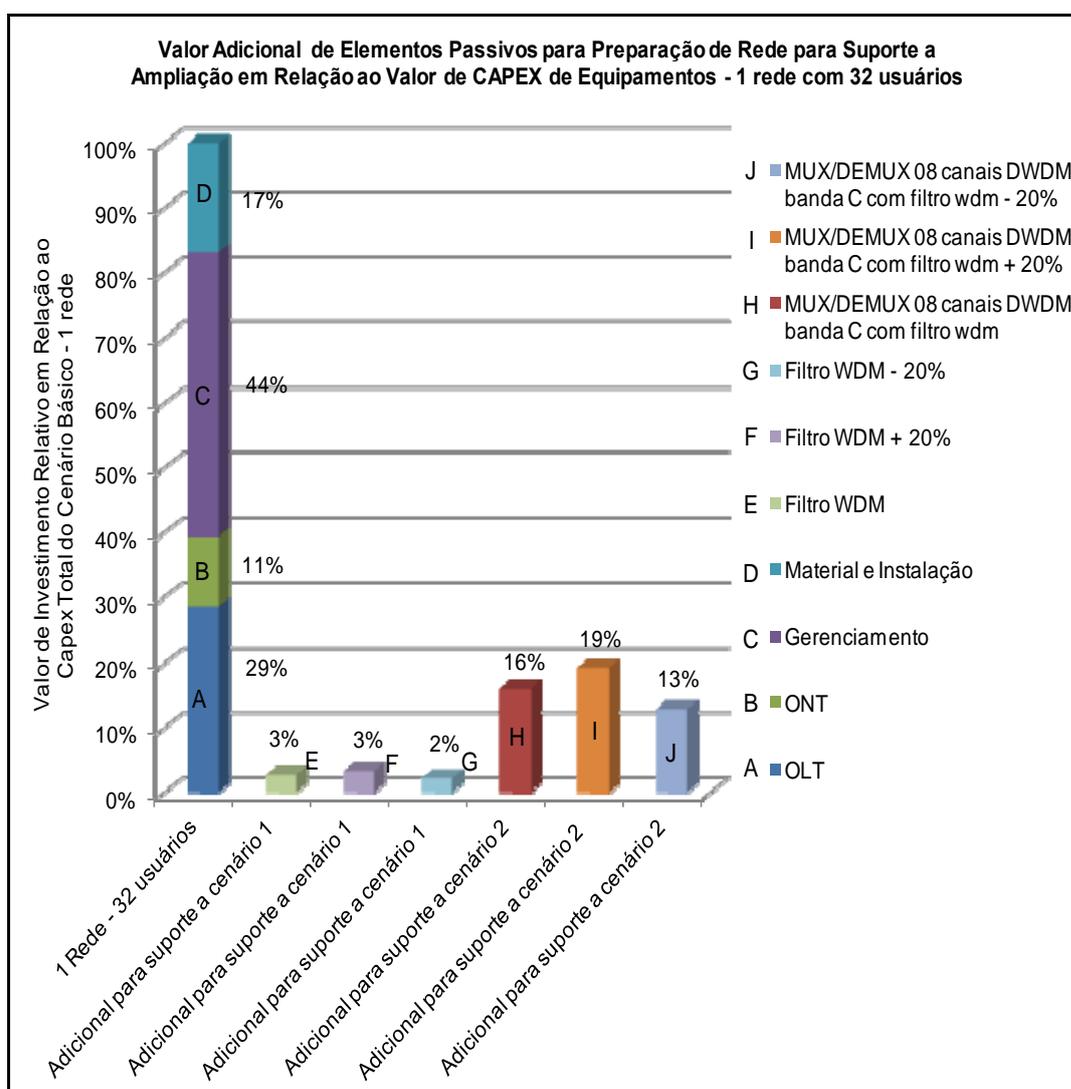


Figura 26 - Valor adicional de elementos passivos para preparação da rede para suporte à ampliação em relação ao valor total de Capex de equipamentos considerando uma única rede com 32 usuários.

Observa-se a elevada representatividade do valor da OLT, gerenciamento, material e serviço de instalação, respectivamente com 29%, 44% e 17% do valor do investimento. Isso ocorre pelo fato de ter-se uma rede muito pequena, com apenas 32 usuários (ONTs). Para o suporte ao cenário 1 de evolução, ou seja, para

acrescentar um filtro WDM, um investimento adicional de 3% em relação ao Capex inicial é suficiente, já considerando valor referencial do filtro acrescido de 20%. Para o suporte ao cenário 2, o valor adicional pode chegar a quase 20%.

Na segunda avaliação considera-se como cenário básico de comparação 64 redes GPON com 32 usuários cada, totalizando 2048 usuários. O gráfico da Figura 27 ilustra essa análise.

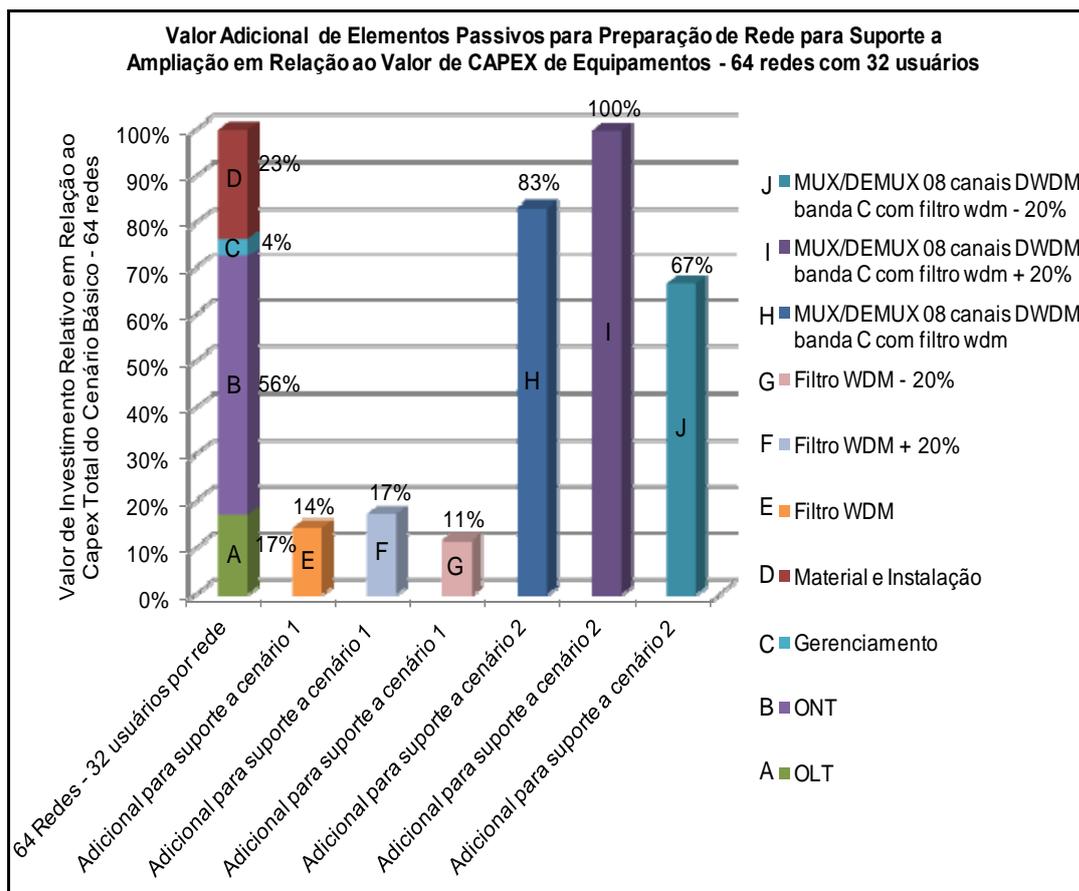


Figura 27 - Valor adicional de elementos passivos para preparação da rede para suporte à ampliação em relação ao valor total de Capex de equipamentos considerando 64 redes com 32 usuários cada.

Pode-se agora observar a elevada representatividade do valor da ONT, com mais de 50% do valor do investimento. Isso ocorre pelo fato de ter-se uma rede com maior quantidade de usuários, maximizando o uso do chassi da OLT. Para o suporte ao cenário 1 de evolução, ou seja, para acrescentar um filtro WDM, um investimento adicional aproximado de 15% em relação ao Capex inicial é necessário. Para o suporte ao cenário 2, o valor adicional pode chegar a mais de 80%.

Essa análise é útil em situações nas quais já existe uma rede ODN instalada e amortizada, ocasião em que o Capex será apenas referente à parte de equipamentos e adicionais (gerenciamento, material e serviço de instalação) para sua ativação. Pode-se verificar que nessa situação apenas em redes muito pequenas, com poucos usuários, o valor adicional para o cenário 1 ficará bem reduzido. Para o cenário 2, o adicional já atinge o patamar de 15% aproximadamente. Na situação de maior quantidade de redes e mais usuários, o valor de investimento relativo ao Capex de equipamentos da rede básica atinge valores bastante significantes para o cenário 1 e valores referenciais que inviabilizam a adoção do cenário 2. A preparação de somente algumas redes para evolução é possível, visando reduzir o valor de Capex adicional em relação ao cenário de referência, embora esse não seja o ideal, uma vez que dificilmente será possível prever quais as redes terão potencial para evolução e deverão estar preparadas para tal e quais não.

- Análise Considerando Capex de Equipamentos e ODN

Nessa análise considera-se o Capex de Equipamento, o que inclui OLT, ONT, gerenciamento, material e serviço de instalação, e da ODN instalada. Considerou-se comprimento médio de 12 km de cabo em cada rede ODN instalada. Assim como na análise anterior também é realizada análise para encontrar valor adicional para acrescentar filtro WDM (cenário 1) a rede do cenário base e unidade de multiplexação e demultiplexação DWDM de 8 canais com filtro (cenário 2), com análise de sensibilidade do valor de Capex para aumento e redução de 20% no valor desses elementos passivos em relação ao valor de referência.

Na primeira avaliação também é considerado no cenário base uma rede única com apenas 32 usuários. O gráfico da Figura 28 ilustra essa análise.

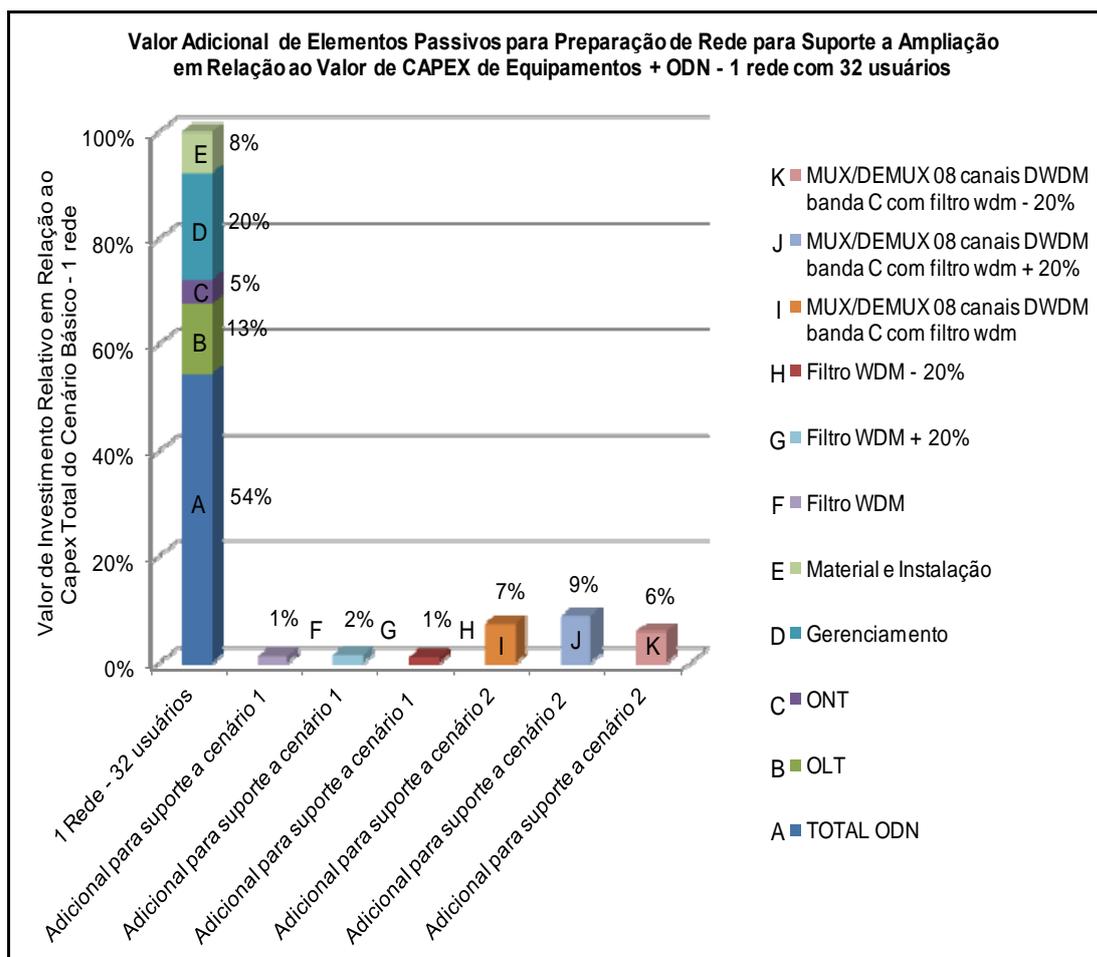


Figura 28 - Valor adicional de elementos passivos para preparação da rede para suporte à ampliação em relação ao valor total de Capex de equipamentos e ODN considerando uma única rede com 32 usuários.

É possível observar agora que a ODN representa mais de 50% do valor total de Capex, mesmo nessa situação de apenas uma rede GPON. Para o suporte ao cenário 1 de evolução, um investimento adicional de 2% em relação ao Capex inicial é suficiente, já considerando valor referencial do filtro acrescido de 20%. Para o suporte ao cenário 2, o valor adicional não ultrapassa 10%.

Novamente foi feita uma segunda avaliação na qual foi considerado como cenário básico de comparação 64 redes GPON com 32 usuários cada, totalizando 2048 usuários. A Figura 29 abaixo ilustra essa análise.

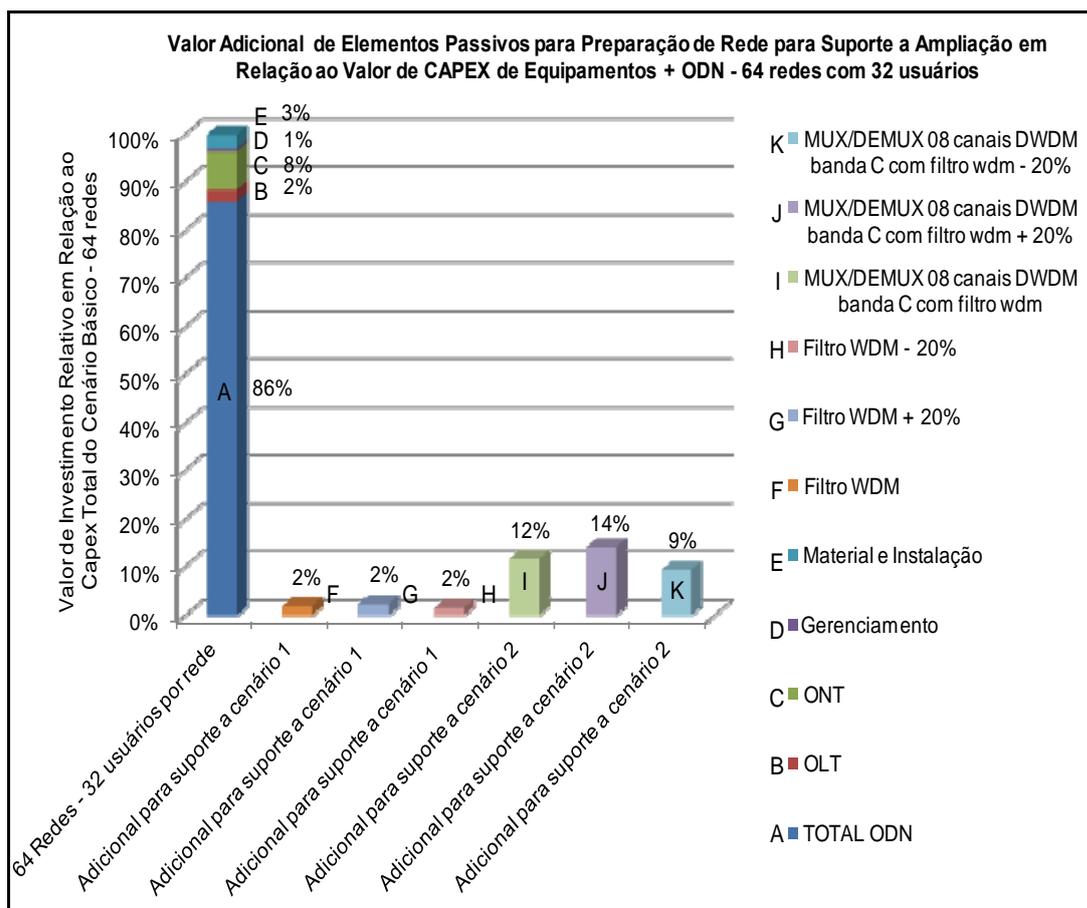


Figura 29 - Valor adicional de elementos passivos para preparação da rede para suporte à ampliação em relação ao valor total do Capex de equipamentos e ODN considerando 64 redes com 32 usuários cada.

Do resultado mostrado na Figura 29 acima é possível verificar agora que a representatividade da ODN sobre o Capex total é ainda maior, como consequência do aumento da quantidade de redes GPON. Para o suporte ao cenário 1 de evolução, o investimento adicional fica em torno de 2% independentemente da variação de seu valor em 20% para cima e para baixo. Para o suporte ao cenário 2, o valor adicional fica abaixo de 15%. Controlando-se o valor dos elementos passivos, pode-se ficar abaixo dos 10%.

Com essa análise é possível concluir que na situação de rede completamente nova, situação em que será necessário investimento inicial em rede ODN e equipamentos, o investimento adicional para implantação do cenário 1 desde a ativação inicial da rede fica abaixo de 2% independente do tamanho da rede. Para o cenário 2, o valor adicional permanece abaixo de 15% considerando o pior cenário de valor de referência do elemento passivo e 64 redes. Assim, o investimento seguramente seria viabilizado no cenário 1. Para o cenário 2,

considerando que a evolução simples para XG-PON1 permitiria quadruplicar a banda dos clientes justificando aumento do valor cobrado de cada usuário em mais de 15% além de ativação de clientes com comprimento de onda dedicado, o que traria retorno ainda maior, é possível inferir que o cenário 2 poderia ser viabilizado desde que se tenha uma razoável perspectiva de que haverá usuários demandando esse aumento de capacidade.

- Análise de Sensibilidade de Variação do km Médio do Cabo da ODN e Valor do km

Para a análise feita no tópico anterior considerou-se ODN com comprimento de cabo médio de 12 km, considerando cabo alimentador e de distribuição de acordo a Figura 23. Nesse tópico faz-se análise de sensibilidade do comprimento do cabo, de maneira a possibilitar a análise do impacto de redes concentradas em relação a redes geograficamente esparsas. Também é feita análise variando-se o valor do km da rede ODN instalada, alterando em 20% para mais e para menos em relação ao valor de referência, já que essa referência pode variar dependendo do local de instalação, negociação de compra e fatores de mercado. Para cada variação do comprimento de cabo médio em cada rede e para 3 valores de referência de valor do km de cabo ODN instalado (valor de referência e sua variação em + 20% e -20%) é avaliado o impacto de Capex adicional para adequação aos cenários 1 e 2 de evolução.

Na primeira avaliação a referência é uma rede única com apenas 32 usuários. A Figura 30 abaixo ilustra os resultados.

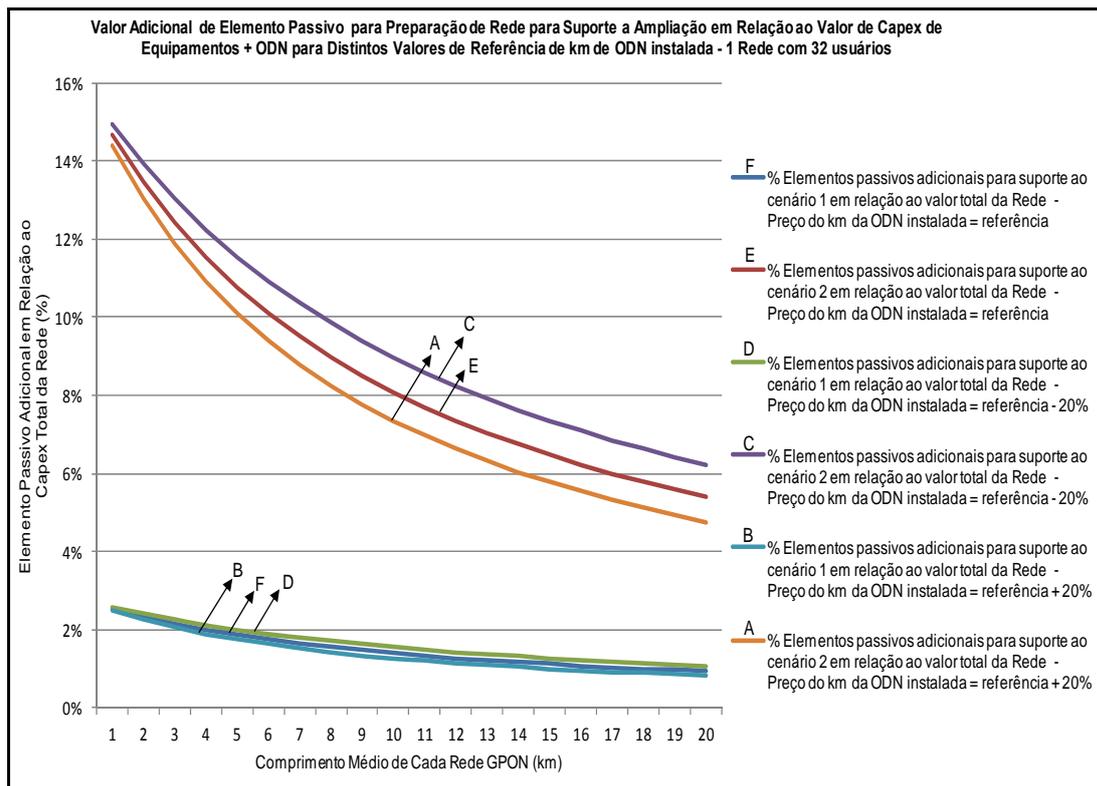


Figura 30 - Capex adicional em relação ao Capex total para preparação da rede para suporte aos cenários 1 e 2 em função da variação do comprimento médio de cada rede GPON para distintos 3 valores de referência do km de ODN instalada para 1 rede com 32 usuários.

Na Figura 30 acima se observa que para a adequação ao cenário 1, nas três curvas B, D e F na parte inferior do gráfico, a partir de 6 km de comprimento da rede o valor adicional de Capex já permanece abaixo de 2%. Mesmo abaixo de 6 km o valor adicional não fica acima de 3%. Não há variação significativa devido à variação do valor do km de cabo de ODN instalada. Para a implementação do cenário 2, três curvas A, C e E na parte superior do gráfico, pode-se notar que o adicional de Capex pode chegar a valores superiores a 12% para redes com comprimento médio de ODN inferior a 3 km, mantendo-se abaixo de 8% para redes acima de 11 km utilizando o valor referência do km de ODN instalada. O impacto da variação do valor do km de cabo da ODN instalado é pequeno, ficando em menos de 1%, para mais ou para menos, em qualquer situação de variação de comprimento de cabo médio.

Como nas outras situações, fez-se também uma segunda avaliação na qual foi considerado como cenário básico de comparação 64 redes GPON com 32 usuários cada, totalizando 2048 usuários. Os resultados estão mostrados na Figura 31.

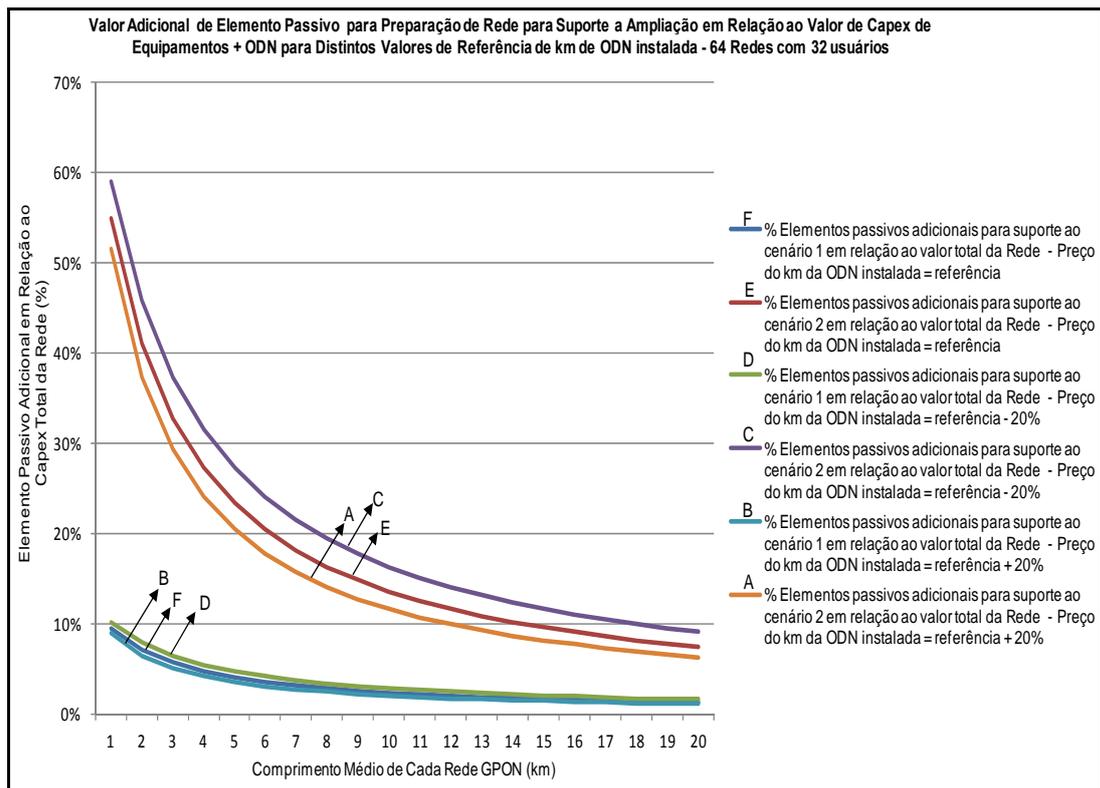


Figura 31 - Capex adicional em relação ao Capex total para preparação da rede para suporte aos cenários 1 e 2 em função da variação do comprimento médio de cada rede GPON para distintos 3 valores de referência do km de ODN instalada para 64 redes com 32 usuários cada.

Nessa situação de maior quantidade de redes e mais usuários, pode-se observar que em redes de curta distância, o valor adicional de Capex pode chegar a 10% para o cenário 1, mas se mantém inferior a 5% para comprimentos de cabo superiores a 3 km, sem influência significativa da variação do valor do km da ODN instalada. Já para o cenário 2, em situações de comprimento médio de rede inferior a 4 km, superam-se os 20% de Capex adicional, podendo inclusive chegar a mais de 40%. A partir de 8 km de cabo na rede o valor adicional de Capex fica abaixo de 20% para qualquer situação de variação do valor do km de ODN, embora esse fator possa implicar em alteração de mais de 5% no Capex adicional. Isso ocorre pois a ODN corresponde a maior parte do Capex total do cenário básico.

Com essa análise depreende-se que para a implantação do cenário 1 o investimento adicional de Capex fica abaixo de 5% em redes com comprimento médio de cabo acima de 5 km independente da quantidade de redes, 1 ou 64. Para

o cenário 2, há maior impacto no valor do Capex adicional dependendo do comprimento da rede e valor do km de ODN.

Cabe observar que foi considerado no estudo multiplexadores e demultiplexadores DWDM de 8 canais e valor de referência de mercado considerando os volumes atualmente existentes. Esses volumes correspondem a demanda atual de utilização em redes de transmissão DWDM não tendo assim patamar de volume de equipamentos e elementos utilizados no acesso. Uma vez que esse volume exista, o nível de preço de referência poderia ficar abaixo dos 20% considerados. Adicionalmente, redução seguramente seria obtida ao se utilizar unidades CWDM, como mostrado na arquitetura em “*An Efficient Evolution Method from TDM-PON to Next-Generation PON*”. Como forma de contribuir para a viabilização do cenário 2, reduzindo o Capex adicional associado, seria possível montar os filtros tal qual indicado nas Figuras 32 e 33 abaixo, estratégia na qual não se instala desde o início os multiplexadores e demultiplexadores como visto nas Figuras 21 e 22, mas deixa-se o equipamento preparado para recebê-los no futuro.

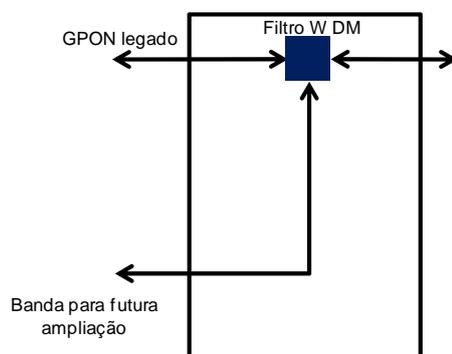


Figura 32 - Estrutura posicionada junto a OLT pronta para receber o cenário 2.

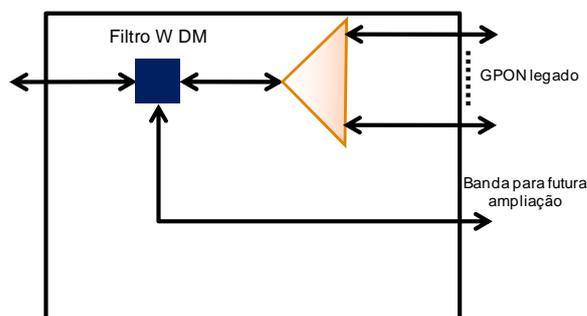


Figura 33 - Estrutura posicionada na ODN pronta para receber o cenário 2.

Com essa estratégia obtém-se uma rede preparada para o cenário 2, mas com investimento inicial adicional similar ao do cenário 1, postergando o investimento nos multiplexadores e demultiplexadores para quando existir de fato a demanda.

3.7

Comentários e Conclusões do Capítulo

Nesse capítulo é explicado o motivo da escolha da tecnologia GPON, incluindo suas evoluções, como opção de tecnologia de acesso banda larga para atender às novas demandas de serviços e aplicações descritas no capítulo 2. Nessas explicações, incluíram-se as principais diferenças entre EPON e GPON.

São descritas a arquitetura de rede GPON, utilizada como cenário básico na análise de investimentos feita ao final, e de suas evoluções XG-PON e WDM-PON.

Também são descritos alguns cenários escalonáveis, ou seja, cenários que podem ter suas configurações, em termos de disponibilidade e capacidade (entrega de banda), ampliadas. Três arquiteturas com maior proteção são apresentadas e também dois cenários para aumento de banda, um utilizando XG-PON e outro WDM-PON.

São detalhadas arquiteturas que permitem a coexistência entre o atendimento à demanda atual e que estão preparadas para atendimento à demanda futura com aproveitamento da infraestrutura instalada e sem impacto aos usuários atualmente atendidos. São apresentados dois cenários, um de coexistência entre GPON e XG-PON e outro entre GPON e WDM-PON, sempre com sobreposição de redes em plano de comprimento de ondas distintos. O plano de comprimentos de onda, de fundamental importância para qualquer projeto de rede PON preparada para ampliações futuras, também é apresentado. Os benefícios para se aumentar a banda com o planejamento prévio possibilitando esta coexistência são evidenciados.

Antes da análise de investimentos são descritos os elementos da rede de distribuição óptica, por seu impacto no investimento total da rede.

No primeiro conjunto de análises, é feita a comparação de investimento adicional de Capex para preparação da rede para os cenários 1 e 2 de evolução de

forma a obter-se arquiteturas com maior capacidade, respectivamente para suporte a XG-PON e WDM-PON, com coexistência com arquitetura GPON básica. A comparação sempre é feita em relação à arquitetura básica GPON. Considera-se também análise de sensibilidade no valor dos filtros utilizados para a composição das arquiteturas de rede dos cenários 1 e 2. Não foi considerado na primeira análise o valor da rede de distribuição óptica. Os resultados e conclusões podem ser resumidos abaixo:

1) Considerando apenas uma rede GPON, o adicional relativo para o cenário 1 fica abaixo de 3% e o adicional relativo ao cenário 2 fica abaixo de 20%, mesmo com as condições mais adversas da variação da referência dos filtros e outros elementos utilizados nos cenários 1 e 2.

2) Considerando 64 redes GPON, ou seja, uma grande quantidade de redes e usuários, o adicional para o cenário 2 praticamente inviabiliza o investimento, por atingir quase 70% de investimento adicional mesmo considerando o controle do preço dos elementos adicionais para o cenário 2 (sensibilidade em -20%). Destacou-se alternativa de se preparar somente algumas das redes para a evolução, embora essa opção exija maior planejamento e previsibilidade de crescimento de demanda.

O segundo conjunto de análises considera no cenário de referência o valor da rede óptica de distribuição ODN. As mesmas análises anteriores foram feitas com os resultados abaixo resumidos:

1) Verifica-se que a ODN passa a representar mais de 50% do investimento total do cenário básico no caso de apenas uma rede GPON e mais de 80% no caso de 64 redes GPON com 2048 usuários no total.

2) Considerando apenas uma rede GPON, o adicional relativo para o cenário 1 ficou abaixo de 2% e o adicional relativo ao cenário 2 ficou abaixo de 10%, mesmo com as condições mais adversas da variação da referência dos filtros e outros elementos utilizados nos cenários 1 e 2.

3) Mesmo considerando 64 redes GPON, o adicional para o cenário 1 ficou em 2% e para o cenário 2 permaneceu abaixo de 15% e, com controle do valor dos elementos adicionais para preparação do cenário de coexistência, o investimento adicional manteve-se abaixo de 10%.

Os resultados 2 e 3 mostrados acima são consequência do resultado 1, uma vez que o investimento total na rede aumenta muito quando se considera rede completa com ODN. Nessa situação de alto investimento, o adicional para acrescentar os elementos para a implementação dos cenários 1 e 2 permanece razoavelmente pequeno, considerando que o retorno que o provedor de serviços terá com uma rede capaz de oferecer maior banda poderá compensar o investimento adicional.

Na terceira análise altera-se o tamanho da ODN e o valor do km da ODN instalada. Dado a grande representatividade do investimento na ODN no investimento total do cenário básico, como já mostrado, foi verificado um investimento adicional relativo maior quanto menor foi o tamanho da rede ODN e quanto menor o seu valor, para qualquer cenário. Outros resultados foram:

- 1) Para apenas uma rede GPON o investimento adicional fica sempre abaixo de 15% para qualquer situação.
- 2) Para 64 redes GPON verificou-se que o adicional pode chegar a quase 60% no cenário 2 considerando variação para cima de 20% no valor do km da ODN instalada.

De forma geral é possível concluir que o cenário 1 é facilmente viabilizado por implicar em investimento adicional relativo pequeno nas diversas situações analisadas. No caso do cenário 2 a situação é mais delicada e envolve maior cuidado com o preço da ODN e o preço dos elementos adicionais para a preparação para o cenário 2, além do maior impacto verificado devido ao aumento na quantidade de redes GPON e tamanho da ODN. Alternativas foram propostas para reduzir esse investimento.