

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONFIGURAÇÃO E GERENCIAMENTO DE
SERVIDORES E EQUIPAMENTOS DE REDES

OUTROS TRABALHOS EM:

www.projetoderedes.com.br

ERON DA SILVA

IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE DE ACESSO GPON

MONOGRAFIA

CURITIBA

2012

ERON DA SILVA

IMPLANTAÇÃO UMA REDE DE ACESSO GPON

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de especialista em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes, do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Orientador: Prof. Dr. Kleber Nabas

CURITIBA

2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor orientador Kleber Nabas, com quem muito aprendemos durante as aulas por ele ministradas durante o curso, e por orientar essa monografia, contribuindo com valiosas dicas, as quais colaboraram para que o cronograma de atividades desse trabalho fosse concluído dentro do prazo estipulado.

Agradeço especialmente ao Engenheiro Leonardo de Almeida, da Companhia Paranaense de Energia – COPEL, que através da sua vasta experiência em Redes Ópticas Passivas, muito colaborou com esse trabalho, repassando boas sugestões, fornecendo apostilas sobre o conteúdo abordado e orientando nos testes práticos.

RESUMO

SILVA, Eron. **Implantando uma rede de Acesso GPON**. 2012. 61p. Monografia (Especialização em Configuração e Gerenciamento de Servidores de Redes) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

O propósito desta monografia é descrever como seria a implantação de uma rede óptica passiva GPON. São apresentadas as vantagens de uma rede passiva em comparação a uma rede de acesso convencional. É realizada uma breve revisão da literatura, onde são descritos os principais protocolos PON, sendo que a tecnologia GPON, por ser o foco de estudo deste trabalho, é explicada detalhadamente. Através de figuras ilustrativas, extraídas de um software de gerência de elementos de rede, é explicado passo a passo como são configurados os principais equipamentos dessa tecnologia, tais como a OLT e a ONU. Foram realizados ensaios de laboratório, nas dependências de uma Operadora de Telecomunicações. Desta forma, foi possível simular e analisar os principais serviços que geralmente são entregues pelas operadoras aos seus assinantes. Tais serviços são: dados, vídeo e voz, também chamados de serviços triple play. Esses serviços trafegam em uma mesma fibra óptica e são entregues em um mesmo equipamento (ONT), o qual é instalado na residência do usuário. Finalmente são relatados os resultados obtidos a partir desse trabalho e alguns desafios a serem enfrentados ao optar-se por uma rede de acesso GPON.

Palavras-chave: PON, GPON, OLT, ONT, splitter, rede de cesso e serviços triple play.

ABSTRACT

SILVA, Eron. **Deploying a Network Access GPON**. 2012. 61 p. Essay (Graduate Certificate in Networking Configuring and Managing Servers Network) - Graduate Programs in Technology, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2012.

The purpose of this monograph is to describe how it would implement a passive optical network GPON. It shows the advantages of a passive network if it is compared to a conventional access network. A brief literature review is written, which describes the main protocols PON like GPON technology. This one is the focus of this research, so it is explained in detail. Illustrative figures, extracted from a software management of network elements, help to explain step by step how are configured the main equipments of this technology, such as OLT and ONT equipments. In a Telecommunications Company's laboratory, practical tests were made. Because of these, it is possible to simulate and analyze the main services which are usually delivered from the companies to their customers. These services are: data, voice and video, and they are also known as Triple play services. They are both transported in a same optical fiber and they are both delivered in the same equipment (ONU), which is installed in the home user. Finally are reported the results obtained through this work and some difficulties if a GPON access network is chosen.

Keywords: PON, GPON OLT, ONT, splitter, network access and triple play services.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rede dedicada ponto-a-ponto	12
Figura 2 – Rede P2P curb network configuration.	12
Figura 3 – Rede GPON FTTH.....	12
Figura 4 – Splitter 1x16.....	18
Figura 5 – Construção Splitter FTB	19
Figura 6 – Construção do Splitter PLC	19
Figura 7 – Comparação da atenuação x comprimento de onda dos splitters.....	20
Figura 8 – Principais Arquiteturas de uma Rede GPON.....	21
Figura 9 – Topologia GPON - Splitters Distribuídos	23
Figura 10 – Topologia GPON - Distribuída	23
Figura 11 – Multiplexação do T-CONT	26
Figura 12 – G-PON: downstream frame	26
Figura 13 – G-PON: upstream frame and overheads	27
Figura 14 – Camada Transmission Convergence	27
Figura 15 – Diagrama em blocos de uma rede de acesso GPON	32
Figura 16 – Resumo do funcionamento de uma rede GPON para serviços triple play.....	33
Figura 17 – OLT - Fabricante Huawei	34
Figura 18 – Interface gráfica do U2000.....	34
Figura 19 – Adicionando uma ONU.	35
Figura 20 – Adicionando um serviço à ONU	36
Figura 21 – Adicionando uma vlan à ONU.....	37
Figura 22 – Visão Global dos Parâmetros configurados	38
Figura 23 – Características da ONU modelo HG850a	39
Figura 24 – Tela de alteração de senha da ONU HG850A	40
Figura 25 – Selecionando a interface da HG850A que proverá o serviço de Internet	40
Figura 26 – Configuração da WAN.....	41
Figura 27 – Verificando o status da rede WAN	42
Figura 28 – Alterando a ONU para trabalhar em modo Bridge	42
Figura 29 – Configuração do serviço Toip na WAN.....	43
Figura 30 – Alterando a região	44
Figura 31 – Configurando os Codecs	44
Figura 32 – Configurando um novo ramal	45

Figura 33 – Associando um ramal na interface TEL1	46
Figura 34 – Verificando o Status do ramal voip.....	46
Figura 35 – Verificando o se o ramal voip foi registrado corretamente.....	47
Figura 36 – Procurando uma ONU pela gerência U2000 e configurando o parâmetro VAS ..	48
Figura 37 – Alterando o parâmetro Country Code and signaling protocol	49
Figura 38 – Alterando o parâmetro LAN Layer3 LAN TYPE.....	50
Figura 39 – Adicionando uma nova WAN	51
Figura 40 – Configuração dos Parametros VAS da WAN	51
Figura 41 – Alterando o parâmetro ALG	52
Figura 42 – Habilitando a funcionalidade UPnp	53
Figura 43 – Alterando a senha padrão da ONU.....	53
Figura 44 – Configuração do circuito de dados no roteador da operadora.....	54
Figura 45 – Exemplo de arquitetura GPON	56
Figura 46 – Testes realizados com serviços triple play em uma rede GPON	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma das atividades	19
Tabela 2 – Habilitando as interfaces LANs onde os serviços serão configurados.....	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 TEMA	11
1.2 PROBLEMA	11
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 OBJETIVO GERAL	14
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.4 JUSTIFICATIVA	14
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.6 ESTRUTURA	14
1.7 CRONOGRAMA.....	14
2 REDES ÓPTICAS PASSIVAS.....	15
2.1 HISTÓRICO	15
2.2 ELEMENTOS DE UMA REDE GPON	16
2.2.1 OLT.....	146
2.2.2 ONU – OPTICAL NETWORK UNIT	147
2.2.3 SPLITTER	18
2.3 ARQUITETURAS DAS REDES GPON	19
2.4 TOPOLOGIAS DAS REDES GPON	20
2.4.1 CENTRALIZADA	21
2.4.2 CONVERGÊNCIA LOCAL.....	22
2.4.3 DISTRIBUÍDA.....	23
2.5 PROTOCOLO GPON.....	24
2.5.1 DINAMIC BANDWIDTH ALOCATION (DBA)	25
2.5.2 MÉTODO DE ENCAPSULAMENTO GPON (GEM).....	26
2.5.3 FORMATO DO QUADRO GPON DOWNSTREAM	27
2.5.4 FORMATO DO QUADRO GPON UPSTREAM.....	28
2.5.5 CAMADA TRANSMISSION CONVERGENCE (TC OU GTC)	29
3 PLANEJAMENTO DA REDE.....	30
3.1 REQUISITOS PARA A CONSTRUÇÃO DA REDE.....	31
3.2 ETAPAS DE UM PROJETO DE REDE GPON	32

4 CONFIGURAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	33
4.1 CONFIGURAÇÃO DA OLT	33
4.2 CONFIGURAÇÃO DA ONT	38
4.2.1 CONFIGURANDO A SENHA DA HG850A	39
4.2.2 CONFIGURANDO A ONU NO MODO ROUTER.....	40
4.2.3 CONFIGURANDO A ONU EM MODO BRIDGE.....	42
4.2.4 CONFIGURANDO TOIP NA HG850A	43
4.2.5 CONFIGURANDO A ONU REMOTAMENTE	47
4.3 CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR DA OPERADORA	54
5 TESTES COM SERVIÇOS TRIPLE PLAY NA REDE GPON.....	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REDE GPON.....	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

O rápido crescimento na utilização das comunicações de dados trouxe às Operadoras de Telecomunicações novas oportunidades de negócios. Isso fez com que as empresas de tecnologia desenvolvessem novas soluções para o fornecimento de serviços buscando o aumento das receitas das operadoras, com um custo que viabilize o negócio.

Uma rede de dados convergente, na qual a operadoras utilizam sua rede (*backbones*) não somente para prover o transporte de dados em alta velocidade, mas também o fornecimento de serviços de dados, vídeo e voz (*triple play*) mostra-se uma excelente alternativa para encarar esse mercado extremamente competitivo das Telecomunicações.

O conceito de convergência de rede pode ser definido de várias formas, mas fundamentalmente é a integração dos serviços de dados, voz e vídeo em um único serviço. Para que tudo isso seja possível, as redes devem atender aos seguintes preceitos:

- a) Qualidade de serviço (QOS) – mudança da filosofia da rede de dados de menor esforço (*Best effort*) para alta-qualidade (*high-quality*).
- b) Confiabilidade – garantir os SLA's, ou seja, os requisitos mínimos aceitáveis para o serviço proposto, mesmo durante a falha de elementos.
- c) Escalabilidade – capacidade para crescer da menor para a maior rede;
- d) Uso eficiente dos recursos – economizar investimentos em infra-estrutura;
- e) Operação simplificada da rede – reduzir custos operacionais.

A limitação da largura de banda na conexão entre o usuário final e a Central de Comunicação de Dados é o principal obstáculo na entrega desses serviços.

Algumas tecnologias têm uma boa aceitação por parte dos usuários devido ao custo acessível, mas possui limitação de largura de banda que não permite a oferta de alguns serviços, outras permitem o tráfego altas taxas de velocidade, mas possui elevados custos de implantação.

A necessidade de um equilíbrio entre que estes dois fatores, custo e largura de banda, motivaram o desenvolvimento das Redes Ópticas Passivas (PON – *Passive Optical Networks*), as quais serão o tema deste trabalho.

1.2 PROBLEMA

A rede de acesso, também chamada de última milha (*last mile*) é parte da rede que conecta o *backbone* da Operadora de Telecomunicações à rede do usuário, proporcionando modos de acesso para a transmissão de múltiplos serviços que são entregues ao usuário final.

Existem várias tecnologias de rede de acesso. Exemplificaremos três das mais utilizadas.

Redes Dedicadas: Quando uma conexão dedicada permanente é obrigatória, um link ponto-a-ponto é utilizado para fornecer um caminho de comunicação WAN preestabelecido do local do cliente por meio da rede do provedor para um destino remoto. As linhas dedicadas costumam ser alugadas de uma operadora, e por isso são chamadas também de linhas alugadas. Essas linhas fornecem capacidade dedicada permanente, sendo utilizadas amplamente na criação de WANs (*Wide Area Network*), já que possuem uma disponibilidade constante, o que é essencial para alguns aplicativos, como VoIP ou vídeo sobre IP.

No entanto, há muitas desvantagens na utilização de linhas dedicadas como redes de acesso. As linhas alugadas estão disponíveis em capacidades diferentes, sendo geralmente cobradas com base na largura de banda obrigatória e a distância entre os dois pontos conectados. As linhas alugadas têm uma capacidade fixa, mas o tráfego WAN costuma ser variável, o que deixa uma parte da capacidade inutilizada. Além disso, cada extremidade precisa de uma interface física separada no roteador, o que aumenta os custos de equipamento. Qualquer alteração feita na linha alugada normalmente exige uma visita ao local pela operadora. Os links ponto-a-ponto costumam ser mais caros que serviços compartilhados.

P2P curb network configuration: O que difere este do outro método citado anteriormente é um *switch* localizado em um “armário” perto dos usuários, com a função de distribuir o sinal em uma determinada localidade. Este modelo possui uma cobertura de serviço restrita. A maior desvantagem desse tipo de rede de acesso é o elevado número de elementos ativos nas redes (*switches*) que eventualmente possam necessitar manutenção. Assim, o custo de construção e manutenção desse modelo de acesso é consideravelmente elevado.

Redes PON: De acordo (FONTES, 2008) essa tecnologia foi desenvolvida visando solucionar as restrições de largura de banda das redes de acesso. Esse modelo utiliza geralmente uma relação de “um para vários” ou uma rede ponto-multiponto entre o *Center Office* CO e os usuários finais. A grande vantagem dessa tecnologia é que a distribuição é realizada por elementos passivos denominados *Splitters*. Esse elemento exerce

um papel fundamental nas redes *Passive Optical Networks* (PON), já que ele que divide o sinal óptico de forma passiva. Por esse motivo as redes PON possuem um melhor custo benefício em relação às demais tecnologia de redes de acesso.

A seguir, as figuras 1, 2 e 3, disponíveis em (HUAWEI TECHNOLOGIES, 2010, p.8) ilustram os três modelos de acesso descritos anteriormente:



Figura 1 – Rede Dedicada ponto-a-ponto
Fonte: Huawei - Introduction to FTTH Technology

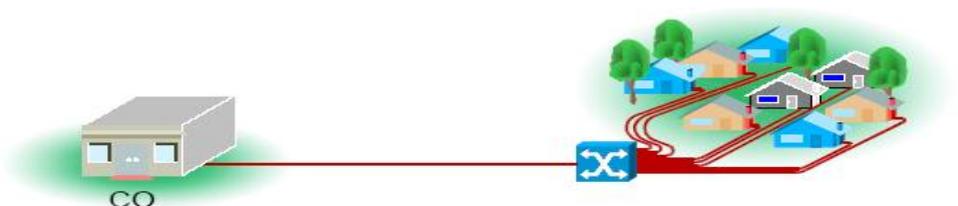


Figura 2 – Rede P2P curb network configuration
Fonte: Huawei - Introduction to FTTH Technology



Figura 3 – Rede PON FTTH
Fonte: Huawei - Introduction to FTTH Technology

1.3 OBJETIVOS

A seguir, será apresentado o objetivo geral e específico, os quais pretendemos concretizar com este projeto de pesquisa.

1.3.1 Objetivo Geral

Descrever a implantação de uma rede de acesso GPON para atender assinantes dos serviços de dados, voz e vídeo, apresentando os principais elementos que compõe esse tipo de rede, assim como a configuração aplicada nesses equipamentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos a serem atingidos são:

- Apresentar o diagrama com os principais elementos de uma rede GPON;
- Simular o serviço de dados (Internet) entregue a um usuário de uma rede GPON;
- Ilustrar a configuração dos principais equipamentos de uma rede GPON;

1.4 JUSTIFICATIVA

Este projeto de pesquisa servirá como uma base de orientação a estudantes e profissionais de Redes de Computadores que desejarem conhecer como uma rede de acesso GPON é implantada. Apesar de ser uma tecnologia relativamente recente, algumas operadoras de Telecomunicações já implantaram esse modelo de rede em algumas partes de suas plantas. Devido à sua alta confiabilidade, custo reduzido de construção e manutenção em relação às redes de acesso convencionais, a tendência é que as novas redes de acesso das operadoras utilizem preferencialmente a tecnologia GPON.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho será desenvolvido com base nas referências bibliográficas existentes sobre o assunto proposto. A pesquisa acontecerá principalmente sobre os manuais dos principais fabricantes da tecnologia e também através dos livros já escritos sobre as Redes Ópticas GPON. Será necessário ainda um estudo das recomendações que contemplam as Redes GPON. São elas: ITU-T, da G.984.1 até a G.984.7 disponíveis em (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION (ITU-T), 2008).

Os testes práticos serão executados em um laboratório de uma Operadora de Telecomunicações, após ser concedida a permissão pela mesma. Através destes testes será demonstrado o funcionamento desta tecnologia e o relatório dessas experiências será detalhado nesta monografia.

O escopo desse trabalho restringe-se à arquitetura de rede de acesso do tipo Arquitetura FTTH (*Fiber to the Home*): Fibra Óptica na casa do assinante. Não serão abordados os outros tipos de arquiteturas, tais como Arquitetura FTTB (*Fiber to the Building*): Fibras Ópticas para Instalação Interna em Edifícios, Arquitetura FTTC (*Fiber to the Curb*): Fibras Ópticas para Armário e ainda o Arquitetura FTTN (*Fiber to the Node*): FTTN é similar em arquitetura ao FTTC exceto que o armário é colocado mais longe dos assinantes; não serão abordados nesse estudo.

1.6 ESTRUTURA

Esta monografia é composta por seis capítulos complementares entre si, que visam satisfazer os objetivos que foram propostos. O capítulo 1 é a Introdução deste estudo e está estruturado da seguinte forma: 1.1) tema de pesquisa; 1.2) apresentação do problema; 1.3) objetivos; 1.4) justificativa; 1.5) procedimentos metodológicos e 1.6) estrutura e 1.7) cronograma.

O desenvolvimento deste trabalho é composto pelos capítulos 2, 3 e 4, os quais contemplam a descrição teórica e prática deste projeto. O capítulo 2 pode ser considerado como uma Revisão de Literatura das Redes GPON. Nele serão descritos os principais elementos desta tecnologia assim como o funcionamento dos mesmos. O capítulo 3 tem como objetivo apresenta o planejamento da rede, descrevendo os principais requisitos e etapas de projeto. O capítulo 4 descreve detalhadamente como seria a configuração dos principais equipamentos de uma rede GPON para atender assinantes que optarem por serviços *triple*

play. No capítulo 5 serão relatados os ensaios práticos realizados em ambiente de laboratório, assim como seus resultados.

No sexto e último capítulo será apresentada a conclusão da monografia e suas considerações futuras, reportando os resultados finais atingidos com o desenvolvimento desse trabalho.

1.7 CRONOGRAMA

O Cronograma abaixo apresenta as principais atividades do projeto, assim como a previsão de término das mesmas.

Atividades	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Projeto de Pesquisa	■	■			
Capítulo 1 - Introdução	■	■			
Capítulo 2 - Revisão da Literatura		■	■		
Capítulo 3, 4 e 5 - Teoria e Testes		■	■	■	
Capítulo 4 - Considerações Finais				■	■
Correções Eventuais				■	
Defesa da Monografia					■
Entrega da Monografia - Versão Final					■

Tabela1: Cronograma das atividades

Fonte: Própria

2 REDES ÓPTICAS PASSIVAS

A Rede Óptica Passiva (PON) é uma rede de acesso óptico que utiliza dispositivos passivos, ou seja, sem equipamentos elétricos para transportar a informação entre o transmissor e o receptor.

Conforme (EFFENBERGER, 2001), o princípio básico da PON é compartilhar a terminação da Linha Central Óptica (OLT) e da fibra do alimentador em tantas Unidades de Redes Óptica (ONUs) quanto forem possíveis, com o menor custo possível.

2.1 HISTÓRICO

De acordo com (REED, 1992) os primeiros experimentos PON ocorreram na década de 1980, quando algumas das maiores companhias aéreas ao redor do mundo trabalharam em conjunto para apresentar soluções de acesso óptico em suas redes. No entanto, tais experiências não passaram de apenas aplicações de ensaio, devido ao elevado custo e procura relativamente baixa no momento.

Com a popularização da Internet nos anos 1990, havia a necessidade de acesso de banda larga eficiente. Isso fez com que, em 1995 um grupo de sete grandes operadoras estabelecessem as Redes de Acesso de Serviço Completo (FSAN), para derivar um conjunto comum de requisitos aos sistemas de acesso óptico. Em 1998, isso resultou na recomendação ITU-T G.902 e em 1999, ITU-T aprovou as novas especificações, como o sistema PON 155 Mbit/s (ITU-T G.983 Recomendação série). Este foi apontado como o PON de Banda Larga (B-PON) ou modo de transferência assíncrona (ATM), com basePON (A-PON ou ATM-PON) (FLEXLIGHT NETWORKS, 2002). Enquanto FSAN e ITU-T foram ativamente melhorando B-PON, a Ethernet foi ganhando cada vez mais popularidade. Tanto que o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) criou o primeiro grupo de estudo da Ethernet na Primeira Milha (EFM), que mais tarde foi desenvolvido para força-tarefa IEEE 802.3ah. Isso culminou no E-PON, que se concentrou em padronizar a Ethernet com 1 Gbit/s simétrica. O trabalho foi finalizado e a primeira versão do padrão que transporta os dados no domínio óptico entre a OLT e a ONU foi aprovado no verão de 2004. Após isso, a *Ethernet First Mile Alliance* (EFMA) começou a promover a técnica da chamada “primeira milha”

baseada em padrões Ethernet como a técnica de primeira milha. O consórcio FSAN também foi muito ativo e iniciou, em 2001, um novo esforço a fim de normalizar as redes PON que operam com taxas de bits acima de 1 Gbit/s. Em 2003, os primeiros documentos de projeto de Recomendação ITU-T G.984 ou Gigabit PON (G-PON) padrão foram publicados.

Por fim, as redes GPON são atualmente contempladas nas recomendações ITU-T, de G.984.1 até a G.984.7.

2.2 ELEMENTOS DE UMA REDE GPON

Uma rede óptica passiva é composta por três elementos principais: O Optical Line Terminator, ou Terminador de Linha Óptica (OLT) é o equipamento localizado na central da empresa de telecomunicações (CO). Já a Optical Network Unit (ONU ou ONT), é o equipamento instalado próximo de onde o serviço será utilizado, e o Splitter é o elemento passivo que é inserido na rede de acesso óptico, entre a OLT e ONT e que permite que mais de um usuário utilize a rede de distribuição primária de forma compartilhada.

Geralmente existe uma relação de “um para muitos”, ou uma rede ponto-multiponto entre a central e os usuários finais.

Conforme (NEVES, 2011), a distribuição é feita de forma passiva, sem elementos ativos na Rede de acesso, através de elementos denominados *Splitters*, que possuem divisões de 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 1x32, 1x64 (uma entrada e múltiplas saídas) e 2x8, 2x32 e 2x64 (duas entradas e múltiplas saídas para serem utilizados para proteção).

2.2.1 OLT

Esse equipamento Possui as funções de efetuar a conexão dos usuários das redes de acesso à rede de transporte, transmitir os dados no sentido operadora-usuário, para todos os usuários conectados na rede, gerenciar a comunicação de dados no sentido usuários-central, controlar a largura de banda alocada para cada usuário e caso seja necessário, controlar a alocação dinâmica de largura de banda.

Além disso, é responsável por processar os sinais GPON, realizar a sincronia entre as ONUs, e realizar as verificações de segurança.

Possui interfaces para comunicação com *switches* em direção ao *core* da rede, e interfaces ópticas GPON para comunicação com os assinantes.

2.2.2 ONU - Optical Network Unit

A ONU – É o equipamento que é instalado próximo ao usuário, e fornece a conexão efetiva à rede de dados.

As suas principais funções são: processar os dados recebidos viabilizando a aplicação de algoritmos de priorização de *Quality of Service* (QoS), disponibilizar interfaces para serviços de comunicação de dados *Time Division Multiplex* (TDM), telefonia POTS (Serviço de telefonia), Televisão Rádio frequência (TV RF), conforme a configuração fornecida pelo fabricante.

Para que isso ocorra, ela deve ter a velocidade de comunicação de dados equivalente a velocidade do OLT, mas disponibilizando ao usuário apenas a fração da velocidade alocada a ele.

2.2.3 Splitter

O elemento passivo a ser inserido em uma rede PON é o *Splitter*. Sua principal função é efetuar a divisão do sinal óptico recebido do OLT para todos os equipamentos de usuários alocados na rede, as ONU's. A figura 4, ilustra um exemplo prático de um *Splitter*



Figura 4 – Splitter 2x16

Fonte: <http://www.ttnet.net> Acesso, 23/07/2012

Existem duas principais técnicas de construção do divisor óptico, como explica (DMITRUK, 2009). A primeira, denominada – *Fused Biconical Taped* - FBT, tem como característica, ser fabricado, a partir da fusão de duas fibras em paralelo, como demonstra a figura 5.

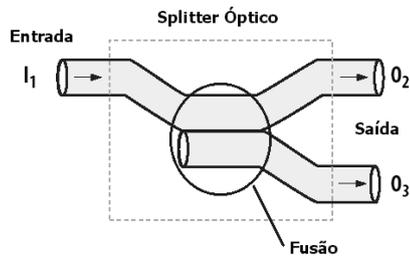


Figura 5: Construção do Splitter FBT.
Fonte (DMITRUK, 2009)

A segunda técnica é denominada PLC – *Planar Lightwave Circuit*, e tem como característica formar o circuito óptico do divisor a partir da corrosão de um substrato óptico sob a demarcação de uma máscara na qual o circuito é inserido. É realizado então, o preenchimento destes espaços com material óptico com outro índice de refração, formando os caminhos que conduzirão o feixe óptico.

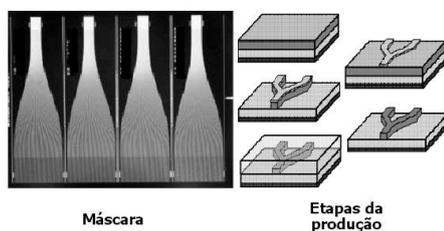


Figura 6: Construção do Splitter PLC.
Fonte (DMITRUK, 2009)

Uma forma de comparação entre os dois processos de fabricação foi feita por (CHINLON, 2006), baseada na resposta de atenuação em função do comprimento de onda.

Baixa atenuação e Linearidade são os dois fatores mais esperados de um elemento de rede óptica. Só assim, futuros serviços inseridos no sistema não se comportarão de forma indesejada, por estar baseado em um comprimento de onda que sofre maior atenuação.

A figura a seguir, apresenta uma linearidade um pouco superior nos divisores implementados em PLC com comparação aos divisores implementados com a tecnologia FBT.

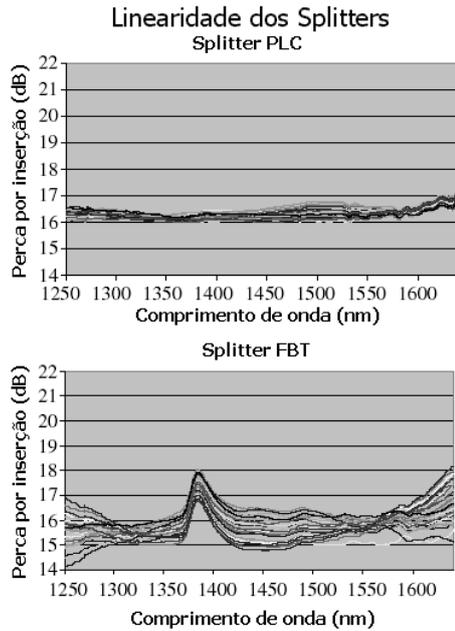


Figura 7: Comparação da atenuação x comprimento de onda dos splitters.
Fonte (DMITRUK, 2009)

Outra característica importante a ser ressaltada, que torna a utilização das redes passivas uma solução ainda mais recomendada, quando comparada às redes com elementos ativos na rede de acesso, é a confiabilidade do elemento passivo. Sob condições climáticas adversas, foram efetuados testes na rede já instalada da empresa SBC Telecom, nos Estados Unidos, e não foram registradas ocorrências com os divisores, até mesmo nos instalados nas piores condições de baixa temperatura e tempo seco na parte norte do país ou nas piores condições de temperatura e umidade elevada. (CHINLON, 2006).

2.3 ARQUITETURAS DAS REDES GPON

As arquiteturas de redes GPON mais utilizadas são:

Fiber to the Curb (FTTC): O cabo óptico é levado até um armário na calçada ou na rua – outdoor – e partir dali a rede segue com cabos metálicos até o usuário final.

Fiber to the Building (FTTB): A fibra óptica chega até a sala de telecomunicações de um edifício, equipada com uma ONU, e a saída metálica da ONU é ligada a um switch. As ligações da rede até os apartamentos ou escritórios do edifício são então feitas com cabeamento estruturado metálico.

Fiber to the Home (FTTH): O ponto de terminação da fibra óptica é uma ONU no interior da casa do assinante.

Fiber to the Apartment (FTTA): O ponto de terminação da fibra óptica é a ONU dentro do apartamento do assinante. Esta arquitetura é tratada separadamente da arquitetura FTTH, devido a nuances do projeto físico, mas o objetivo final é o mesmo, ou seja, ter o ponto de terminação da rede na ONU dentro da residência do assinante.

Na figura 8, é possível verificar como é a topologia de uma rede óptica passiva, onde os posicionamentos dos equipamentos estão demonstrados e os diversos tipos de localidades atendidas são descritas:

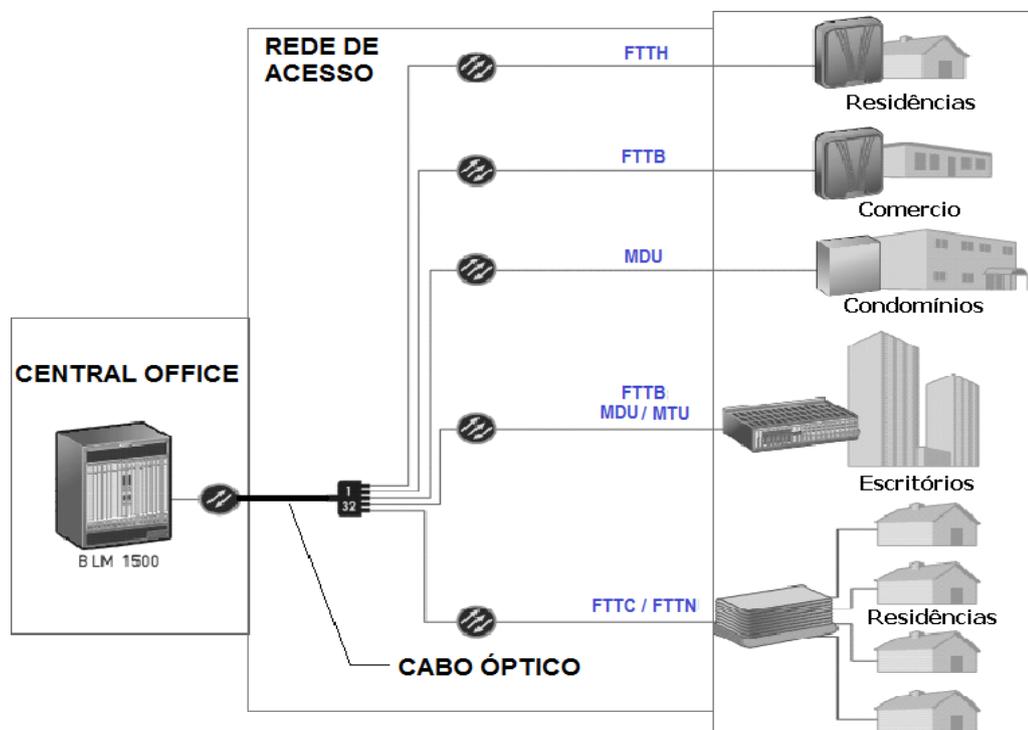


Figura 8 – Principais Arquiteturas de uma Rede GPON
Fonte: (DMITRUK, 2009)

2.4 TOPOLOGIAS DAS REDES GPON

O que determina a o tipo de topologia de rede GPON são os *splitters*. Deve ser levado em consideração que cada uma delas é mais adequada a determinados tipos de situação e previsão de crescimento da rede.

A seguir, seguem os três principais modelos de topologias utilizadas na prática, de acordo com (NEVES, 2011):

2.4.1 Centralizada

Nesse modelo de topologia, cada assinante tem uma fibra dedicada a partir da central. Não há *splitters* na rede localizados fisicamente fora da central. Com isso, o número de emendas ópticas no ponto de convergência local e nas caixas de emenda é elevado, uma vez que as caixas são usadas somente para emendas ópticas simples, e não para posicionamento de *splitters*.

Como todos os *splitters* da rede estão localizados dentro do CO, a escalabilidade é máxima para equipamentos ativos e os passivos da rede, e os custos de operação e manutenção são mínimos quando comparados às outras topologias, pois na rede externa há somente emendas.

A tecnologia utilizada pode ser modificada a qualquer momento (EPON, GPON, XGPON e P2P). Pode-se alterar a largura de banda disponível para cada usuário sem alterar a rede externa.

As desvantagens da topologia centralizada são: maior número de fibras ativas necessárias, o que pode aumentar os custos com a canalização e com a compra inicial de cabos. Todo o gerenciamento das fibras ocorre a partir da central, o que pode gerar mais custos devido ao espaço físico ocupado, e à organização necessária para implantar e manter a rede.

2.4.2 Convergência Local

A topologia de Convergência Local consiste em uma fibra que sai da central - seja diretamente da OLT, ou de um *splitter* 1xN qualquer interno à central – para alimentar um *splitter* 1xN na rede externa, e as N fibras que saem dessa divisão alimentam os clientes.

Dessa forma, o cabeamento de fibras da Rede Óptica de Distribuição (ODN) é conceitualmente, dividido em duas partes: O cabeamento primário, que consiste nas fibras da central até os *splitters* de primeiro nível, e o cabeamento secundário, dos *splitters* de primeiro nível até o usuário final. Os cabos que chegam até o cliente final são denominados cabos drop.

A figura 9 ilustra esse tipo de tecnologia:

Modelo de Topologia FTTx Splitters Distribuídos

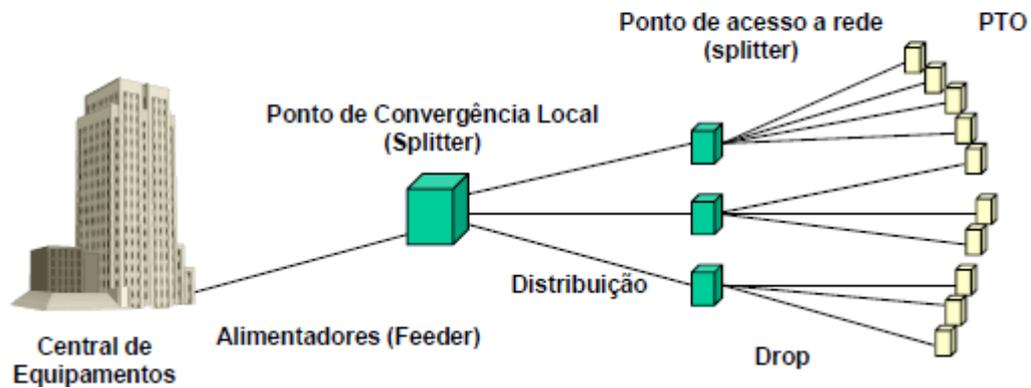


Figura 9: Topologia GPON - Splitters Distribuídos – Convergência Local
Fonte: (Kawamura, 2012) Furukawa

2.4.3 Distribuída

Nessa topologia, os *splitters* são divididos em dois grupos: os de nível primário e secundário. Há dois níveis de divisão de sinal, o que gera economia de fibras. A desvantagem é que a escalabilidade nesse caso é baixa, pois há muitas emendas na rede externa, porém a topologia é bastante utilizada quando a ocupação de dutos é alta (requer menos fibras). A figura 10 descreve esse modelo de topologia.

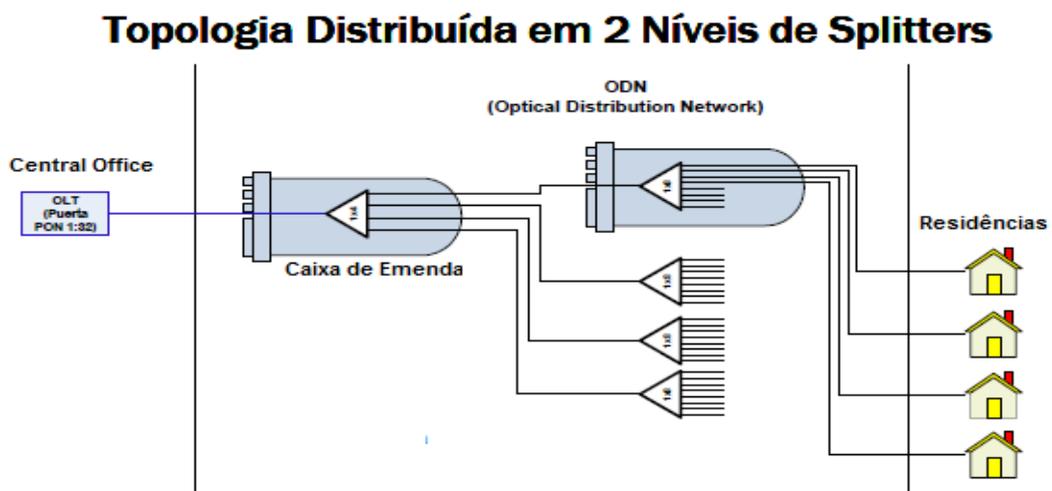


Figura 10: Topologia GPON - Distribuída
Fonte: (KAWAMURA, 2012) Furukawa

2.5 PROTOCOLO GPON

O protocolo GPON é dotado de alguns elementos chave para que possa ocorrer a transmissão e recepção dos dados corretamente. Isso é necessário, devido principalmente à natureza ponto-multi-ponto das arquiteturas e topologias empregadas nessa tecnologia. Esses elementos são listados a seguir:

ONU Identifier (ONU-ID): É um identificador de 8 bits que cada ONU recebe da OLT durante a ativação da ONU. O ONU-ID é uma seqüência única que não se repete em nenhuma ONU ligada à mesma OLT.

Allocation Identifier (Alloc_ID): É um número de 12 bits que a OLT designa para a ONU para identificar uma entidade portadora de tráfego que é receptora de alocações de largura de banda no sentido *upstream* (ONU para OLT) dentro da mesma ONU. Cada ONU recebe um ALLOC_ID padrão, que é igual ao ONU-ID daquela ONU. Podem ser atribuídos ALLOC_IDs adicionais de acordo com as solicitações da OLT.

Transmission Container (T-CONT): É um objeto da ONU que representa um grupo de conexões lógicas que serve para atribuição da largura de banda e transmissão no sentido *upstream*. Para uma determinada ONU, o número de T-CONTs é fixo, e a ONU cria automaticamente o número de T-CONTs necessários durante sua ativação (dependendo dos serviços conectados às suas portas). Os T-CONTs podem também ser criados manualmente na configuração da ONU. A OLT descobre automaticamente a quantidade de T-CONTs em cada ONU.

Para ativar um T-CONT que carregará o tráfego da ONU para a OLT, é necessário que a OLT estabeleça uma tabela ligando o T-CONT e o ALLOC_ID de cada ONU. Cada ALLOC_ID pode ser associado com um único T-CONT. Há cinco tipos de T-CONTs, que são:

Tipo 1: Largura de banda fixa, utilizado para serviços sensíveis ao atraso, como VoIP.

Tipo 2 e Tipo 3: Largura de banda garantida, usado para vídeo chamadas e serviços de dados de alta prioridade, como jogos e aplicativos de interação.

Tipo 4: é do tipo “melhor esforço” (*Best-Effort*), utilizado para serviços de internet e baixa prioridade, que não requerem alta largura de banda.

Tipo 5: É misturado, suportando várias larguras de banda e diversas aplicações.

2.5.1 Dinamic Bandwidth Allocation (DBA)

A OLT é responsável por alocar a largura de banda entre as ONUs. Como a rede de acesso é dividida, o tráfego entre as ONUs poderia colidir ao chegar à OLT. Além disso, todas as ONUs ficam a distâncias diferentes da OLT, e cada uma tem um tempo de atraso único. A OLT registra todos esses detalhes, e envia uma mensagem a cada uma das ONUs via PLOAM, e faz a equalização do tempo de atraso de cada uma das ONUs. Esse processo é chamado *Ranging*.

Uma vez registrado o atraso da ONU, a OLT transmite uma autorização de transmissão em uma janela específica de tempo denominada *grants*, para cada ONU. Esse mapeamento é feito constantemente com intervalo de mili segundos, para que cada ONU receba a largura de banda necessária, de acordo com suas necessidades.

A metodologia DBA permite que a largura de banda de cada ONU cresça ou encolha baseada no tráfego e na demanda upstream do momento. As funções do DBA são aplicadas nos T-CONTs, que são *timeslots* no sentido upstream. A maioria das ONUs possui mais de um T-CONT, cada um com sua prioridade ou classe de tráfego, e cada um corresponde a um *timeslot*.

2.5.2 Método de Encapsulamento GPON (GEM)

Este método de encapsulamento é destinado ao transporte de circuito e comutação de pacotes de dados em G-PON redes. Os quadros de G-PON podem levar também ATM tráfego, como mostrado na Figura 11.

T-CONT suporta cinco classes de prioridade e é atualizado para suportar ATM e Serviço GEM multiplexação como mostrado na Figura 11. Uma ONU pode suportar um ou ambos regimes de serviço de multiplexação e um tipo T-CONT deve ser atribuído a cada sistema de multiplexação e classe de prioridade.

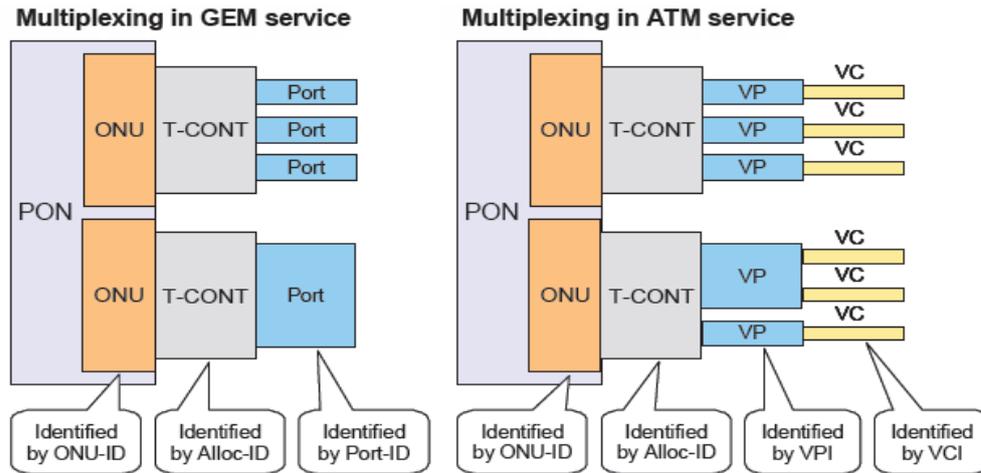


Figura 11: Multiplexação do T-CONT
 Fonte: PON (Transport Concepts, 2006)

2.5.3 Formato do quadro GPON Downstream

Um quadro GPON tem a duração de 125us e tem 38880 bytes, o que corresponde a uma taxa de 2.48832 Gbps. A figura 12 mostra o quadro de *downstream* em detalhe:

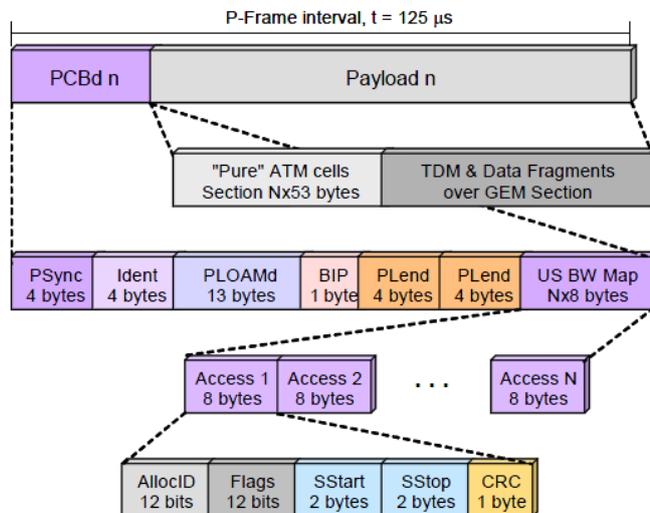


Figure 12: G-PON downstream frame.
 Fonte: Pon – (Transports Concepts, 2006)

Os principais Campos desse quadro são:

PSync Field: Esse campo é responsável por carregar o padrão de sincronismo 0Xb6ab31e0. Esse padrão é recebido por cada ONT no bloco de controle físico (PCBd).

Ident Field. Este campo tem o papel de identificar de frames maiores. Os 30 bits menos significativos deste campo contém um contador de “super” frames, que é acrescido de 1 a cada frame. Esse contador provê também a tolerância de erros da ONT.

Plend Field: Transporta o tamanho do *payload*. Tem um campo separado de 12 bits para o tamanho de bandwidth map (Bwmap) e para a Seção ATM. O tamanho de BW atual é 8 vezes o tamanho do *payload* e tamanho do ATM *map* é 53 vezes o tamanho do *payload*.

BW map Field: Especifica quando a ONT pode começar a transmitir, qual é o tipo de tráfego (T_CONT) que ela pode transmitir e quando deve ocorrer o fim da transmissão.

Allocation ID: Identifica o tipo de T-CONT

Flags Field: Determina as mensagens de controle quem devem ser enviadas durante o time-slot. Existem as seguintes opções de mensagens: PLaU (*Power levelling sequence*), PLOAMu e uma indicação de usar FEC e DBRu

Sstart Field: Define o tempo de início da transmissão. Esse tempo é medido em bytes, começando com zero no início de um frame de *upstream*.

SStop field: Contém o tempo de fim de transmissão.

2.5.4 Formato do quadro GPON Upstream

Cada quadro upstream contém um número de *bursts* de transmissão provenientes de uma ou mais ONUs. Cada *burst* contém uma sessão de *Physical Layer Overhead* (PLOu – cabeçalho de camada física) e uma sessão com um ou mais intervalos de alocação de banda associados com ALLOC_IDs. O mapa da OLT é quem organiza o arranjo dos quadros em cada *burst*, e a alocação de intervalo entre os *bursts*, conforme a figura 13.

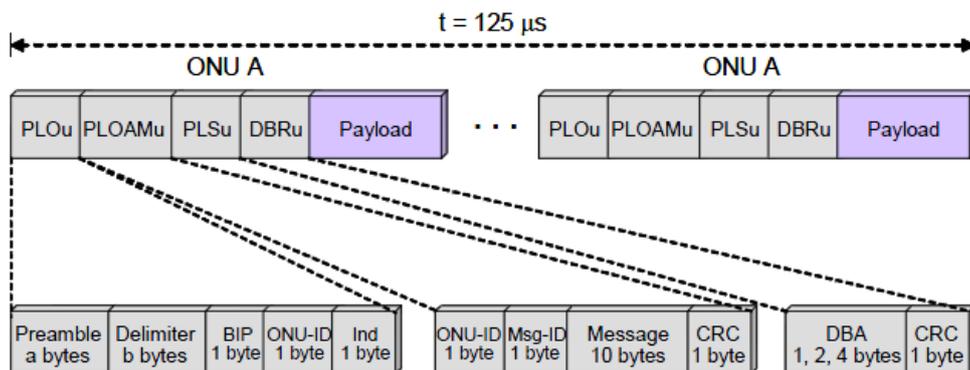


Figure 13: G-PON upstream frame and overheads.

Fonte: Pon – (Transports Concepts, 2006)

Plou field: Contém o cabeçalho programável camada física (preâmbulo

e delimitador) e três campos adicionais para a transmissão de indicação ONU.

Através do ONU-ID é possível identificar a ONU de transmissão e a informação do status de real time dão OTU para a OLT.

PLOAMu campo contém uma mensagem PLOAM.

PLSu é campo é de 120 bytes de comprimento e é utilizado em medições de controle de potência pelas ONUs.

DBRu field transporta informações relacionadas a uma entidade T-CONT e a DBA field. Contém também o estado do trânsito de um T-CONT em questão.

Upstream payload, Responsável pelo transporte de frames GEM ou informações de DBA.

2.5.5 Camada Transmission Convergence (TC ou GTC)

A Recomendação ITU-T G.984.3 descreve a camada TC como sendo o equivalente à camada de enlace de dados (camada 2) do modelo OSI. Ela especifica o formato do frame GPON, o protocolo de controle de acesso ao meio, processos OAM e o método de criptografia das informações.

A figura 14 mostra a estrutura de quadro do GTC nas direções *downstream* e *upstream*. No sentido *downstream* o quadro GTC consiste no *Physical Control Block downstream*, e na sessão de *payload*, além de fornecer a referência de tempo para o PON e o controle de sinalização upstream.

No sentido upstream, contém vários *bursts* de transmissão, e cada um é composto pelo *Physical Layer Overhead upstream* (PLCu) e um ou mais intervalos de alocação de banda, relacionados com um ALLOC_ID específico.

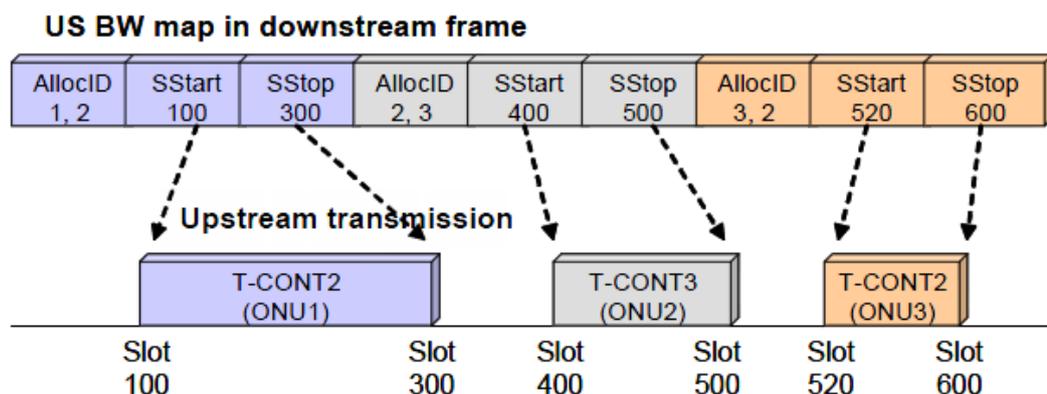


Figura 14: Camada Transmission Convergence
Fonte: Pon – (Transports Concepts, 2006)

3 PLANEJAMENTO DA REDE

A arquitetura escolhida para servir de exemplo nesse trabalho é a FTTH por ser a mais utilizada e por ter a melhor relação custo benefício.

De acordo com (SCHWINGEL, 2009), os principais requisitos para a construção de uma rede de acesso PON são: Previsão de demanda, definição de serviços, *take rate*, extensão da rede, cenários, ambiente do cliente, escalabilidade e os aspectos de instalação, manutenção e o operação. A seguir será retratado cada um desses requisitos:

- **Previsão da Demanda:** a previsão da demanda em um cenário específico serve para definir o tipo da configuração de rede a ser aplicada. Em uma região onde não temos o conhecimento sobre onde está a demanda, devemos concentrar os *splitters* e minimizar o investimento em equipamentos na central. Se a demanda de uma determinada região já é conhecida a mesma for considerada mais agressiva, podemos distribuir os *splitters* para aperfeiçoar a planta externa.
- **Definição dos Serviços:** geralmente, os serviços ofertados aos assinantes podem ser voz, dados e vídeo. A escolha do tipo de serviço influencia na escolha da solução tecnológica, GPON ou EPON, e no fator de divisão dos *splitters*.
- **Take Rate:** é a relação de HC/HP. Onde: HC (*Home Connected*) é o número de usuários que se pretende atender num período de 3 a 4 anos, enquanto HP (*Home Passed*) é o número de usuários para o final da vida útil da rede – período acima de 15 anos. Os equipamentos, *splitters*, caixas de *drops*, cabos *drops*, e demais materiais para conectar o usuário na rede, devem ser dimensionados para atender a quantidade de HCs. Os cabos ópticos, primários, e principalmente secundários, caixas de derivações, armários ópticos, devem ser dimensionados para quantidade de HPs.
- **Extensão da Rede:** O principal fator para definir a extensão da rede é a perda de inserção total – ou “orçamento óptico” - que não deve ultrapassar 28 dB para a tecnologia G-PON. A inclusão de conectores na rede, que acarretam uma perda equivalente a 1 km de cabo por conector, e o fator de divisão dos *splitters* – 1:32 ou 1:64, são os principais fatores que influenciam no “orçamento óptico” da rede. Tipicamente para a relação de divisão de 1:32 temos um raio de 20Km; para 1:64, um raio de 12Km; e para 1:128, um raio de 1,5Km.
- **Cenários:** para o projeto de uma rede de acesso GPON, três cenários podem ser considerados: ambiente horizontal, como por exemplo, um bairro residencial; edifícios

com até 5 andares e edifícios com mais de 15 andares. Para cada cenário há uma configuração de rede mais adequada. Para edifícios com mais de 15 andares, por exemplo, recomenda-se a instalação dos *splitters* numa caixa de distribuição interna ao prédio. Já em bairros residenciais (ambiente horizontal), os *splitters* são, geralmente, instalados nas caixas de emendas de derivação da rede primária.

- **Ambiente do Cliente:** uma grande parte dos ambientes residenciais e comerciais possui os dutos construídos com a finalidade da passagem de cabos metálicos. Os cabos ópticos requerem alguns cuidados especiais durante a passagem por estes dutos, pois estão sujeitos a danos mecânico, causados por dobras acentuadas, as quais acarretam na atenuação do nível de potência do sinal óptico. Também se faz necessária, a utilização de alguns materiais específicos para estes ambientes.
- **Escalabilidade:** a rede de acesso, assim como os equipamentos, nela instalados, devem ser projetados para crescer ao longo do tempo. Além dos dados mercadológicos, demanda e serviços, as soluções tecnológicas aplicadas a esta rede devem possibilitar o crescimento da rede sem grandes alterações na mesma.
- **Aspectos de Instalação, Manutenção e Operação:** todos os detalhes do projeto, desde a topologia da rede até os materiais utilizados, devem levar em consideração, além dos custos, os tempos envolvidos para a instalação, manutenção e operação desta rede. Esta rede deve proporcionar uma redução significativa dos custos operacionais em relação à rede de cabo metálico, já que redes PON não contem elementos ativos.

3.2 Etapas de um Projeto de PON

Após serem definidos os principais requisitos para a construção de acesso de uma rede PON, deve ser realizada a elaboração do projeto desta rede. Segundo (SCHWINGEL, 2009), as principais etapas para o projeto são:

- a) **Definição da área geográfica da Estação Central:** esta etapa consiste em determinar a melhor localização da Estação Central, levando-se em consideração tanto os aspectos econômicos envolvidos na implantação da rede em relação à central, e os aspectos técnicos, principalmente, respeitando a distância máxima da rede em função do “orçamento óptico”.

- b) **Definição das Seções de Serviços (SS):** Cada SS pode ser representada por um nó de controle. Podemos considerar, por exemplo, para uma PON, o dimensionamento de 300 usuários para os nós com caixas de emendas, e 700 usuários para nós com solução de atendimento com armários ópticos. A estes nós são ligados os cabos de distribuição ou rede secundária.
- c) **Definição da Rede Secundária:** a rede secundária deve ser restrita a uma SS. Os usuários são conectados a ela através das caixas de emendas de *drop*. Os cabos *drop* devem ter uma distância máxima de 150 metros. Distâncias maiores comprometem o tempo de instalação dos usuários.
- d) **Definição da Rede Primária:** nesta etapa devem-se construir as rotas que interligam os nós concentradores das SS, buscando sempre a melhor configuração de rede.

A rede óptica é constituída por uma rede de cabos ópticos, primário ou secundário, caixas ou armários de derivações, *splitters*, cabos drop, etc.

A rede primária é formada basicamente por cabos ópticos, caixas ou armários de distribuição, onde são alocados os *splitters*. Sua função na Rede PON é permitir que os dados oriundos de vários usuários possam ser trafegados em uma única fibra óptica. Para isso, os *splitters* desempenham um papel importante, “multiplexando” os sinais entre a OLT e os ONTs. Para acomodá-los, são utilizados dois métodos: em caixas de emendas ou em armários de distribuição. Em caixas de emendas, a conexão do *splitter* com as fibras ópticas dos cabos da rede primária ou rede secundária é feita através de “fusões”, utilizando equipamentos apropriados. A flexibilidade para a alteração da topologia da rede, neste caso, fica comprometida em função da necessidade de ter que “abrir” as emendas e refazê-las. Para o método de utilização de armários, nas extremidades dos *splitters* e fibras ópticas do cabo primário ou secundário, são instalados conectores que permitem maior flexibilidade da rede. Porém, este método tem um custo inicial maior que o anterior; sem falar que possui mais pontos de atenuações ao longo da rede, que para alguns casos, pode comprometer a distância máxima do enlace óptico; além de aumentar o custo operacional ao longo da vida útil da rede, em função da necessidade de fazer manutenção e limpeza nos conectores.

A topologia mais utilizada na rede primária é em dupla estrela. Podemos, por exemplo, utilizar um fator de divisão os *splitters* de 1:4 no primeiro estágio e 1:16 no segundo estágio, totalizando 1:64 – ou seja, uma fibra na OLT para 64 ONTs.

A rede secundária tem a função de conectar o nó terminal, ou usuário, à rede. É composta por cabos ópticos, caixas de emendas de *drop* ou NAP (*Network Access Point*), cabos *drop*, etc. O cabo óptico secundário é conectado aos *splitters* do segundo estágio da rede primária. Dele são derivados os cabos *drop*, que levam os serviços até o usuário. As caixas de emendas de *drop* podem ser pré-conectorizadas ou não. A diferença entre elas é que as caixas pré-conectorizadas facilitam a ligação do usuário na rede, porém o custo inicial de implantação desta solução é maior em comparação às caixas não pré-conectorizadas.

Após a definição da rede primária e secundária, o cabo óptico (aéreo ou subterrâneo) é lançado, são realizadas as emendas e os cabos são testados com o auxílio de um instrumento de medição denominado OTDR. Em seguida, são instalados os distribuidores de interfaces ópticas (DIOs ou FDFs) e os terminais; os quais são interligados aos splitters. Após todos esses procedimentos são instaladas a OLT, a ONT e as fibras drop. A figura a seguir ilustra o diagrama em blocos de um dos projetos pioneiros no Brasil. Trata-se do Condomínio Casas do Sauípe, localizado no Município Costa do Sauípe- Bahia, realizado pela empresa Furukawa.

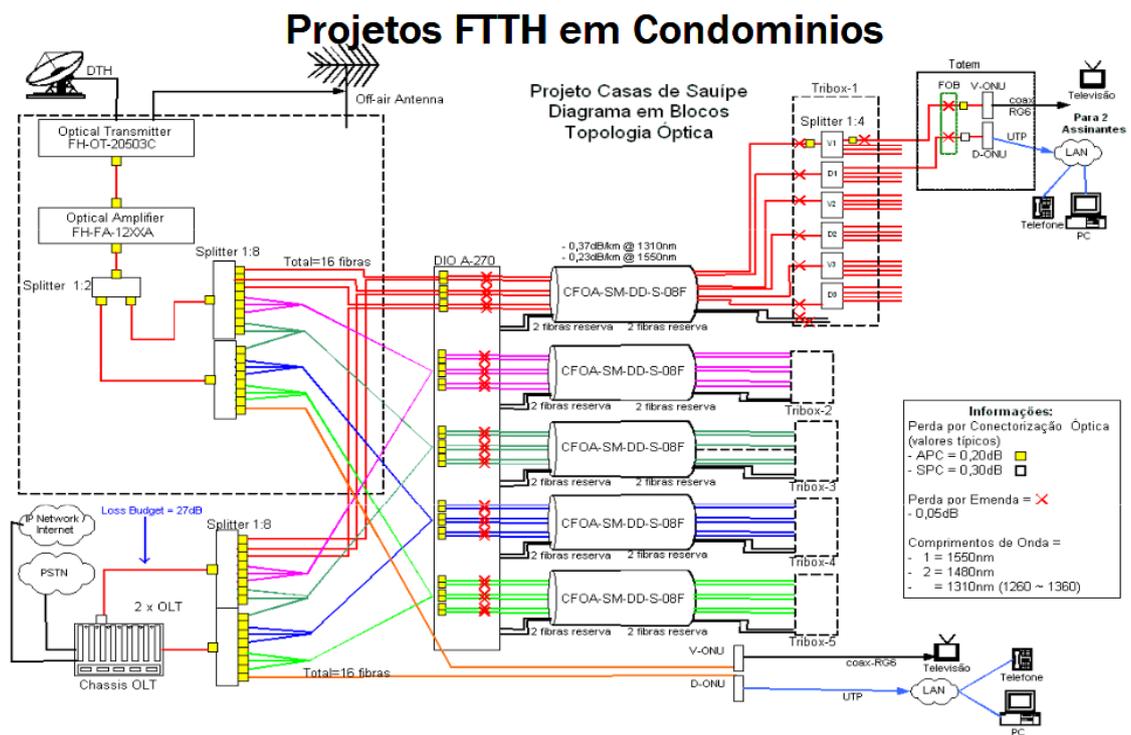


Figura 15: Diagrama em blocos de uma rede de acesso GPON
 Fonte: (Kawamura, 2012) Furukawa

4 CONFIGURAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A figura 16 ilustra resumidamente o funcionamento de uma rede GPON, assim como seus principais serviços. A seguir será apresentada a configuração dos equipamentos. Será utilizado como exemplo, equipamentos de fabricante Huawei por ser a marca utilizada na planta da Operadora de Telecom onde foram realizados os testes.

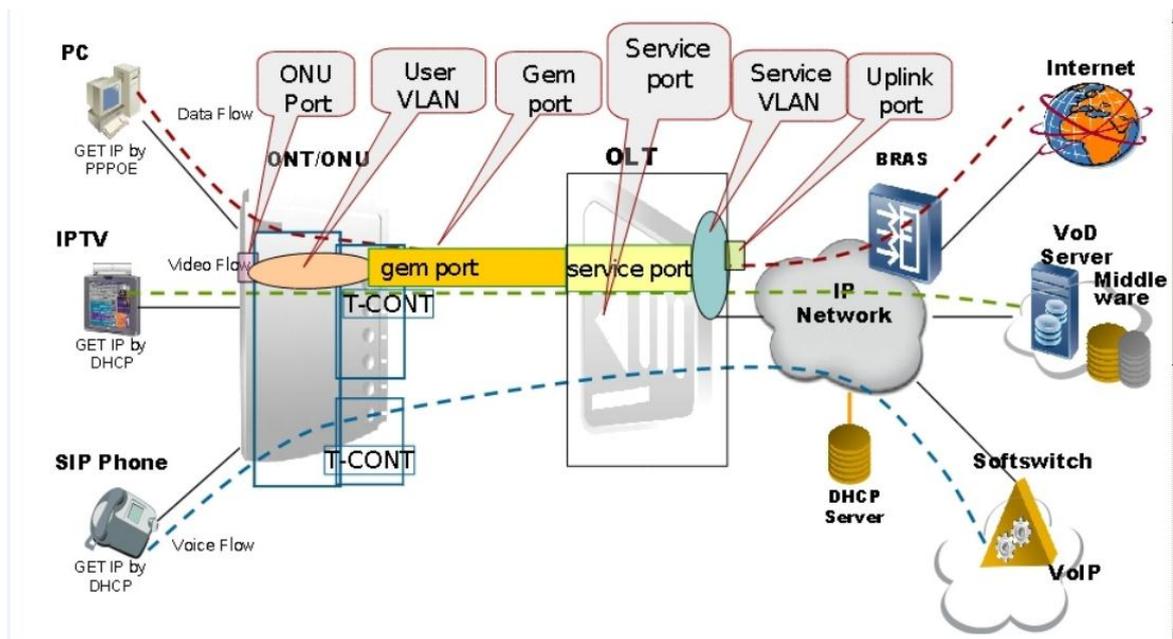


Figura 16: Resumo do funcionamento de uma rede GPON para serviços triple play
Fonte: Própria.

4.1 CONFIGURAÇÃO DA OLT

A OLT é equipada com vários slots físicos, que comportam vários módulos PON. Cada módulo possui oito portas PON e cada porta suporta até 128 ONTs sem cascadeamento, ou seja, 128 assinantes. A figura 17 apresenta uma OLT equipada com 2 entradas de alimentação, sendo que uma serve como redundância, 6 módulos GPBD iniciando no slot 0 e com o último módulo no slot 5. Sendo que utilizaremos posição 0/3/7, que significa frame 0; slot 3 e porta 7. Possui ainda 2 módulos SCUN de alta velocidade que são interligados ao roteador *core* da operadora. Esses módulos exercem também a função de controle dos demais módulos da OLT. E por último, 2 unidades X2CA responsáveis pela de sinalização entre a OLT e a ONT. A figura 16 apresenta uma OLT equipada com os módulos descritos anteriormente:

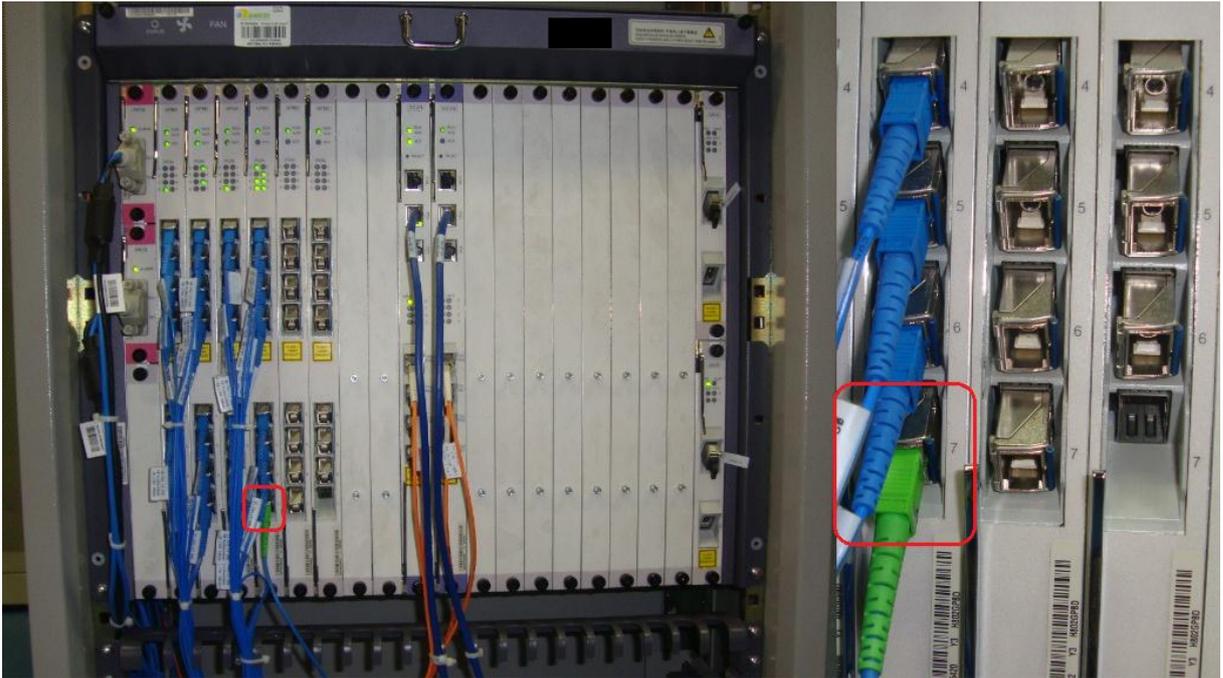


Figura 17: OLT Fabricante Huawei
Fonte: Própria

A OLT pode ser configurada através de linhas de comando CLI ou ainda por um software de gerência. A Huawei possui o elemento de gerência denominado U2000 e essa será a ferramenta que utilizaremos neste trabalho. Na figura 18 temos a tela do U2000. Como podemos perceber trata-se exatamente da OLT que utilizaremos em nosso ensaio:

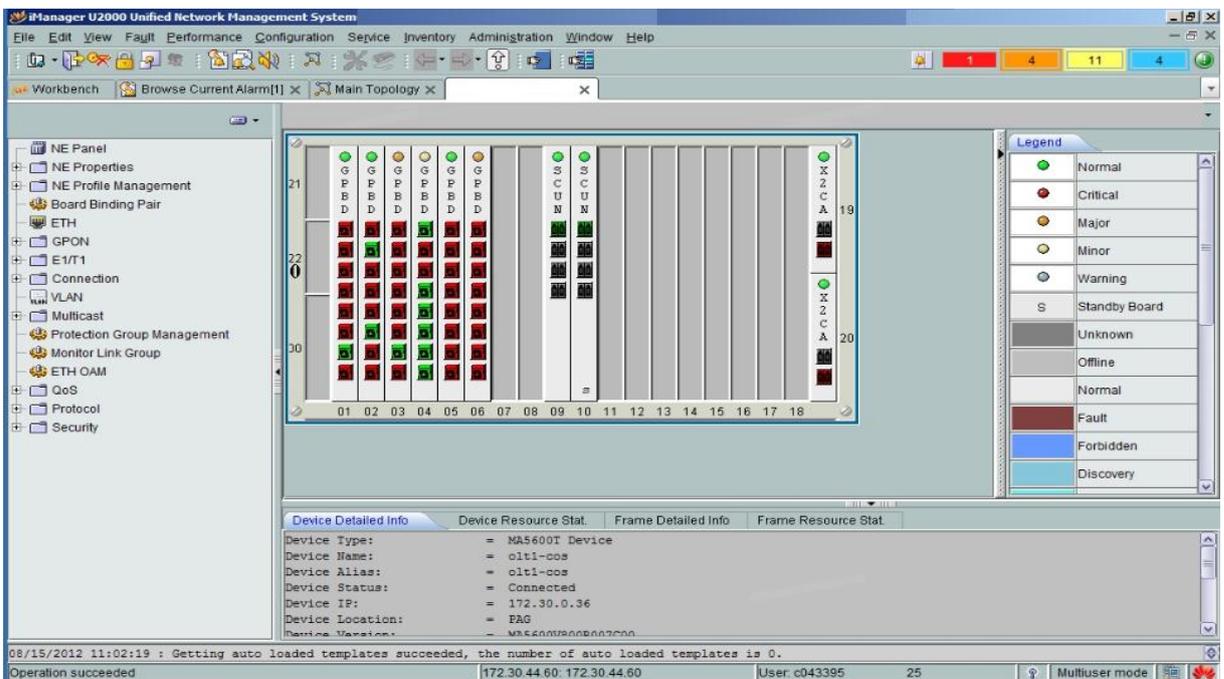


Figura 18: Interface gráfica do U2000
Fonte: Própria

Através do U2000 é possível realizar o provisionamento de circuitos. Para isso, precisamos primeiramente adicionar uma nova ONT, conforme o exemplo abaixo:

Figura 19: Adicionando uma ONU

Fonte: Própria

Após a configuração dos parâmetros acima, a ONU já está adicionada como um novo elemento da rede GPON. O próximo passo é configurar os serviços que serão oferecidos aos assinantes. Isso é feito através da aba *Service Port*. Na figura 19 ilustramos a tela de adição do serviço: Dados. Nesse caso, utilizaremos a vlan de dados para simular a comunicação entre dois telefones VOIP de uma Empresa Matriz e outra Filial. Foram destacados os três parâmetros mais importantes para entendermos o funcionamento do serviço na rede GPON. No lado direito, em *User Guide* temos o campo *Interface Selection* e *User Vlan*. No primeiro, devemos indicar a posição na qual estamos configurando o serviço. Nesse caso o serviço Dados foi configurado na posição 0/4/7/2/30 onde 0 é o primeiro sub-bastidor da OLT, 4 significa módulo GPBD 4 da OLT, 7 informa que deve ser configurado na porta número 7, como foi mostrado anteriormente na figura 16. O número 2 indica que essa é a terceira ONU adicionada na porta 7 das 128 possíveis, sendo que a primeira ONU é configurado na posição

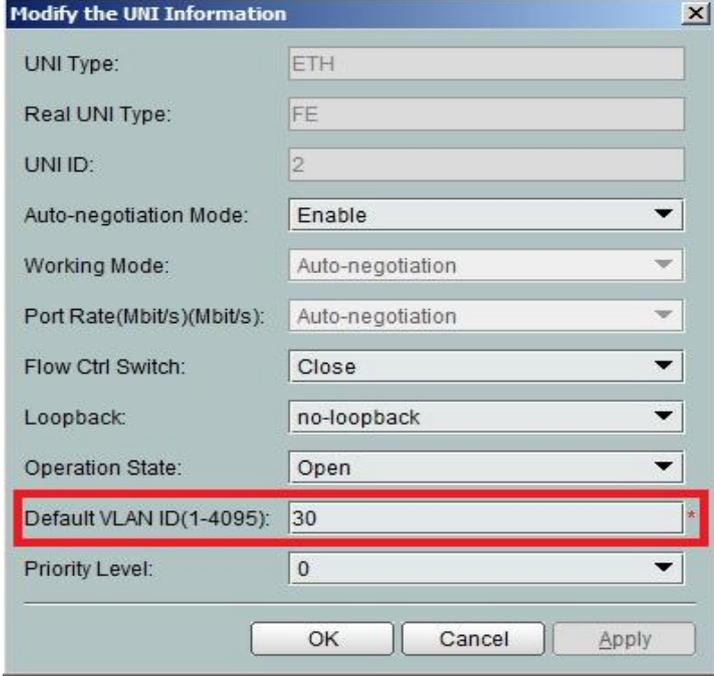
0 e a última na posição 128. E finalmente temos o número 30, o qual informa qual GEM PORT será fornecido ao assinante. Para a nossa demonstração o GEM PORT 10 representa o serviço de Internet, GEM PORT 20 = Vídeo e GEM PORT 30 para a vlan de dados. Poderíamos ainda fornecer outros serviços ao cliente, o que irá limitar a quantidade de serviços é o número de portas disponíveis na ONU instalada no cliente.

No campo User VLAN devemos indicar qual é a vlan que será entregue ao cliente. No nosso exemplo entregaremos a vlan 30 a qual convencionamos que será a vlan de dados do cliente.

Figura 20: Adicionando um serviço à ONU
Fonte: Própria

Ao lado esquerdo temos outro parâmetro muito importante. Trata-se do campo Vlan ID, e em nosso exemplo foi utilizada a Vlan 230. A OLT traduzirá essa vlan e ela se tornará vlan 30 que será entregue ao usuário final. Essa é também a Vlan que fará a interface com o roteador de borda da nuvem da operadora.

Após a configuração do *Service Port*, temos que informar qual será a vlan entregue na ONU e em qual interface será entregue o serviço. Na aba *Modify the UNI Information*, como mostra a figura 21, foi configurada a vlan 30, que será entregue ao assinante:



UNI Type:	ETH
Real UNI Type:	FE
UNI ID:	2
Auto-negotiation Mode:	Enable
Working Mode:	Auto-negotiation
Port Rate(Mbit/s)(Mbit/s):	Auto-negotiation
Flow Ctrl Switch:	Close
Loopback:	no-loopback
Operation State:	Open
Default VLAN ID(1-4095):	30 *
Priority Level:	0

Figura 21: Adicionando uma vlan à ONU
Fonte: Própria

Após serem configurados a ONU, o *Service Port* e já acrescentado em qual vlan será entregue na ONU do usuário, já podemos ter uma visão melhor desses parâmetros na Gerência U2000. Na figura 21 temos os detalhes do que já foi configurado até então. Percebemos o *status* do led em verde, o que indica que o serviço está funcionando corretamente na ONU. É possível observar também os detalhes dos parâmetros configurados anteriormente. Assim que uma ONU é adicionada, já ocorre a comunicação ente a OLT e ONU.

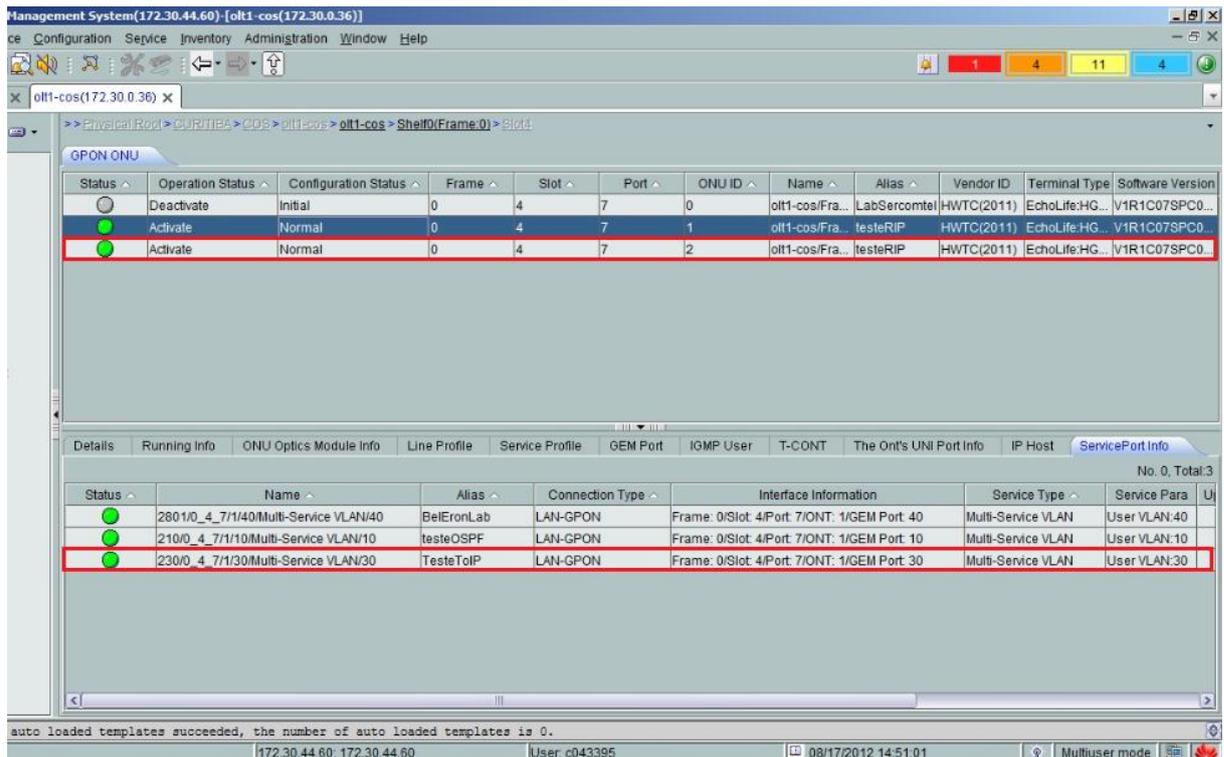


Figura 22 Visão Global dos Parâmetros configurados
Fonte: Própria

4.2 CONFIGURAÇÃO DA ONT

Como descrito anteriormente, A ONT é o equipamento instalado nas dependências do usuário final. Ela é responsável por converter os sinais de luz da fibra óptica para meio elétrico. Três larguras de onda são utilizadas para comunicação entre a OLT e as ONTs.

- 1310 nm voip/dados *UPSTREAM*
- 1490 nm voip/dados *DOWNSTREAM*
- 1550 nm video analógico RF

A ONU utilizada neste trabalho é a HG850a do fabricante Huawei

Podemos configurá-la tanto no modo *Bridge* (Layer 2) quanto *Router* (Layer 3)

Ela possui as seguintes características:

- Dois terminais voip
- 4 interfaces Fast Ethernet (ETH1,ETH2,ETH3,ETH4)
- Interface web de configuração
- Faz PPPoE, NAT.
- Não possui as funcionalidades: DMZ, Virtual-Server e port forward

A figura 23 ilustra mais detalhes da ONU HG850A

HG850a system description



Item	Description
Interface type	User network Interface : 4FE+2POTS; Optical interface: SC/APC
length/width/height	195mm×155mm×33mm
Fiber spooling	Nonsupport , support dust-proof protection for optical ports
Power supply	Power adapter input: 100~240 V AC, 50~60 Hz Power supply to the board: 11~14 V DC, 1A Backup battery: support
Power consumption	Maximum power consumption (including power adapter) < 10W Average power consumption (including power adapter) < 8 W
Working environment	Operating temperature: 0° C to 40° C Operating humidity: 5% to 95% (non-condensing)
Main features	Support 8 T-CONT, 32 GEM port Support mapping the traffic stream to the GEM port by VLAN / PRI / VLAN + PRI / IPTOS / Physical port Support 1024 MAC address entries, Support up to 255 multicast groups Support up to 2000 bytes of Ethernet frames Support simple routing function (PPPOE/DHCP Server/NAT/ALG) Support WEB, support OMCI protocol (Feb, 2008) , support provisioning voice and layer 3 services through OMCI Support the software dual-backup and rollback Support SIP, support H.248

Figura 23: Características da ONU modelo HG850a

Fonte: Própria

A configuração desta ONU deve obedecer aos seguintes passos:

4.2.1 CONFIGURAÇÃO DE SENHA DA HG850A

- Ligar a ONT com a fibra desconectada
- Conectar o computador em qualquer uma das portas da ONT
- Configurar o IP 192.168.100.2 máscara 255.255.255.0 no computador
- Conectar via browser no endereço 192.168.100.1
- login: root / senha: gpon

A ONU, uma vez adicionada (ou confirmada) na OLT, é gerenciada por esta última pelo canal de controle OMCI. Por este canal de controle, é possível enviar informações para configurar a WAN da ONT. É possível, por exemplo:

- Alterar o modo de obtenção de IP da WAN (IP fixo, DHCP, PPPoE);
- Alterar a VLAN da WAN;
- Habilitar o acesso remoto por meio de HTTP, TELNET ou SSH;
- Alterar o usuário e a senha padrão da ONT

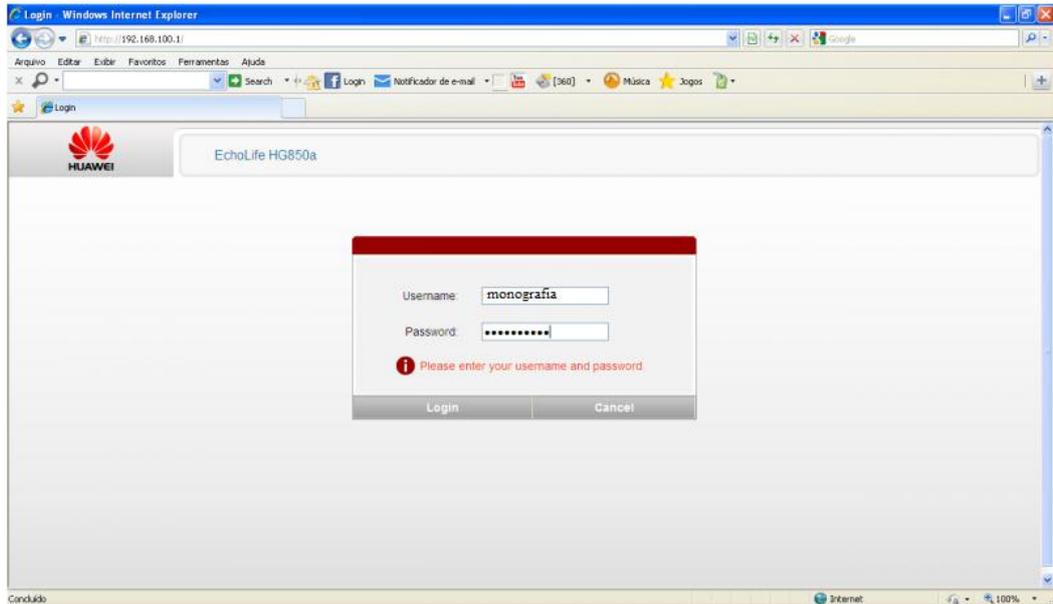


Figura 24: Tela de alteração de senha da ONU HG850A
Fonte: Própria

4.2.2 CONFIGURANDO A ONU NO MODO ROUTER

A configuração em modo roteador é a mais utilizada para acesso à internet, permitindo que o usuário tenha acesso à web, bastando conectar seu computador a uma porta de dados da ONT. Para executarmos esse modo de configuração devemos realizar os seguintes passos:

- Em BASIC → LAN → Layer 3 : Marque a porta que proverá INTERNET,

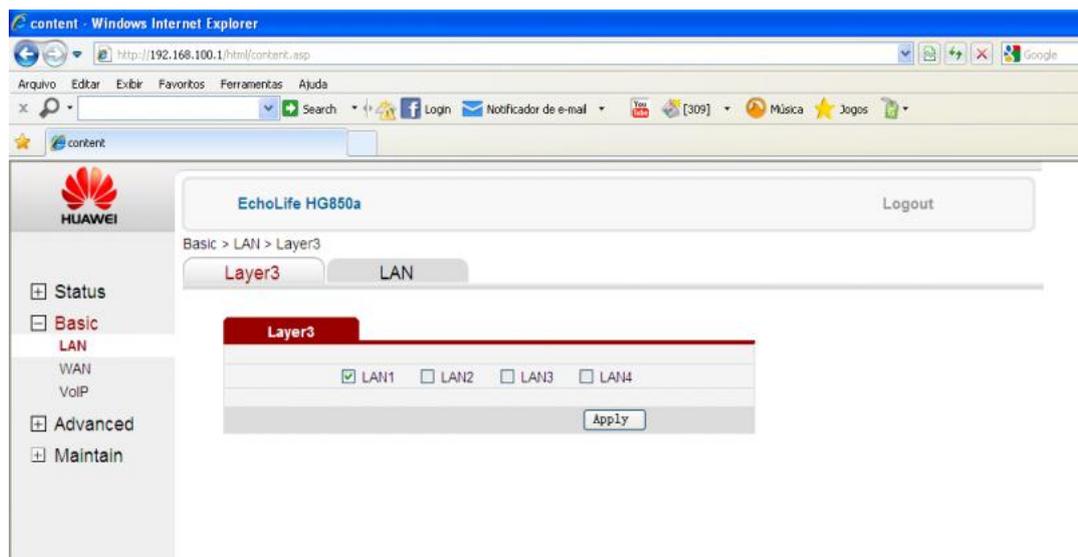


Figura 25: Selecionando a interface da HG850A que proverá o serviço de Internet
Fonte: Própria

- EM BASIC → WAN, realizar os seguintes procedimentos:

- Clicar em NEW
- Selecionar Service-List: INTERNET
- Marcar a opção "Enable"
- Informar a vlan do assinante: VLAN ID: 30.
- PGetMode: PPPoE
- NAT: Enable
- NAT Type: NAPT
- Username: monografia@gpon
- Password: monografia
- Bindingoptions: Selecione a interface, onde foi configurado o serviço.
- Clicar em "APPLY" e aguardar

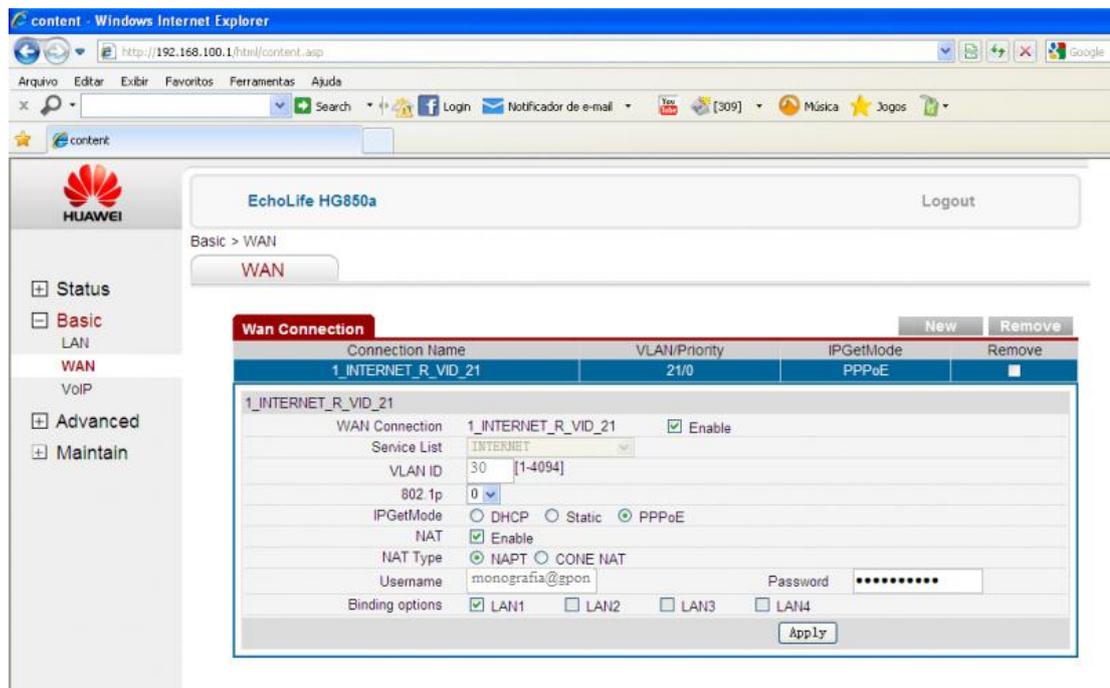


Figura 26: Configuração da WAN
Fonte: Própria

- Verificar se a ONT HG850 conseguiu conectar o PPPoE na opção STATUS → DEVICE → WAN , o status deve mostrar como “Connected”



Figura 27: Verificando o status da rede WAN

Fonte: Própria

- Para testar a disponibilidade do serviço, configure a sua placa de rede do computador para obter o endereço IP dinamicamente. Em seguida, conecte-se na interface ETH 1. Já é possível navegar pela Internet.

4.2.3 CONFIGURANDO A ONU EM MODO BRIDGE

Esse modo de operação geralmente é utilizado quando o assinante possui um roteador ou firewall que fará a conexão do PPPoE. Para que a ONU funcione em modo Bridge, basta acessar alterar para 0 o parâmetro Lan Type através da gerência U2000. É necessário ainda, retirar a WAN do VAS e clicar em OK.

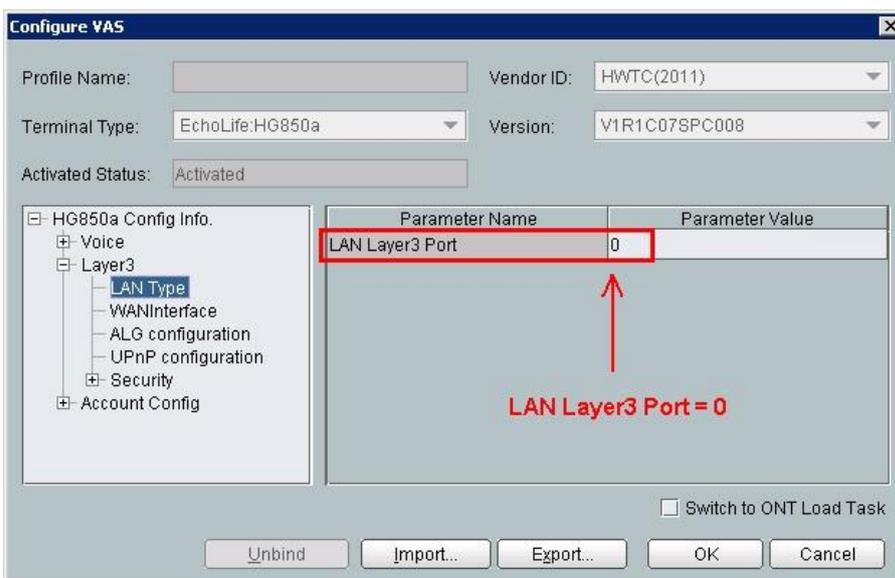


Figura 28: Alterando a ONU para trabalhar em modo Bridge

Fonte: Própria

4.2.4 CONFIGURANDO TOIP NA HG850A

A próxima configuração é a funcionalidade ToIP, utilizada em plataformas de telefonia IP.

- Em BASIC → WAN
 - Clique em NEW
 - Selecione "SERVICE LIST = VOIP"
 - VLAN ID = 30
 - IPGETMODE = DHCP ou STATIC, conforme o caso.
 - Marque o checkbox "Enable" !!!!
 - Clique em "APPLY"

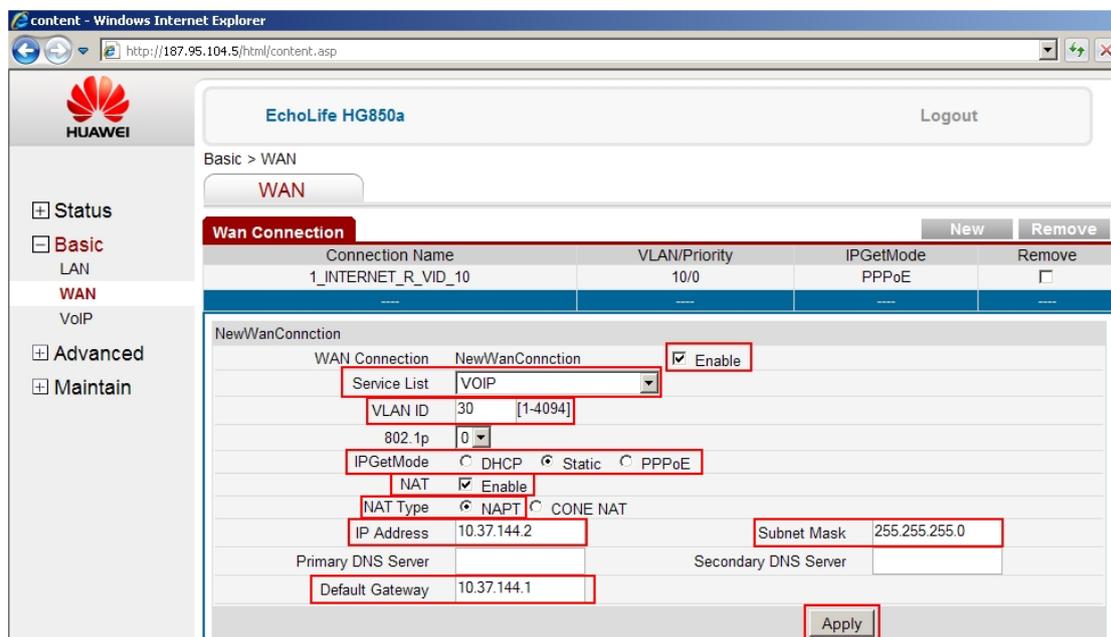


Figura 29: Configuração do serviço Toip, configuração da WAN
Fonte: Própria

- Em **ADVANCED** → **VOICE** → **VOICEADVANCED** selecione em **Region Settings = Brazil**

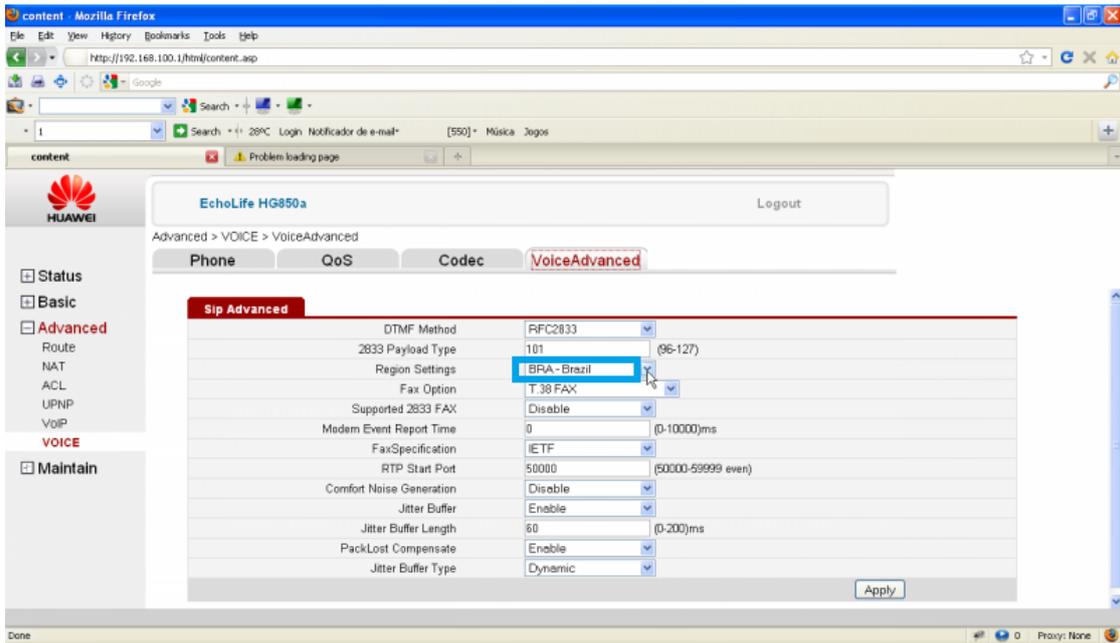


Figura 30: Alterando a região
Fonte: Própria

- Em **ADVANCED** → **VOICE** → **CODEC** Conforme figura abaixo:

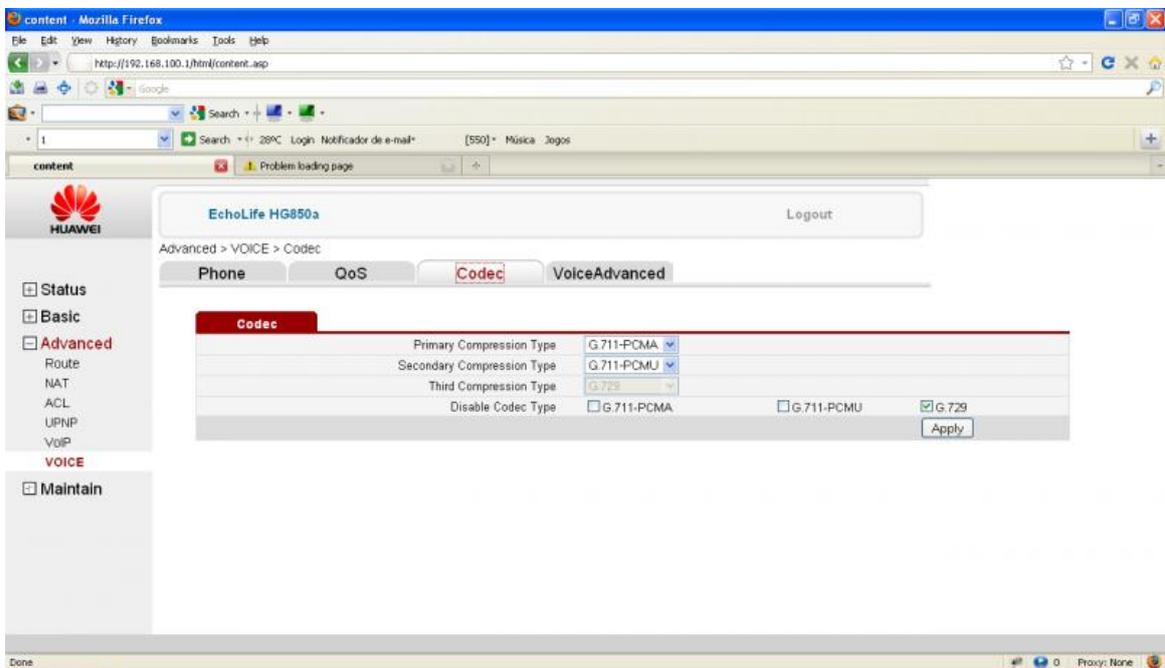


Figura 31: Configurando os CODECS
Fonte: Própria

- Em **BASIC** → **VOIP** clique em **NEW** para configurar um novo ramal:
 - Sip User
 - SIP ID: 120XXXX
 - Auth Username: C0001_120XXXX
 - Public Username: 120XXXX
 - Password: <senha voip>
 - Primary Server:
 - Register Server Address: 10.128.64.120
 - SIP Service Domain: voip-cta.copel.nt
 - Secondary Server:
 - Register Server Address: deixar em branco
 - SIP Service Domain: deixar em branco
 - Marcar o checkbox "Enable" !!!!
 - Clique APPLY

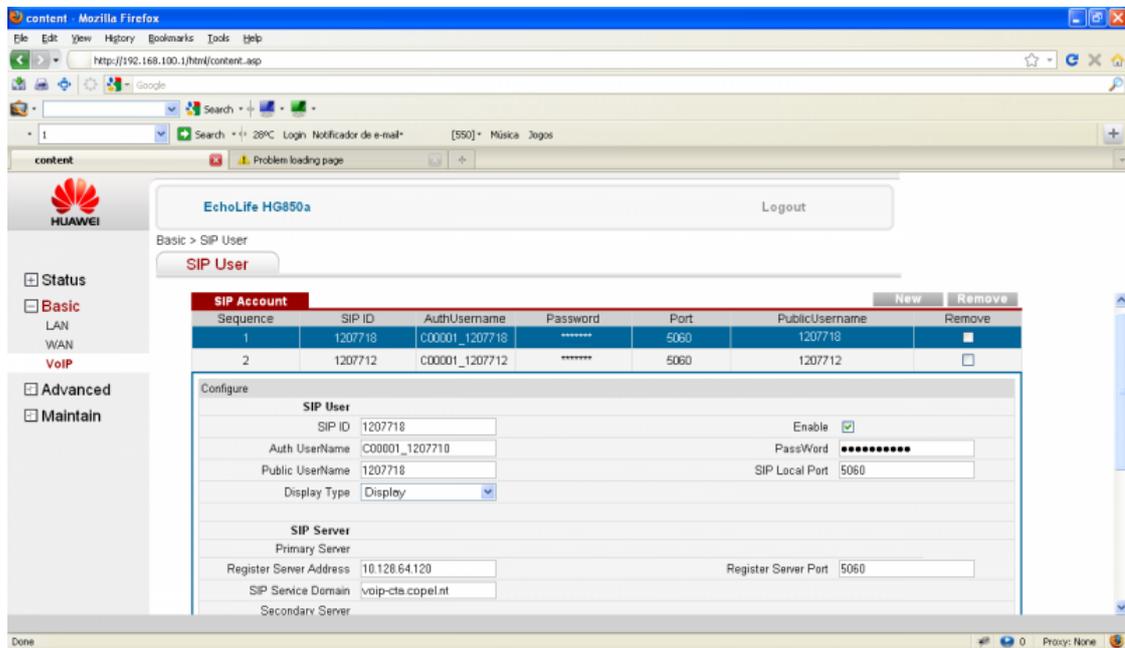


Figura 32: Configurando um novo ramal

Fonte: Própria

Obs.:Substituir XXXX pelo ramal

- Em **ADVANCED** → **VOIP** → **PORT**

Selecione a Inter Number 0 e marque o primeiro ramal em "Associated SIP ID"

Isso associa o primeiro ramal configurado na porta TEL1 da ONT

Selecione a Inter Number 1 e marque o segundo ramal em "Associated SIP ID", clique "APPLY"

Isso associa o segundo ramal configurado na porta TEL2 da ONT

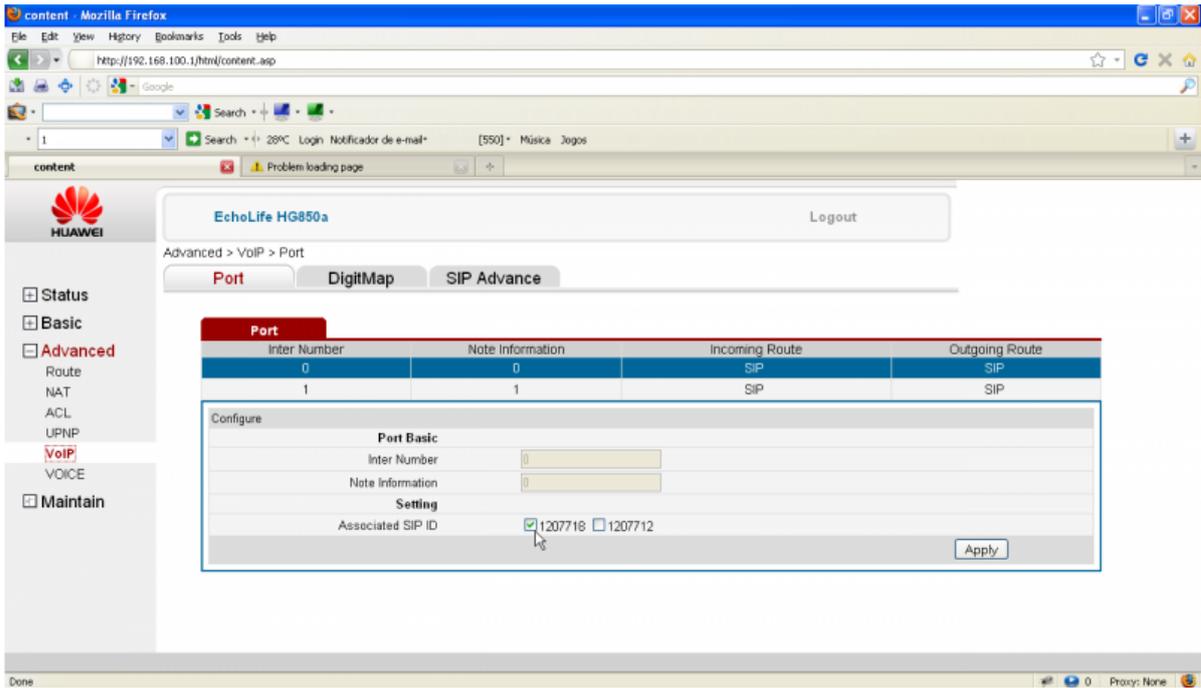


Figura 33: Associando um ramal na interface TEL1
Fonte: Própria

- Verifique em **STATUS** → **DEVICE** se a **VOIP_R_VID** está com **STATUS** “Connected”

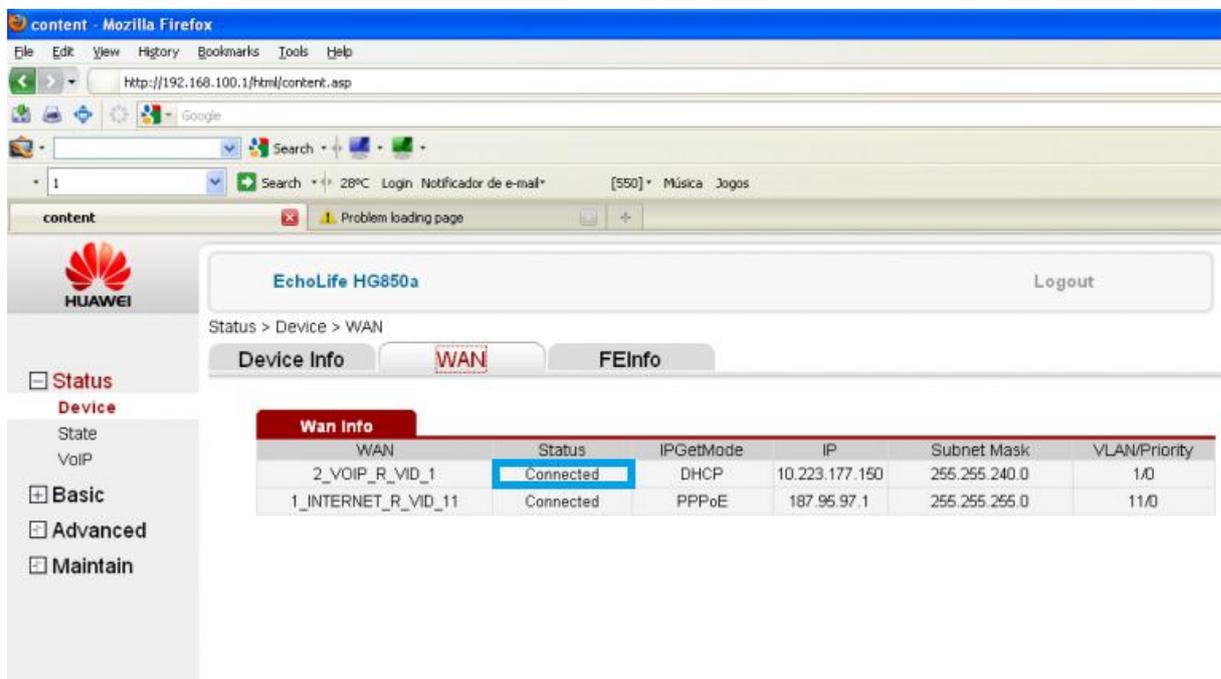


Figura 34: Verificando o Status do ramal voip
Fonte: Própria

- Verifique em **STATUS** → **VOIP** o ramal deve estar como “Registered”

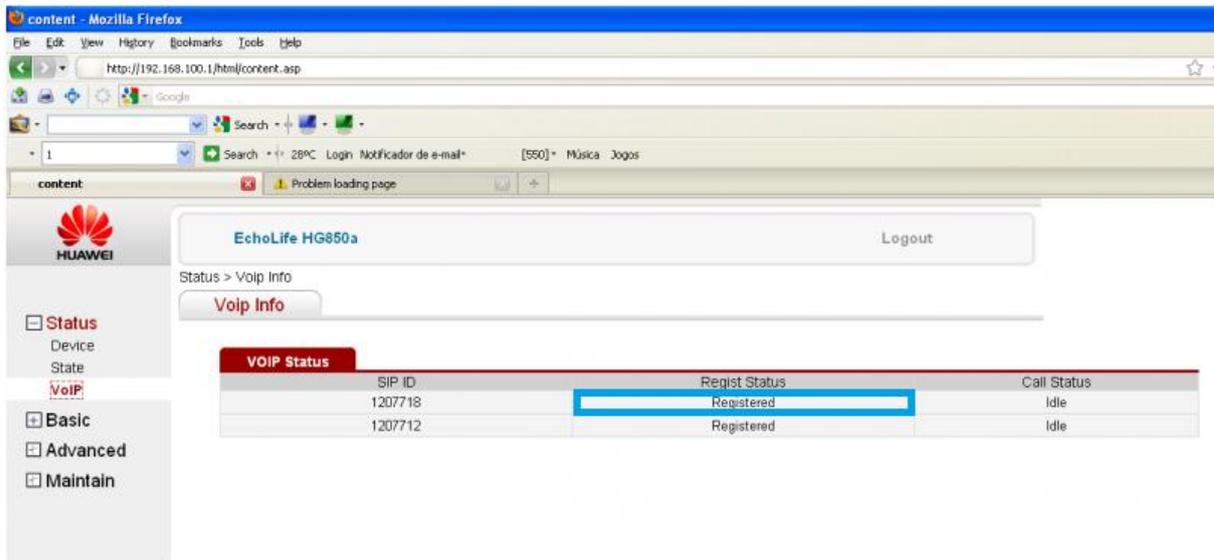


Figura 35: Verificando o se o ramal voip foi registrado corretamente
Fonte: Própria

4.2.5 CONFIGURANDO A ONU REMOTAMENTE

A ONT, uma vez adicionada e identificada na OLT, é gerenciada por esta última pelo canal de controle OMCI. Por este canal de controle, é possível enviar informações para configurar a WAN da ONT. Assim é possível configurar a ONU remotamente. Para isso se faz necessário configurar os seguintes parâmetros:

- Menu VAS (Value-Added Service)

Em “GPON ONU”, procurar as ONTs ativas (“Find”), selecionar a linha da ONT a ser trabalhada e clicar com o botão direito para abrir o menu que contém a opção **Configure Value-Added Service**:

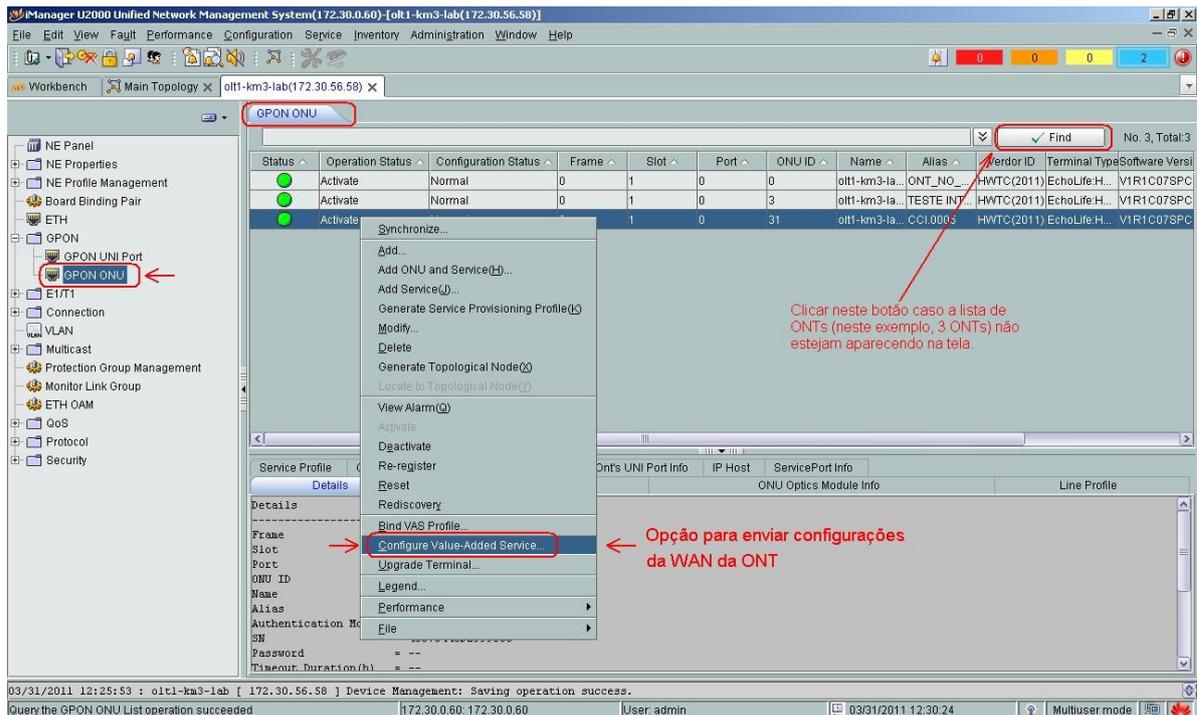


Figura 36: Procurando uma ONU pela gerência U2000 e configurando o parâmetro VAS
Fonte: Própria

- Voice ---> Country code and signaling protocol

Ainda que não esteja configurado o serviço de Telefonia na ONU, deve-se alterar o seguinte parâmetro: na configuração de **Voice** —> **Country code and signaling protocol**: O padrão que o U2000 sugere é: Country: United Arab Emirates e Signal Protocol: MGCP. Isto faz com que o envio da possa falhar. Por isso, este parâmetro deve ser alterado para: **Country: Brazil e Signal Protocol: SIP.**

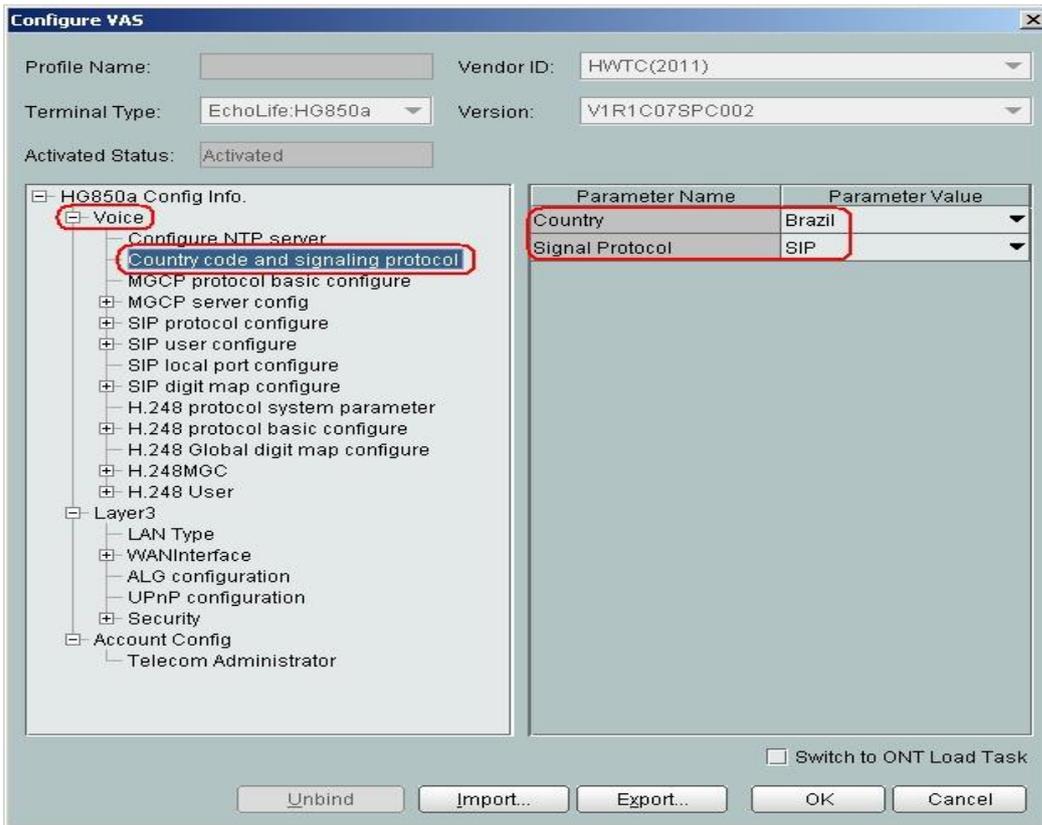


Figura 37: Alterando o parâmetro Country Code and signaling protocol
Fonte: Própria

- Layer3 LAN Type

O parâmetro **BINDPORT** deve ser igual ao **LANTYPE (LAN Layer3 Port)**, caso contrário pode ocorrer uma falha no envio da configuração! Ambos indicam quais portas LAN 1 até LAN 4 da ONT serão habilitadas para o NAT. O valor a ser colocado é o correspondente à tabela binária apresentada a seguir, onde o bit “1” indica que a porta ficará selecionada na interface gráfica e “0” não ficará selecionada.

LANTYPE BINDPORT	LAN 4	LAN 3	LAN 2	LAN 1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Tabela 2: Habilitando as interfaces LANs onde os serviços serão configurados
Fonte: Própria

Ex.: se quisermos habilitar apenas a porta LAN 1 (nosso padrão), o valor em binário é 0001, ou seja: LANTYPE (LAN Layer3 Port) = BINDPORT = 1.

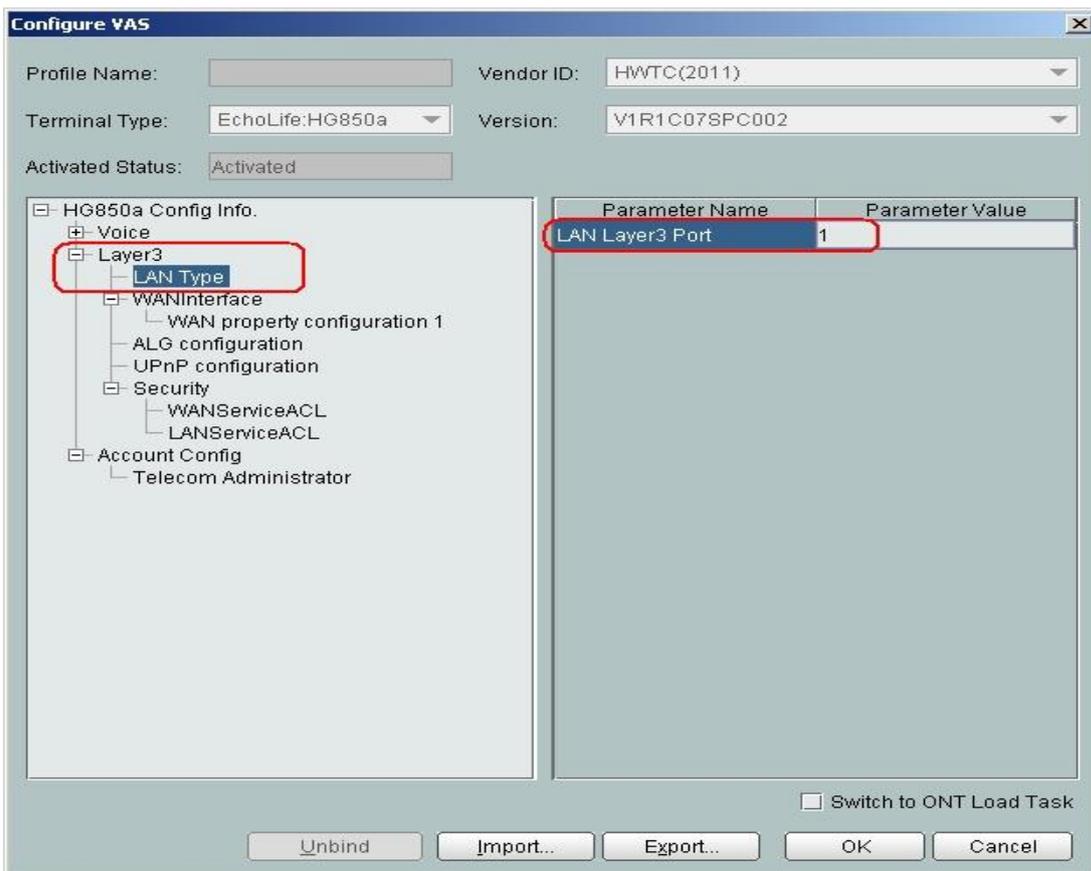


Figura 38: Alterando o parâmetro LAN Layer3 LAN TYPE
Fonte: Própria

- Adicionar e configurar uma WAN

Em WAN Interface, clicar com o botão direito para adicionar uma WAN:

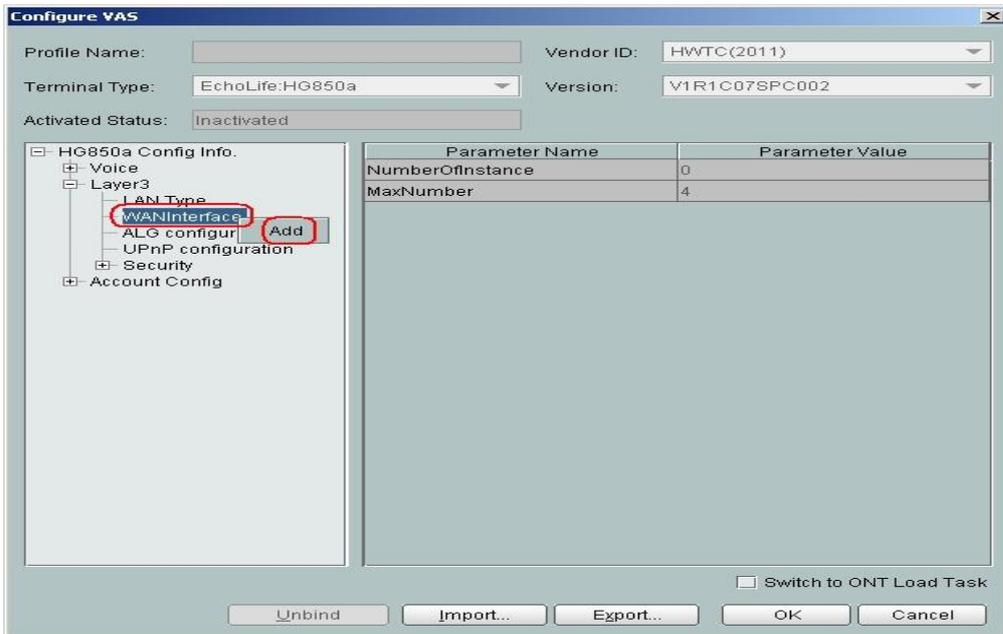


Figura 39: Adicionando uma nova WAN
Fonte: Própria

Na tela de configuração da nova WAN, configurá-la de forma similar ao exemplo indicado na figura a seguir

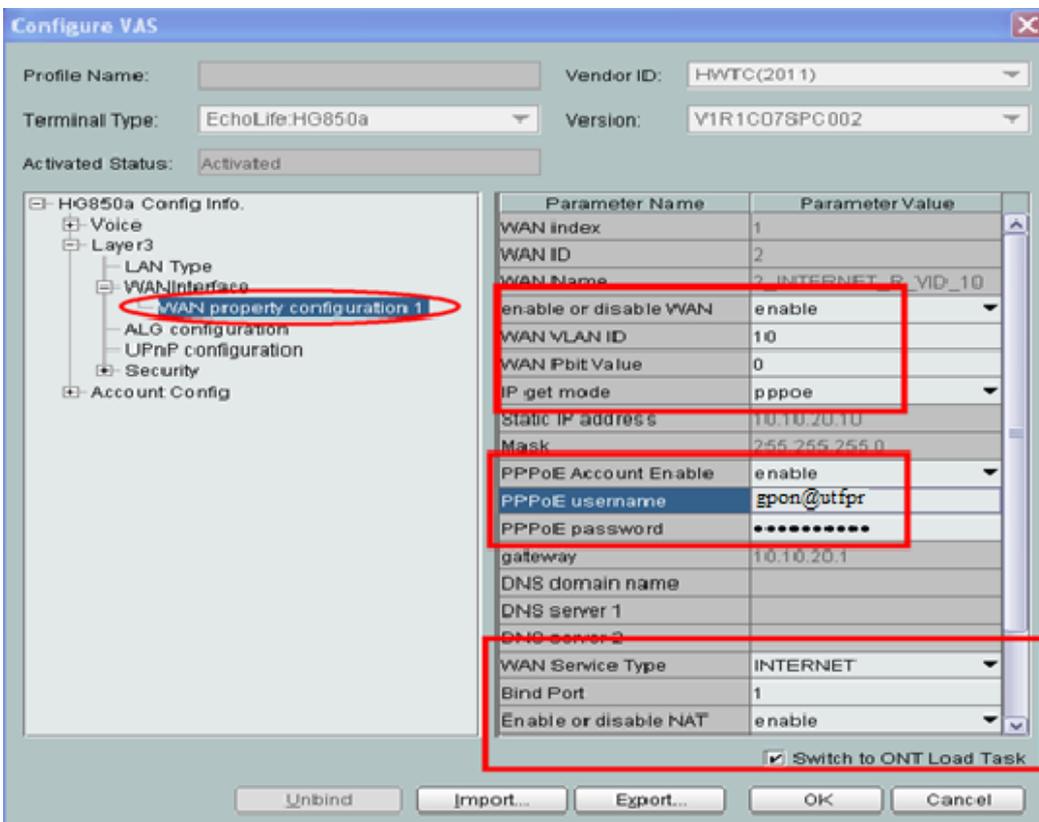


Figura 40: Configuração dos parâmetros VAS da WAN
Fonte: Própria

Alterar a porta do ALG (Application Level Gateway) para 60000 a fim de evitar problemas com telefones IP conectados na internet pelo BEL.

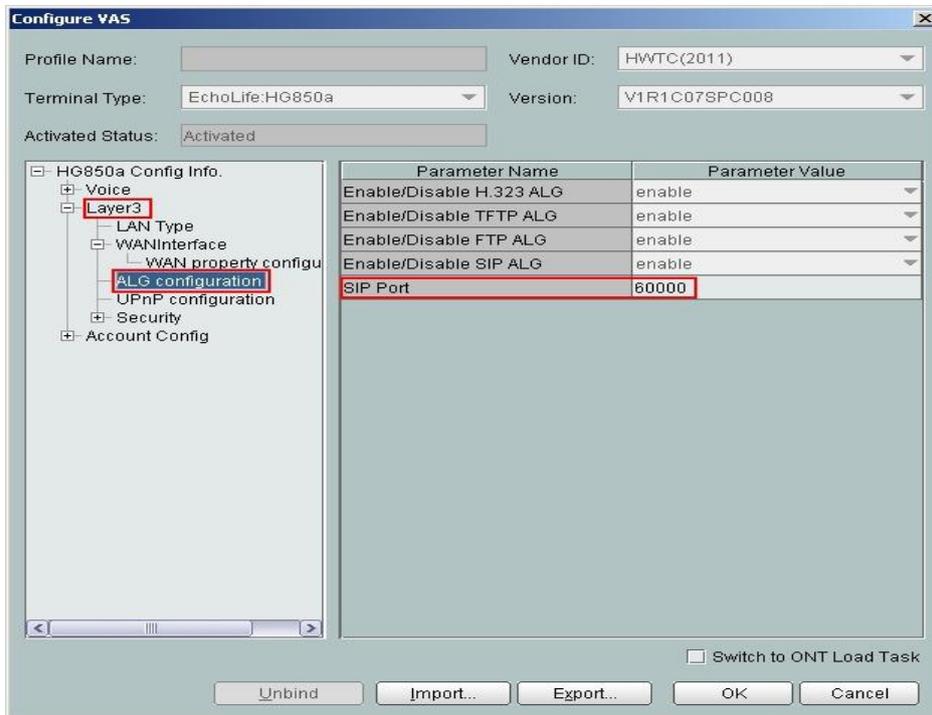


Figura 41: Alterando o parâmetro ALG
Fonte: Própria

- Habilitando o UPnP

Habilitar a funcionalidade UPnP (Universal Plug-and-Play) que permite abrir portas externas automaticamente por aplicações como torrent, jogos, etc..

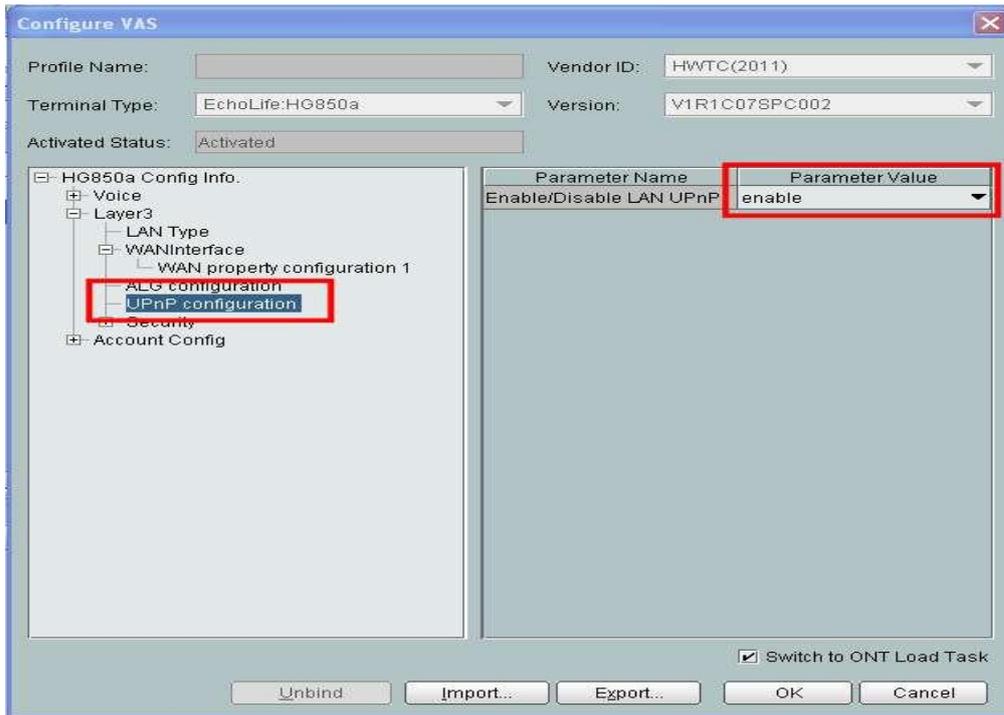


Figura 42: Habilitando a funcionalidade UPnp
Fonte: Própria

- **Alterar a senha padrão da ONU**

Alterar o usuário e a senha padrão da ONU (usaremos admin e 0...k):

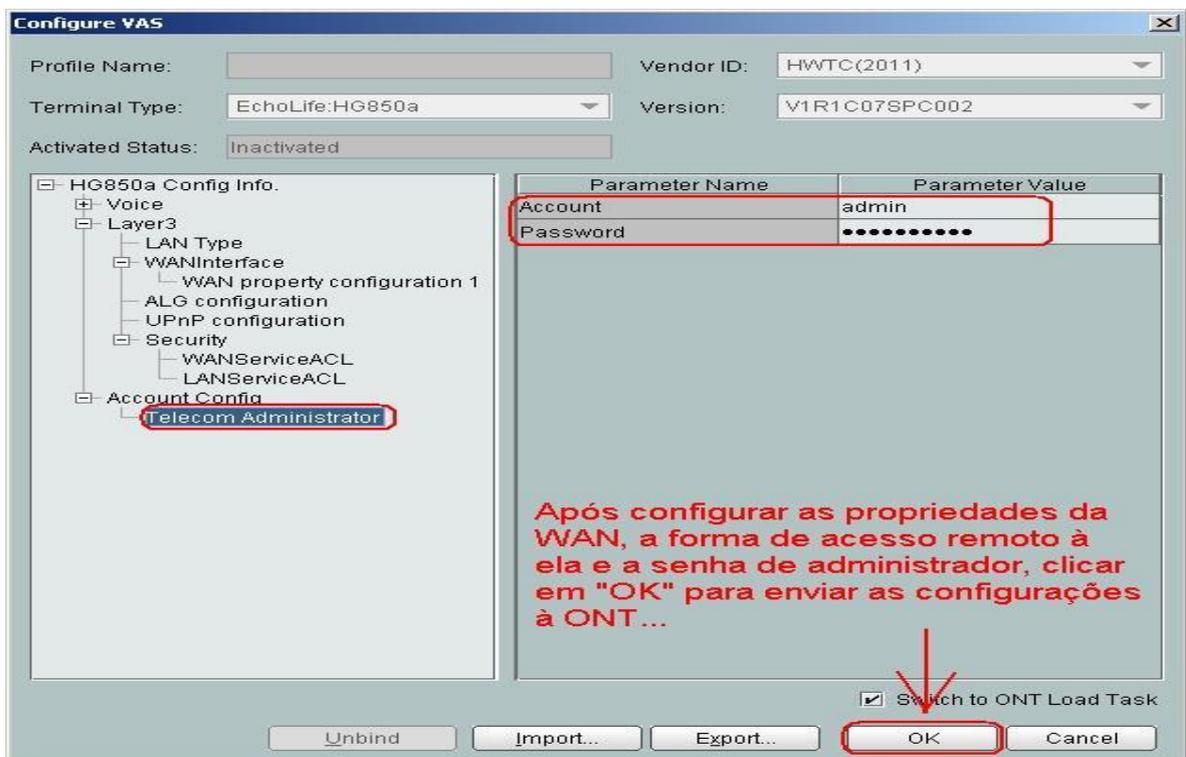


Figura 43: Alterando a senha padrão da ONU
Fonte: Própria

4.3 CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR DA OPERADORA

O roteador da operadora tem como função prover a comunicação de diferentes redes de seus clientes. Ele é o equipamento onde são entroncados os links de uplink da OLT. Na figura 44 ilustramos a configuração a ser realizada no roteador da operadora para atender nosso serviço de dados para uma rede VOIP.

```
#
interface Eth-Trunk2.230
  vlan-type dot1q 230
  description "Vlan de Dados - Monografia GPON"
  bandwidth 1
  ip binding vpn-instance vpn00001
  ip address 10.248.96.1 255.255.240.0
  ip relay address 10.4.4.1
  dhcp select relay
  qos car cir 1000 cbs 187000 pbs 0 green pass red discard inbound
  qos car cir 1000 cbs 187000 pbs 0 green pass red discard outbound
  statistic enable
#
```

Figura 44: Configuração do circuito de dados no roteador da operadora
Fonte: Própria

O roteador utilizado é modelo NE40 do fabricante Huawei.

A interface física utilizada para realizarmos os testes é a interface Eth-Trunk2. Trata-se de uma interface óptica e está diretamente conectada à OLT, através de um cordão óptico. Escolhemos a subinterface 230 para facilitar a associação com a ONT que utiliza a vlan 230. Para criarmos e entrarmos no modo de configuração da subinterface 230, basta aplicarmos a o *comando interface Eth-Trunk2.230*

O tipo de vlan utilizada é *vlan-type dot1q 230*.

Uma descrição na interface nos permite uma fácil identificação do nosso circuito, já que milhares de outros circuitos são configurados em um roteador de *core* da operadora. Por isso, através do comando *description* inserimos a seguinte descrição: "Vlan de Dados - Monografia GPON".

Pelo comando *bandwidth* é possível nomear a banda da interface. Colocamos *bandwidth 1* para informar que a banda de dados em questão é de 1Mbps. Esse atributo pode ser utilizado para em conjunto com ferramentas de verificação de gráficos de consumo de banda, como por exemplo, o aplicativo *cacti*.

Optamos por uma rede de alta segurança, com criptografia e autenticação. Por isso nossa rede fará parte de uma Virtual Private Network (VPN). Para associarmos a subinterface

a uma vpn, utilizamos comando *ip binding vpn-instance* vpn00001 onde vpn00001 é nome da nossa VPN.

A Rede LAN configurada é 10.248.96.0/20, Essa rede possui a máscara 255.255.240.0 e por isso contempla os endereços válidos de IP do intervalo 10.248.96.1 a 10.248.111.254. Foi escolhido como gateway default o IP 10.248.96.1.

Foi configurado também um servidor DHCP para fornecer endereços IPs para a rede LAN. O comando realizado para isso é o *ip relay address* 10.4.4.1 e *dhcp select relay* onde 10.4.4.1 é endereço do servidor.

A banda é limitada em 1Mbps através de um filtro criado no roteador. Temos então os comandos *qos car cir 1000 cbs 187000 pbs 0 green pass red discard inbound* que são responsáveis por filtrar os pacotes entrantes e também os pacotes saíntes limitando-os a uma taxa de 1000 kbps, ou seja 1Mbps.

O comando *statistic enable* habilita a interface para controle de estatísticas. Assim é possível monitorar, por exemplo, o status da interface (down ou up). É possível também a verificação de tráfego e ainda monitoração de alarmes e taxas de erros.

5 TESTES COM SERVIÇOS TRIPLE PLAY NA REDE GPON

Os testes realizados em laboratório tiveram como objetivo, simular o funcionamento dos principais serviços oferecidos por uma rede *tripleplay*, ou seja: dados, vídeo e voz, conforme a figura a seguir:

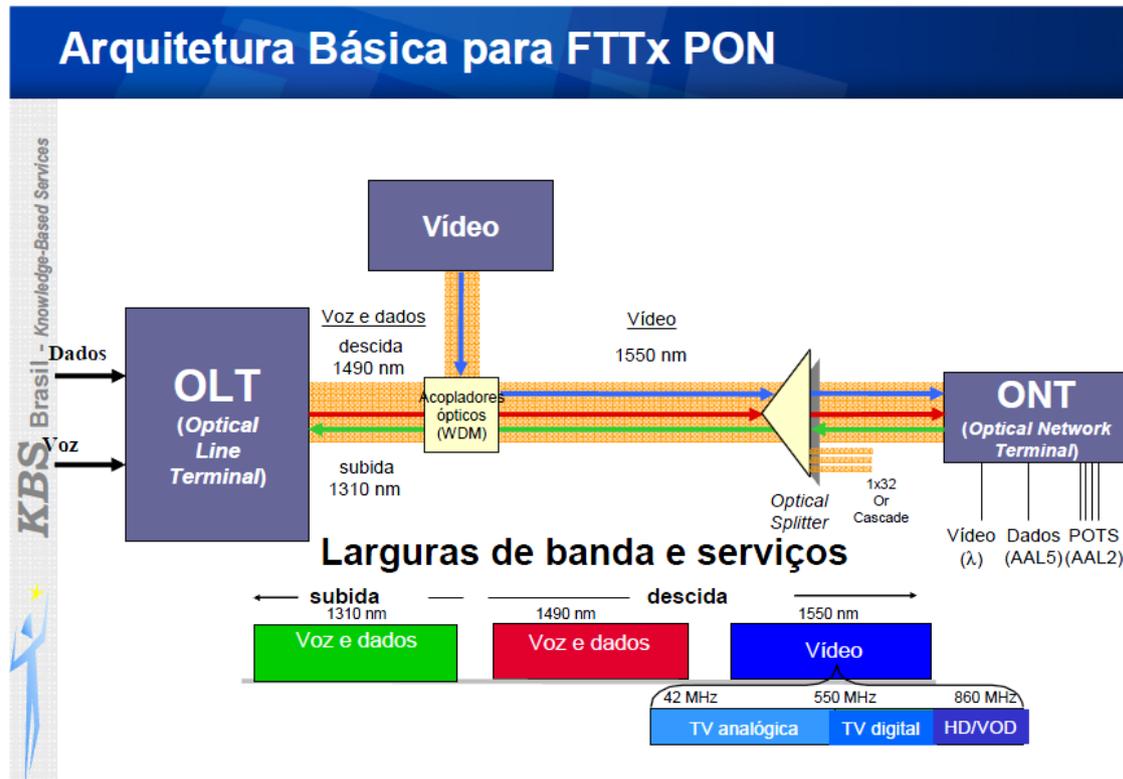


Figura 45: Exemplo de arquitetura GPON
Fonte: (Fibra do Loop Local - KBS Brasil, 2008)

Os testes foram realizados utilizando 2 ONUs HG5850A. Elas se comunicam entre si, através dos demais equipamentos de rede GPON. Para cada interface da ONT foram configurados os seguintes serviços

- LAN 1 - Link ponto-a-ponto
- LAN 2 - Redes de dados simulando a comunicação de 2 aparelhos voip
- LAN 3 - Internet
- LAN 4 - Reservado para serviço futuro
- TEL 1 - Simulação de Canal de comunicação entre telefones analógicos
- TEL 2 – Reservado para serviço de telefonia futuro

A interligação física entre as ONTs acontece através de um cordão óptico que sai da porta 0/3/7 da OLT, conforme mostrado anteriormente na figura 16. Essa fibra chega até um *Splitter* Óptico que irá “distribuir” os canais de comunicação de cada ONT em fibras ópticas

independentes. A partir do splitter cada uma dessas fibras chega às interfaces de uplink das ONTs A e B. Na interface LAN 1 foi configurado um link ponto-a-ponto de camada 2, com uma banda de 100Mbps. Nesse canal, simulamos a transmissão de vídeo utilizando o aplicativo VLC sendo transmitido nos notebooks conforme a figura 22. Na interface LAN 2 foi configurado o serviço de dados. A configuração do roteador foi apresentada na figura 21. Para esse serviço foi configurado um pool de DHCP com o range 10.248.97.0/24 Os aparelhos utilizados para testes são do fabricante Grand Stream. A configuração dos ramais foi feito em uma plataforma Voip do fabricante NEC, mas não será abordada nesse trabalho. Na ONT A foi configurado o ramal 1249000 e foi adquirido o IP 10.248.97.100. Já na ONT B foi configurado o ramal 1207818 e IP 10.248.97.103. Para a LAN 3, está configurado o serviço de Internet. A figura 22 mostra a página da UTFPR sendo acessada através desse serviço. A LAN 4, não possui nenhum circuito configurado, mas ficaria disponibilizada para algum outro serviço adicional que a empresa possa vir a utilizar. Seria possível, por exemplo, utilizar essa interface para interligar outra ONT através de um “cascadeamento”. A ONU possui ainda 2 interfaces POTs para serem utilizadas em Telefonia analógica. Na primeira delas, TEL 1 conectamos um aparelho telefônico para simular um canal analógico entre as 2 ONTS. A interface TEL 2, assim como a última interface de dados, ficou disponível para uso futuro. Assim foram apresentadas, algumas das várias possibilidades que a tecnologia GPON tem a oferecer.

O cenário dos testes realizados é apresentado na figura 46:

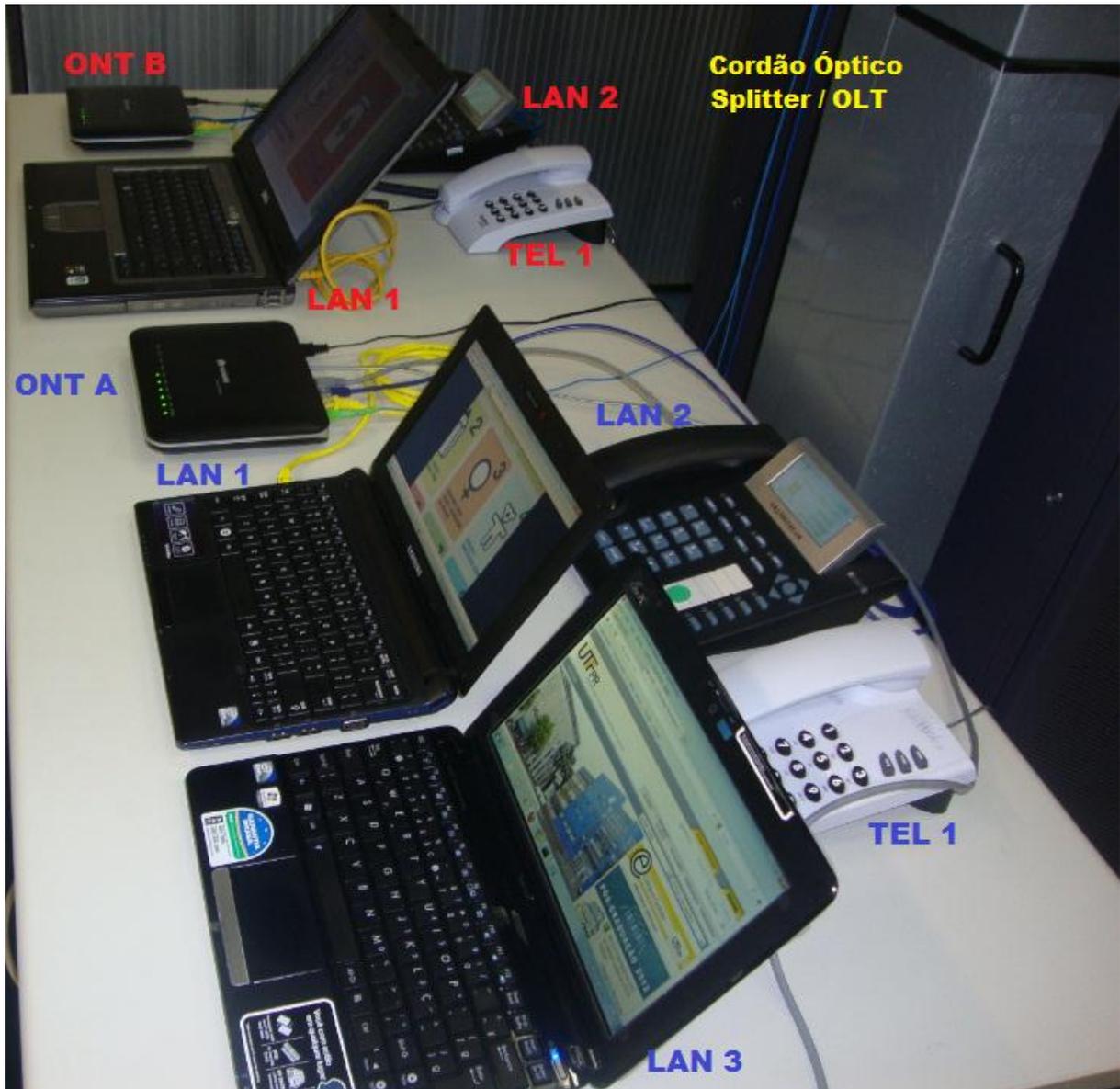


Figura 46: Testes realizados com serviços triple play em uma rede GPON
Fonte: Própria

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REDE GPON

O objetivo deste trabalho foi descrever a funcionalidade de uma rede de acesso FTTH GPON, descrevendo seus principais equipamentos e explicando como os mesmos são configurados. Os resultados atingidos através de testes práticos, realizados em laboratório, comprovaram alguns dos vários benefícios que são possíveis ao se usufruir de uma rede GPON. Por isso, tanto o objetivo geral quanto o específico foram alcançados conforme a proposta inicial desta monografia

Redes FTTx PON com arquiteturas oferecem uma ótima oportunidade de amenizar o problema de largura de banda nas redes de acesso. Por possuir uma melhor relação custo benefício em relação às outras tecnologias de redes de acesso, muitas operadoras e fornecedores de conteúdo aproveitam as inúmeras possibilidades oferecidas pela tecnologia GPON. Desta forma é possível oferecer novos serviços de valor agregado aos seus clientes, tais como os serviços *triple play*, que trafegam compartilhando um mesmo meio físico da rede de acesso e são entregues em um único equipamento (ONU), ao assinante final.

Entretanto, a implantação e manutenção de arquiteturas PON apresentam alguns desafios significativos para os prestadores de serviços. Por exemplo, a presença do divisor de sinal óptico (*splitter*), é uma complicação a mais na realização dos testes da rede, em comparação a uma rede dedicada, já que não há um caminho óptico dedicado entre o CO e o assinante. Superar os desafios de testes de manutenção é fundamental para oferecer um serviço de alto desempenho, confiabilidade e baixo custo aos clientes.

REFÊRENCIAS

EFFENBERGER F.J, ICHIBANGASE H. & YAMASHITA H. **Advances in Broadband Passive Optical Networking Technologies**. IEEE Communications Magazine, Dec. 2001, pp. 118.124.

FLEXLIGHT NETWORKS, G-PON - **The Next Big Thing in Optical Access Networks, A Comparison Between E-PON, APON and the emerging G-PON Technology**., www.flexlight-networks.com, Sept. 2002.

FONTES, Bruno Marins. **Redes ópticas passivas: novo conceito nas redes de acesso**. 2008. 46 f.: Monografia (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores, Curitiba, 2008.

HUAWEI TECHNOLOGIES. **Introduction to FTTH Technology**. White Paper. Campinas, Brasil, 2010.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION (ITU-T). **Recomendação ITU-T G.984.1 - GPON: General Characteristics, 2008**. Disponível em: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=G>>. Acesso em: 05 Mai. 2012.

LALUKKA, Sami & RAATIKAINEN, Pertti. **Passive Optical Networks Transport Concepts**. VTT Publications 597.123 p. Espoo 2006

LIN, Chinlon. **Broadband optical access networks and fiber-to-the-home: systems technologies and deployment strategies**. Wiley, 302p. Janeiro, 2006.

NEVES, Thiago Francelino. **Estudo de caso: Implantação de fibra óptica na rede Backhaul de uma operadora móvel em Curitiba utilizando FTTH GPON**
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção de grau no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, 2011.

PESSOA, Marcos de Lacerda. **Projeto BEL: a Copel Telecomunicações pensada estrategicamente, em equipe**. Artigo de Dmitruk, Bruno, cap 18, p.179
COPEL, 2009

PESSOA, Marcos de Lacerda. **Projeto BEL: a Copel Telecomunicações pensada estrategicamente, em equipe**. Artigo de Schwingel, Alceu Aroldo, cap 19, p.195
COPEL, 2009