

Avaliação de Desempenho da XG-PON considerando o Atraso de Propagação e Taxa de Transferência de dados

Marcelo R. Melo¹, Ênio L. V. Barbosa¹, José Valdemir R. Junior¹

¹Departamento de Computação - Universidade Federal do Piauí(UFPI)
Teresina-PI-Brasil.

marceloramosmelo@hotmail.com

Abstract. *This paper presents a performance analysis of the XG-PON network, considering the individual transfer rate of each ONU (Optical Distribution Network) and the delay of propagation. Simulations were performed to evaluate the average network delay, considering the transmission from the client to the server and from the server to the client, as well as the average transmission rate according to the number of ONUs. The simulations were done using the NS-3 (Network Simulator - version 3) tool. In addition, the PTM (Point-to-Multipoint) topology and Transmission Control Protocol (TCP) architecture were adopted. The results indicate that the number of ONUs directly influences the downstream speed, and consequently, it influences the delay.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma análise de desempenho da rede XG-PON, considerando a taxa de transferência individual de cada ONU (Optical Distribution Network) e o delay (atraso) de propagação. Foram realizadas simulações para a avaliação do atraso médio da rede, considerando a transmissão do cliente para o servidor e do servidor para o cliente, bem como da taxa de transmissão média em função da quantidade de ONUs. As simulações foram feitas utilizando a ferramenta NS-3(Network Simulator – version 3). Além disso, adotou-se a topologia PTM (Point - to - Multipoint) e arquitetura TCP (Transmission Control Protocol). Os resultados apontam que a quantidade de ONUs influencia diretamente na velocidade de downstream, e conseqüentemente, influencia no delay.*

1. INTRODUÇÃO

As redes ópticas têm apresentado uma tecnologia promitente para o futuro das comunicações de dados por atender a necessidade de grandes volumes de transmissões de dados [Chatterjee et al. 2015]. Neste contexto, as redes ópticas passivas (*Passives Optical Network - PON*) têm se destacado pela alta taxas de transmissão, baixa perda de pacotes de dados e baixo consumo de energia [Cardoso et al. 2015].

As PON são redes de acesso que utilizam fibras ópticas interligadas na configuração ponto-multiponto e topologia estrela, possuindo componentes ópticos passivos, como: Terminal de Linha Óptica (*Optical Line Terminal - OLT*), splitters ópticos passivos (*Passive Optical Splitter - POS*) e a Unidade de Rede Óptica (*Optical Network Unit - ONU*) [OLIVEIRA et al. 2016]. A Figura 1 apresenta os componentes de uma PON. De acordo com a Figura 1, os dados transmitidos na internet, são convertidos de elétrico para óptico através da OLT. Após a conversão, os dados são transportados através

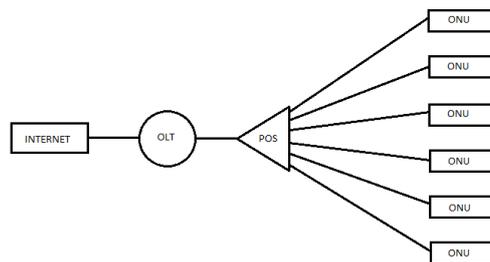


Figura 1. Estrutura de uma rede PON.

das fibras ópticas até o *POS*, e conseqüentemente, enviando o sinal óptico para as ONUs. Quando o sinal óptico chega na ONU, é feita a conversão óptico-eletrô do sinal para transmitir até o cliente. No entanto, quando o sinal é transmitido da ONU até a OLT, o mesmo processo é feito no sentido oposto, partindo da ONU até a OLT.

Dentre as redes de acesso óptico, a *10 Gigabit - PON*, conhecida também como XG-PON, é considerada uma das tecnologias-chave para futuras redes de acesso à Internet, sendo a próxima geração da rede G-PON (Gigabit Passive Optical Network), padronizado pelo grupo FSAN (Full Service Access Network) [Takeuti 2005]. A XG-PON é uma rede evoluída da G-PON, apresentando uma arquitetura baseada em TDM (*time division multiplexing*). Neste contexto, as XG-PON utiliza todo o potencial da rede por um determinado espaço de tempo. Além disso, suportam aplicações que necessitam de uma alta taxa de transmissões, tais como televisão por IP (IPTV), vídeo sob demanda, vídeo conferências, jogos online e vídeos em tempo real [OLIVEIRA et al. 2016].

Neste contexto, este trabalho apresenta uma análise do desempenho da rede XG-PON, considerando a taxa de transferência individual de cada ONU e o delay (atraso) de propagação. Para avaliação da rede foram consideradas as conexões cliente-servidor, servidor-cliente individual e taxas de downstream adotando as taxas de downstream geral e quantidade de ONUs.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2, são apresentadas as características da XG-PON; Já na Seção 3 são apresentados os trabalhos relacionados; já na Seção 4 são apresentados os Resultados, seguido da conclusão.

2. CARACTERÍSTICAS XG-PON

A XG-PON é uma evolução da G-PON e apresenta três principais elementos: OLT, POS e ONUs [OLIVEIRA et al. 2016]. A OLT tem como função a conversão eletro-óptica e óptica-eletrô dos sinais. As ONUs são responsáveis por converter os sinais de modo semelhantes a OLT atendendo aos usuários, enquanto que a OLT atende o servidor principal do provedor de Internet. Já o POS realiza a conexão e divisão dos dados vindos da OLT para cada ONU referente [Takeuti 2005].

As redes XG-PON apresentam altas taxas de downstream e upstream alcançando velocidades de 10 Gb/s de downstream e 2,5 Gb/s de upstream. Além disso, utiliza a tecnologia Time Division Multiplexing (TDM) que garante a cada uma das conexões o

máximo da rede por um certo período, alcançando o máximo de até 60 km e possuindo uma taxa de split(divisão) de 1:128[Cardoso et al. 2015].

A Tabela 1 apresenta as características das redes G-PON e XG-PON. De acordo com essa Tabela 1, as principais diferenças entre essas redes são a capacidade de transmissão, onde a XG-PON demonstrou uma evolução em relação a G-PON. Além disso, o alcance da rede XG-PON é três vezes superior quando comparado ao alcance da G-PON. O comprimento de onda na upstream e downstream são diferentes para poder proporcionar um ambiente híbrido entre as duas redes, evitando o mal funcionamento de ambas. As taxas de fracionamento também diferem entre elas, a XG-PON possui uma taxa de 1:128 proporcionando um maior número de usuários conectados simultaneamente[Cardoso et al. 2015]. A distância máxima entre a ONU e a OLT é defi-

Tabela 1. Comparativo entre XG-PON e G-PON.

CARACTERÍSTICAS	G-PON	XG-PON
Padrão	ITU-T G.984	ITU-T G.987
Velocidade de transmissão	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s
Tamanho dos pacotes de dados	de 53 a 1518 Bytes	de 53 a 1518 Bytes
Protocolo	ATM/Ethernet	ATM/Ethernet
Comprimento de onda downstream	1480 a 1500 nm	1575 a 1580 nm
Comprimento de onda upstream	1260 a 1360 nm	1260 a 1280 nm
Alcance	20 Km	60 Km
Taxa de fracionamento	1:64	1:128
Largura de banda por usuário	20 Mbit/s	160 Mbit/s
Custo estimado	Médio	Alto

nida por três parâmetros: o alcance lógico, alcance física e alcance diferencial. O alcance lógico representa a maior distância que pode ser gerenciada pelas camadas superiores da rede. Já o alcance físico caracteriza a máxima distância física entre a ONT(*optical network terminals*) e a OLT. O alcance diferencial corresponde à diferença de distância entre a ONT/ONU mais próxima e a mais distante da OLT. O alcance da rede representa um valor inferior entre estes três parâmetros[Cardoso et al. 2015].

O comprimento de onda varia de acordo com o sentido das transmissões de dados, utilizando de um filtro WDM (*Wavelength-division multiplexing* ou filtro coexistir) para separar o tráfego da ONU e da OLT, realizando multiplexação dos comprimentos de onda na mesma fibra. Devido a utilização de apenas uma única fibra a utilização do filtro é obrigatória. Na GPON a utilização é opcional, podendo ser utilizado duas fibras, uma para downstream e outra upstream, respectivamente[Cardoso et al. 2015].

3. Trabalhos Relacionados

Os autores em [Wu et al. 2013] apresentam um detalhamento da rede XG-PON e demonstra o funcionamento do simulador NS-3, mostrando uso das bibliotecas existentes nas simulações retratadas, e uma descrição dos métodos e comandos. Também apresentam um pseudocódigo que demonstra cada biblioteca utilizada (análise de testes base) e mencionam os principais erros que o simulador pode apresentar. Uma descrição mais ampla sobre as PON, é apresentada por [Takeuti 2005] que demonstra o histórico de desenvol-

vimento, do princípio de funcionamento e o custo de uma implantação de um sistema XG-PON, desde as OLTs, ONUs e as fibras.

Os autores em [Cardoso et al. 2015] apresentam o funcionamento de uma rede XG-PON adotando formato de modulação, taxa de transferência de dados, arquitetura e topologia da rede. Além disso, apresentam uma arquitetura de rede para a XG-PON coexistindo com a rede G-PON. Já os autores em [Alvarez et al. 2014] apresentam o conceito de garantir largura de banda a um grupo de estações base em vez da garantia individual, visando maior desempenho e ganho desta rede. Ainda neste, propuseram um escalonador que utiliza esta abordagem para redes XG-PON.

Os autores em [Arokkiam et al. 2017] apresentam um módulo compatível com os padrões, configurável e extensível para simulação de uma rede XG-PON utilizando a ferramenta *Network Simulator-3*. Já os autores [Kaler et al. 2017] apresentam diferentes parâmetros almejados para otimização da rede XG-PON utilizando formatos de modulação para *upstream*, *downstream*, taxas de transmissão de dados, comprimento total da rede, tipo de filtro e compensação de dispersão. Ainda os mesmos autores mencionam sobre o sistema Amplificador Óptico Semicondutor Reflexivo (AOSR) com o objetivo de economizar na transmissão de dados *upstream*.

4. ANALISE DOS RESULTADOS

As simulações foram realizadas utilizando o simulador NS-3 [Wu et al. 2013]. A Figura 2 apresenta a topologia utilizada para o cenário em estudo. Essa topologia, demonstrada na Figura 2, apresenta até 32 ONUs e 1 OLT. Além disso, foi analisado a taxa de transmissão de *downstream* entre todas as ONUs e o atraso médio e individual do ambiente. Foram adotadas as taxas de transmissões de *Downstream* de 150 Mbps, 300 Mbps, 600 Mbps e 1200 Mbps. O atraso da rede foi definido como 16ms, o tamanho dos pacotes definido foi de no máximo 536 bytes, com tempo de simulação de 5 segundos.

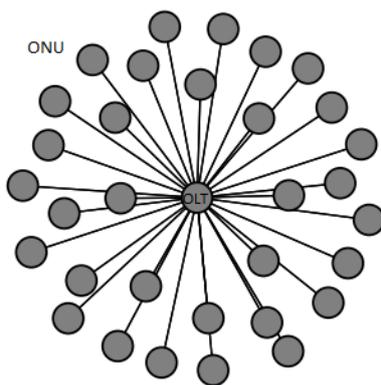


Figura 2. Topologia PTM.

A Equação 1 apresenta o cálculo da velocidade individual de cada ONU.

$$x = \frac{Totaldownstream}{OnuNum} \quad (1)$$

Totaldownstream representa a velocidade total de downstream e *OnuNum* representa a quantidade de ONUs, por meio deste cálculo é possível verificar a porcentagem de

velocidade de downstream que cada ONU receberá. Em um ambiente de duas ONUs com uma velocidade de downstream de 150 Mbps cada uma delas ficará com 50%, equivalente a aproximadamente 75 Mbps. Já em um ambiente de 32 ONUs, cada ONU receberá 3.12%, correspondendo a aproximadamente a 4 Mbps. Os valores obtidos por esse cálculo são atribuídos a cada ONU durante a simulação verificando a relação entre o delay e a velocidade individual. Neste contexto, quanto menor a quantidade ONUs, maior será a velocidade, e conseqüentemente, menor será o delay. A Figura 3 representa o atraso médio total do ambiente. Na Figura 3, considerando a taxa de transmissão de 150 Mbps e

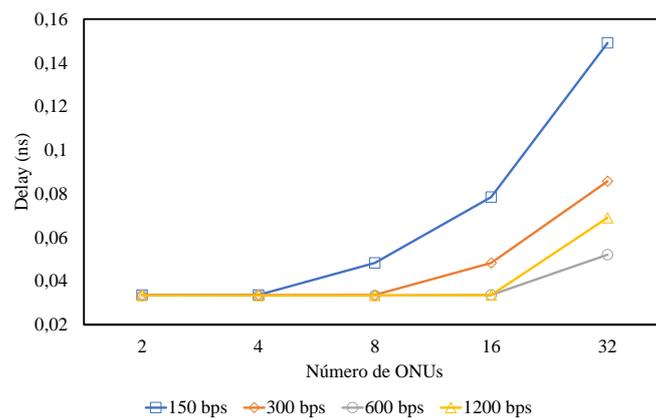


Figura 3. Delay total da simulação no cenário XG-PON.

2 ONUs, cada ONU recebe uma taxa de transmissão de 75 Mbps. No caso de 32 ONUs, cada uma recebe aproximadamente 4 Mbps de velocidade. Com o aumento da velocidade do ambiente o atraso tende a reduzir, entretanto em determinado ponto, as altas taxas de downstream passam a influenciar menos o Delay, como no caso da taxa de transmissão de 1200 Mbps. Considerando quantidade de 32 ONUs, a velocidade de 150 Mbps apresenta um delay superior de 43.6%, 65.3% e 54.8% quando comparado as velocidades de 300 mbps, 600 mbps e 1200 mbps, respectivamente. Isso ocorre em consequência da relação da velocidade de transmissão de dados e do número de ONUs (Figura 3).

A Figura 4 apresenta o delay de comunicação entre servidor-cliente e cliente-servidor. De acordo com a Figura 4(a) a conexão inicia na comunicação do servidor com

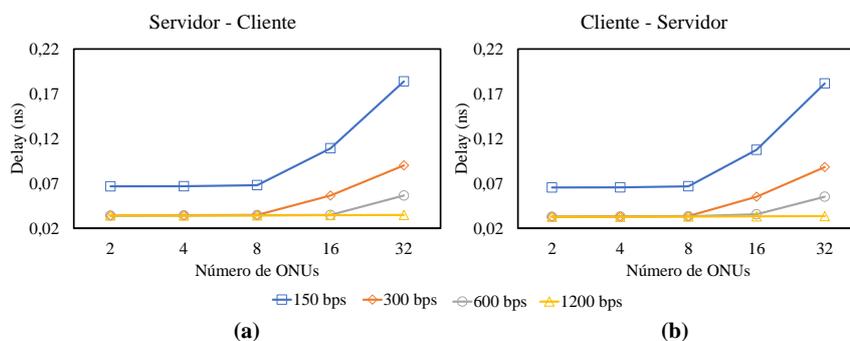


Figura 4. Delay de comunicação entre (a) servidor-cliente e (b) cliente-servidor.

a OLT e transmite até a OLT, e por conseguinte, transmite até ONU e logo em seguida até o cliente. A Figura 4(b) apresenta o Delay das conexões cliente-servidor, no qual a conexão inicia no cliente e termina no servidor. considerando uma quantidade de 32 ONUs, a conexão servidor-cliente para as velocidades de 150, 300, 600 e 1200 apresentou um Delay superior de 2.25%, 3.1%, 2.5% e 3.7% em relação a conexão cliente-servidor. Isso ocorre devido o servidor gerenciar diversas conexões ao mesmo tempo, enquanto o cliente possui apenas uma conexão.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado uma análise de desempenho da rede XG-PON, considerando a taxa de transferência individual de cada ONU e o delay de propagação. Para realização das simulações foi utilizado a ferramenta NS-3 utilizando a topologia PTM.

Os resultados apontam em termos de velocidade de downstream, a velocidade de 150 bps apresentou um delay superior de 43.6%, 65.3%, 54.8% quando comparado as velocidades de 300 Mbps, 600 Mbps, 1200 Mbps para 32 ONUs. Já em termos de servidor-cliente e cliente-servidor, para 32 ONUs, o servidor-cliente apontou um delay superior de 2.25%, 3.1%, 2.5% e 3.7% em relação as velocidades 150 Mbps, 300 Mbps, 600 Mbps, 1200 Mbps do cliente-servidor. Neste contexto, A rede XG-PON apresentou ser uma rede bem eficiente, em consequência das altas taxas de transmissão e baixos atrasos.

Referências

- Alvarez, P., Marchetti, N., Payne, D., and Ruffini, M. (2014). Backhauling mobile systems with xg-pon using grouped assured bandwidth. In *Networks and Optical Communications-(NOC), 2014 19th European Conference on*, pages 91–96. IEEE.
- Arokkiam, J. A., Alvarez, P., Wu, X., Brown, K. N., Sreenan, C. J., Ruffini, M., Marchetti, N., Doyle, L., and Payne, D. (2017). Design, implementation, and evaluation of an xg-pon module for the ns-3 network simulator. *Simulation*, 93(5):409–426.
- Cardoso, R. A. et al. (2015). Proposta, simulação e testes de arquitetura para redes ópticas passivas gpon e xg-pon.
- Chatterjee, B. C., Sarma, N., and Oki, E. (2015). Routing and spectrum allocation in elastic optical networks: A tutorial. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(3):1776–1800.
- Kaler, R. et al. (2017). *Performance Optimization of RSOA Based High Speed Backhaul XG-PON Hybrid (DWDM-PON/FSO) Network*. PhD thesis.
- OLIVEIRA, R. d. S. et al. (2016). Cenário de redes de acesso para integração de redes ópticas e sem fio baseadas em sistemas de rádio sobre fibra.
- Takeuti, P. (2005). *Projeto e dimensionamento de redes ópticas passivas (PONs)*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Wu, X., Brown, K. N., Sreenan, C. J., Arokkiam, J., Alvarez, P., Ruffini, M., Marchetti, N., Payne, D., and Doyle, L. (2013). An xg-pon module for the ns-3 network simulator: the manual. *University College Cork, Ireland [online]*.