

Análise do Algoritmo sem Ponderação para Redes de Acesso GPON

A. F. Santos e E. D. S. Souza

Depto de Química e Exatas, DQE - UESB

45200-000 Jequié, BA

alexferreira.uesb@gmail.com, eudesdionatas@gmail.com

Resumo

Neste artigo propomos e analisamos um algoritmo de alocação dinâmica de banda para rede de acesso GPON (*gigabit passive optical network*). O algoritmo aloca banda mínima para as ONUs e distribui a banda não utilizada de acordo com critério baseado em três prioridades. A taxa de bit *upstream* é 1,25 Gbps e o desempenho do algoritmo é analisado com base na variação do atraso de pacotes em função do tráfego gerado nas ONUs. Os resultados obtidos por meio de simulações computacionais mostram a versatilidade do algoritmo.

Palavras-chave: Passive Optical Network (PON), Gigabit PON (GPON), alocação dinâmica de banda.

Abstract

In this paper we propose and analyze an algorithm for dynamic bandwidth allocation for network access GPON (Gigabit Passive Optical Network). The algorithm allocates bandwidth to the ONUs and distributes unused bandwidth according to criteria based on three priorities. The bit rate is 1.25 Gbps upstream and performance of the algorithm is analyzed based on the variation of packet delay as a function of traffic generated in the ONUs. The results obtained by computer simulation show the versatility of the algorithm.

Keywords: Passive Optical Network (PON), Gigabit PON (GPON), dynamic bandwidth assignment.

Introdução

As redes de acesso têm se tornado objeto de intensa expansão e oferta de tecnologias. Estima-se que em um futuro não muito distante, os assinantes necessitarão de acesso com banda de 70 a 100 Mbps na direção *downstream* e 20 a 30 Mbps na direção *upstream* em suas residências. Esta banda *downstream* é capaz de acomodar canais HDTV (*high-definition television*) e SDTV (*standard-definition television*), navegação na Internet, VoIP (*voice over Internet protocol*), jogos on line e outros serviços banda larga. Com a migração dos serviços de televisão para as redes de dados (IPTV – *internet protocol television*), a capacidade de *downstream* (2.488 Mbps) pode ser esgotada em pouco tempo, pois um canal SDTV requer aproximadamente 3 Mbps e um canal HDTV, 18 Mbps, se for utilizada codificação MPEG-2. No sentido *upstream* o perfil do tráfego pelo uso de aplicações P2P e de sites que operam com *upload* (como Youtube e Flickr) irá alterar as características das redes de acesso de assimétrica para quase simétrica em um futuro próximo.

Para suprir a grande demanda de banda, uma solução eficiente é a rede óptica de acesso padrão GPON. Uma das premissas do padrão GPON é o oferecimento de banda larga e qualidade de serviço (QoS – *quality of service*).

Com o passar dos anos o tráfego na Internet e outros serviços continuarão aumentando, e um mecanismo de gerenciamento eficiente de largura de banda é cada vez mais importante. Assim, é

necessário que as operadoras de telecomunicações utilizem, em suas OLTs (*optical line terminal*), algoritmos eficientes de alocação de banda que gerenciem toda a rede, com intuito de minimizar o atraso e evitar o desperdício de banda.

No GPON, a transmissão no sentido *downstream*, da OLT para as ONUs (*optical network unit*), é realizada por meio de difusão (*broadcast*). Cada ONU identifica seu tráfego por meio de endereçamento. No sentido *upstream*, das ONUs para a OLT, o meio de transmissão é compartilhado utilizando a técnica de acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA— *time division multiple access*), que, através da alocação de *time slots*, permite controlar quando cada ONU pode transmitir a sua rajada de dados.

Neste artigo propomos e analisamos um algoritmo de alocação dinâmica de banda para rede de acesso por fibra padrão GPON, operando com taxa de bit upstream 1,25 Gbps, e três tipos de SLAs.

Rede GPON

A rede GPON é composta por fibras ópticas e diversos dispositivos ópticos e sistemas, como ONUs, OLTs, filtros, divisores passivos e lasers. Os principais componentes ópticos e sistemas são descritos a seguir.

OLT: Terminal de linha óptica. Está localizada na central da operadora de serviços, conectando a rede de acesso à rede metropolitana. A OLT transmite sinal óptico, que é distribuído para os diversos usuários através dos divisores ópticos passivos. Uma OLT é formada por diversos servidores que fornecem serviços, como VoIP, HDTV e Internet. Toda a transmissão da rede é gerenciada pela OLT.

ONU: Unidade de rede óptica. Está localizada próxima do assinante. A ONU concentra o tráfego até que possa ser transmitido para a OLT. Além disso, quando a OLT envia as mensagens em *broadcast*, as ONUs reconhecem apenas as mensagens destinadas à ela e ignoram as demais. Outra funcionalidade importante é a conversão do sinal óptico em elétrico para os dispositivos padrões, como telefones, computadores, TV e outros equipamentos de aplicação do usuário final.

Divisor Passivo (*Splitter*): Este dispositivo está localizado entre a OLT e a ONU, sendo responsável por dividir ou combinar o sinal óptico da fibra. No sentido *downstream*, o sinal de entrada é dividido e enviado para todas as portas de saída. No sentido *upstream*, o sinal de todas as ONUs é combinado e transmitido à OLT.

A Figura 1 ilustra uma rede GPON composta de uma OLT, um divisor óptico passivo e quatro ONUs.

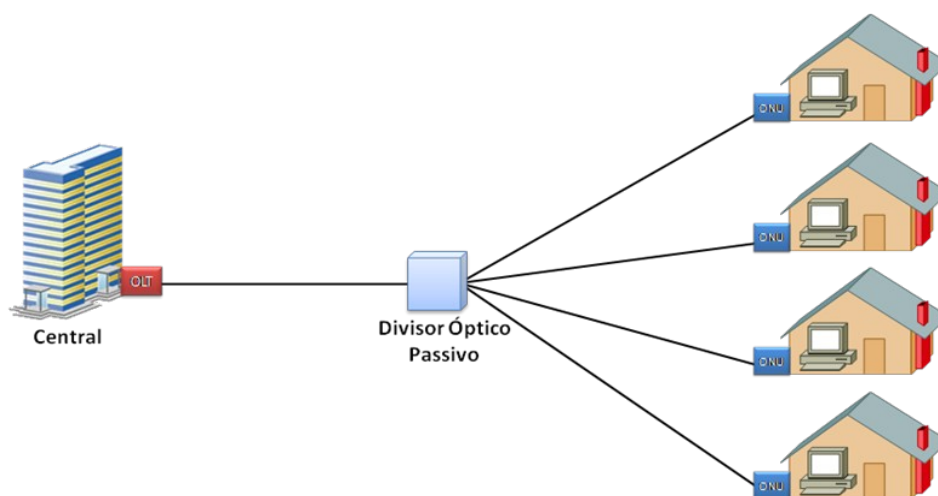


Figura 1. Rede GPON.

Alocação de Banda

Um algoritmo de alocação de banda atua com base em um conjunto de critérios a fim de alocar *time slots* para que as ONUs transmitam seus respectivos quadros de tráfego, gerenciando o meio compartilhado e evitando colisões. A alocação de banda pode ser classificada em estática ou dinâmica e o seu desempenho é avaliado pelo atraso de pacote (latência), variação do atraso de pacote (*packet delay variation* – PDV) e pela probabilidade de perda de pacote.

A implementação mais simples é a que aloca *time slots* fixos para as ONUs. Entretanto, se os *time slots* atribuídos são insuficientes para cobrir os requisitos de largura de banda da ONU (que devem aguardar para serem transmitidos) haverá aumento do atraso de pacotes. Por outro lado, se os *time slots* forem subutilizados haverá desperdício de banda. Esta implementação é conhecida como alocação estática de banda.

Na alocação dinâmica de banda (DBA – *dynamic bandwidth allocation*) o princípio é alocar banda aos elementos da rede que estejam ativos e reduzir *time slots* quando não há dados a transmitir, disponibilizando-os para as ONUs que necessitam. O desafio para o DBA é saber a quantidade de bytes que aguardam transmissão nas ONUs.

No caso de esquema estático, o controle (operadora) dispõe de visibilidade limitada sobre tráfego no canal *upstream*, resultando em latência elevada e perda excessiva de pacotes, reduzindo a eficiência e provocando perda de receita. Se o uso da banda for ineficiente, não será possível ampliar o número de ONUs atendidas. Estas limitações são superadas por algoritmos que atuam de forma dinâmica, alocando banda de acordo com a necessidade de cada ONU. Com isso, a latência e a perda de pacotes podem ser reduzidos. A Figura 2 e a Figura 3 mostram simplificada as alocações estática e dinâmica de banda, respectivamente.

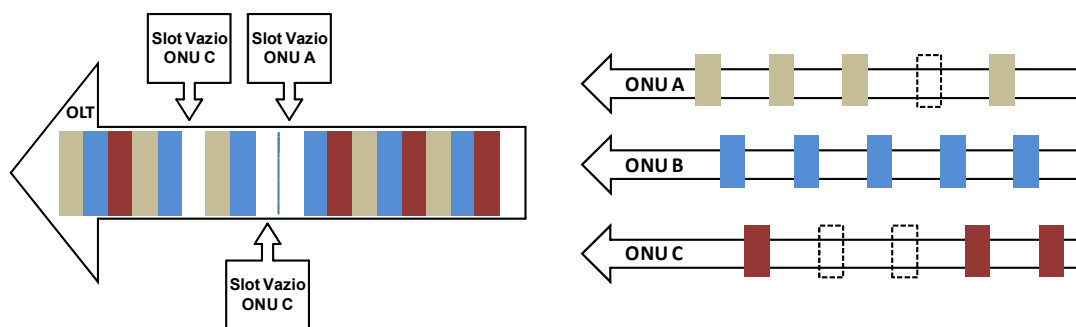


Figura 2. Alocação estática de banda. Se as ONUs não possuem dados a transmitir (quadrado branco na figura) os *time slots* alocados a elas ficam indisponíveis para serem utilizados por outras ONUs. A operadora de serviços não pode ampliar o número de ONUs porque a banda utilizada de forma ineficiente não permite.

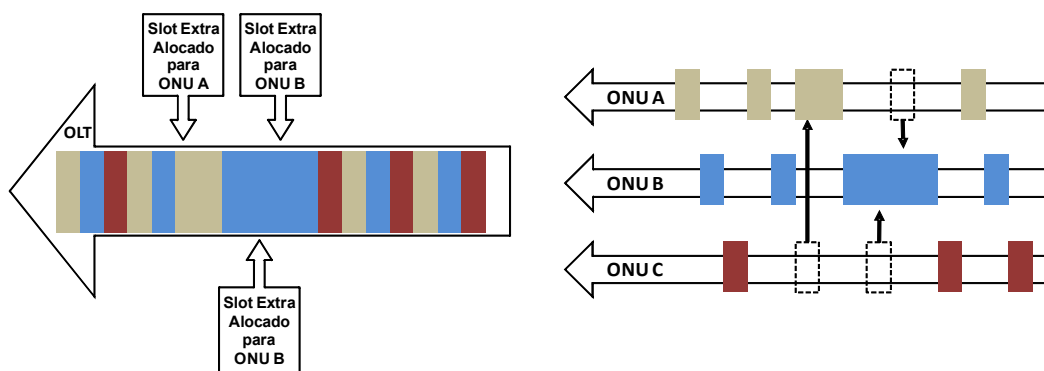


Figura 3. Alocação dinâmica de banda. Em sequência, o primeiro (da esquerda para a direita) *time slot* não utilizado pela ONU C é alocado para a ONU A; o segundo *time slot* não utilizado pela ONU C é alocado para a ONU B; O *time slot* não utilizado pela ONU A é alocado para a ONU B. Desta forma, a transmissão *upstream* não exibe *time slot* desocupado, aumentando a eficiência da rede.

Portanto, um dos desafios para a implementação do DBA é saber a quantidade de bytes que aguardam transmissão nas ONUs. Alguns algoritmos são apresentados na literatura [5], [6]. Entretanto, o mais utilizado é o DMB (*dynamic minimum bandwidth*).

Este algoritmo é baseado em SLAs (*service level agreement*), que é um conjunto de especificações de serviços e prioridades negociados entre provedor e usuário. O DMB aloca uma banda mínima garantida para cada SLA, cuja distribuição é realizada de acordo com fatores de ponderação. Assim, este algoritmo diferencia a alocação de banda para os SLAs e distribui a banda mínima igual para todos os usuários. A banda não utilizada é realocada para as ONUs, independentemente dos SLAs. Esta alocação é dinâmica e depende da banda excedente e do estado das filas de tráfego das ONUs. O algoritmo DMB é implementado em duas etapas. A banda mínima para cada SLA é estipulada no primeiro estágio e a banda não utilizada, no segundo.

A seguir será apresentada a formulação matemática do algoritmo de alocação dinâmica de banda sem ponderação, que propomos, similar ao DMB.

Todas as simulações foram realizadas utilizando um simulador desenvolvido em linguagem de programação C++.

Algoritmo Sem Ponderação

Este algoritmo aloca banda garantida (CIR – *committed information rate*) igual para todas as ONUs e em seguida realoca dinamicamente a banda não utilizada (EIR – *excess information rate*) com base nas prioridades dos SLAs. A sequência de transmissão é sempre estabelecida de acordo com o padrão GPON. Os resultados foram baseados em topologia GPON formada por uma OLT e 16 ONUs. A distância entre OLT e ONUs é escolhida por sorteio, com base em variável aleatória, não excedendo 20 km, conforme estabelece a norma. Assim, o tempo de ida-e-volta (RTT – *round trip time*) do sinal é diferente para cada ONU.

As 16 ONUs estão distribuídas em três tipos de SLAs, conforme mostra a Tabela 1. O gerenciamento de banda é realizado pelo DBA, que aloca banda garantida (CIR) para todas as ONU. Em nossa abordagem, a banda excedente é utilizada sem limitação pelos SLAs. O SLA₁ (prioridade alta) pode utilizar toda banda excedente em caso de necessidade. Depois de atendidas as solicitações do SLA₁, a banda que resta pode ser utilizada pelo SLA₂ (prioridade média), também sem restrição. O SLA₃ (prioridade baixa) utiliza a última porção de banda que restar. A seguir será apresentada a formulação matemática do primeiro algoritmo proposto.

Tabela 1. Prioridades dos SLAs e distribuição das ONUs.

SLA	Prioridade	ONUs
1	Alta	1 a 4
2	Média	5 a 8
3	Baixa	9 a 16

Formulação Matemática

Em nossa implementação, a banda que será alocada ($B_{alocada}^t$) para cada ONU é composta pela banda garantida ($B_{garantida}$) e banda extra (B_{extra}^t), conforme

$$B_{alocada}^t = B_{garantida} + B_{extra}^t, \quad (1)$$

na qual t representa o número da prioridade (SLA), sendo, $t = 1$ prioridade alta, $t = 2$ prioridade média e $t = 3$ prioridade baixa.

A banda garantida representa a banda mínima (CIR) disponível que será alocada para todas as ONUs independentemente da prioridade. Nesta alocação, será atribuída uma banda básica ($B_{básica}$) para as ONUs verificando o tamanho da fila (Q). Se o tamanho da fila for menor ou igual à banda básica, a ONU receberá a quantidade de banda solicitada ao OLT, ou seja, Q . Isto é realizado para evitar desperdício de banda. Se o tamanho da fila for maior, será alocada a banda básica e a excedente será disputada seguindo os critérios de alocação da banda extra (B_{extra}^t). A banda garantida é alocada de acordo com

$$B_{garantida} = \begin{cases} B_{básica}; Q > B_{básica} \\ Q; Q \leq B_{básica} \end{cases} \quad (2)$$

A quantidade de banda extra que será alocada dinamicamente para as ONUs é composta pela diferença entre a banda total da rede (B_{total}) e a soma da banda garantida alocada para todas as ONUs, conforme

$$B_{não_utilizada} = B_{total} - \sum_{i=1}^k B_{garantida}, \quad (3)$$

na qual k representa o número de ONUs.

A banda extra é alocada para as ONUs que necessitarem de mais banda que a banda garantida. Se isto ocorrer e existir mais banda que a requerida, $B_{não_utilizada} \geq (Q - B_{garantida})$, a ONU receberá a quantidade de banda que solicitou (Q). Se existir menos, $(Q - B_{garantida}) > B_{nãoUtilizada}$, toda banda disponível será alocada. Caso a banda garantida seja suficiente para suprir a quantidade de banda solicitada pela ONU, não será necessário alocar banda extra. Toda alocação de banda extra é realizada de acordo com as prioridades de alocação (SLAs), conforme

$$B_{extra}^t = \begin{cases} (Q - B_{garantida}); Q > B_{garantida} e B_{não_utilizada} \geq (Q - B_{garantida}) \\ B_{não_utilizada}; (Q - B_{garantida}) > B_{não_utilizada} \\ 0; B_{garantida} > Q \end{cases} \quad (4)$$

Resultados Numéricos

A Tabela 2 lista os parâmetros utilizados nas simulações do algoritmo proposto e a Tabela 1 suas prioridades. A Figura 4 mostra o atraso médio de pacote em função da carga oferecida para os três SLAs e apenas um contêiner de tráfego. Utilizamos apenas um contêiner para evidenciar o efeito da disputa de banda excedente pelas ONUs. Este gráfico é utilizado nas simulações como padrão de resultado do efeito de alocação de banda não utilizada de acordo com os SLAs. A diferença entre os valores de atraso médio de pacote dos SLAs 1 e 3 é acentuada porque a banda não utilizada, a que excede a banda garantida alocada (3) para todas as ONUs, é realocada em sequência para os SLAs 1, 2 e 3. Quando a rede está com carga máxima, os SLAs 1 e 2 praticamente consomem toda banda excedente. Assim, a adoção de critério de utilização livre, sem restrição da quantidade máxima, da banda excedente de acordo com os SLAs acarreta grande diferença entre os valores de atraso médio. Neste caso, a rede se comporta com parcialidade (*unfairness*), pois os SLAs de prioridade mais alta consomem as maiores porções de banda. Este efeito pode ser visto de outra forma nas Figuras 4 e 5, que relacionam a quantidade de banda solicitada e atendida por número de solicitações por ONU e por SLA.

Tabela 2. Parâmetros de simulação do algoritmo proposto no padrão GPON.

Descrição	GPON
Taxa de bit total (Gbps)	1,25
Taxa de bit ONU (Mbps)	100
Número Total de ONUs	16
Tamanho do buffer nas ONUs (MB)	10
Distância máxima entre OLT e ONUs (km)	20
Tamanho máximo do time slot (B)	1215
Tempo (bit) de guarda entre transmissões	96 bit
Tempo máximo do ciclo de interrogação (μs)	125

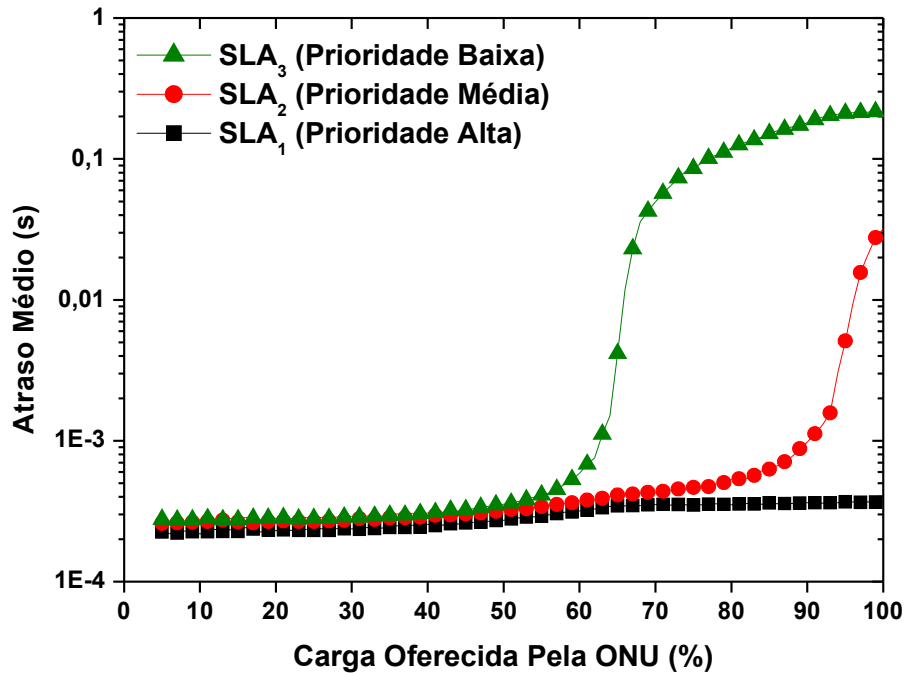


Figura 4. Atraso médio de pacotes em função da carga oferecida por ONU para os 3 SLAs e um contêiner de tráfego. A sequência de prioridade de SLA é mostrada na Tabela 1 e os parâmetros da simulação na Tabela 2.

A Figura 5 mostra o volume de tráfego da rede em Terabyte relacionado com as bandas solicitadas e atendidas por ONU em função dos SLAs para 100% de carga oferecida por ONU. O tráfego é gerado de forma similar para todas as ONUs. Se a quantidade de banda solicitada por ONU for atendida pela OLT, o volume de tráfego contido nos contêineres diminui, pois o tráfego é enviado ao OLT. No entanto, à medida que o volume de tráfego aumenta nos contêineres, a banda solicitada torna-se maior que a banda atendida e as ONUs precisarão solicitar uma quantidade maior de banda. Os valores mostrados se referem à média de 5 simulações realizadas. A banda média por ONU associada ao SLA é calculada por

$$B_{s,a,média} = \frac{B_{s,a,total}}{N_{SLA}} \quad (5)$$

na qual $B_{s,a,média}$ é a banda média (por SLA), em bps; $B_{s,a,total}$ é a banda total (por SLA), em bps; N_{SLA} é o número de ONUs associados aos SLAs, especificados na Tabela 1; 's' e 'a' significam solicitada e atendida, respectivamente.

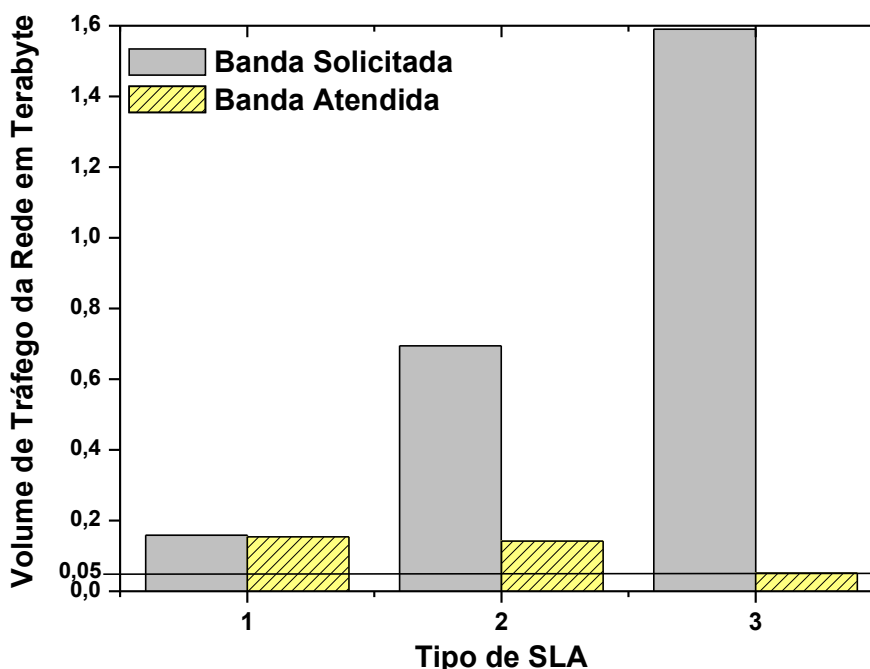


Figura 5. Volume de tráfego da rede em Terabyte relacionado com as bandas solicitadas e atendidas por ONU em função dos SLAs para 100% de carga oferecida por ONU. A linha horizontal delimita a quantidade de banda garantida e a quantidade de banda extra alocado para cada SLA. Abaixo desta linha temos a quantidade de banda garantida e acima a quantidade de banda extra.

Na Figura 5, para 100% de carga oferecida por ONU as solicitações do SLA₃ são atendidas para o volume de tráfego de até 0,05 Terabyte. Isto representa que o SLA₃ receberá apenas a banda garantida de 40 Mbps (observar na Figura 6 as bandas solicitadas e atendidas para o SLA₃). Isto ocorre porque a banda não utilizada (banda extra) é realocada sequencialmente para os SLAs 1, 2 e 3, sendo o SLA₃ o mais prejudicado não dispondo de banda extra para atendimento de suas solicitações.

Os valores de bandas mostradas na Figura 5, embora calculados por ONU associada à prioridade, são ainda valores essencialmente absolutos quando comparados com o total de solicitações de todas as ONUs da rede. Há várias opções para calcular a média por solicitação e uma delas considera as bandas solicitadas e atendidas pelas 16 ONUs da rede. Neste caso, as solicitações das ONUs associadas aos SLAs ficam mascaradas. Uma forma de evitar este mascaramento é calcular o número médio de solicitações feitas pelas 16 ONUs da rede. Este número é $S_{médio} = S_{total} / N_{ONU, total}$, na qual $S_{médio}$ é o número médio de solicitações; S_{total} é o número total de solicitações das 16 ONUs; $N_{ONU, total}$ é o número total de ONUs, no caso, 16. Este valor médio de solicitações é 10.341 e foi determinado em 5 simulações. Assim, a Figura 6 mostra a banda média por SLA em relação à quantidade média de solicitações da rede, $B_{s,a,média} / S_{médio}$ em bps. Somando as bandas atendidas e multiplicando pela quantidade de ONUs associadas às prioridades, vamos obter a banda total da rede (1,25 Gbps). Como podemos observar na Figura 6, o SLA₃ não recebe banda extra, apenas a banda garantida, 40 Mbps. Desta forma, percebemos que o volume de tráfego da rede atendido pela banda garantida alocada é 0,05 Terabyte (Figura 5). A Tabela 3 apresenta os valores de banda atendida mostrada na Figura 6 e o total de banda atendida em 100% de carga.

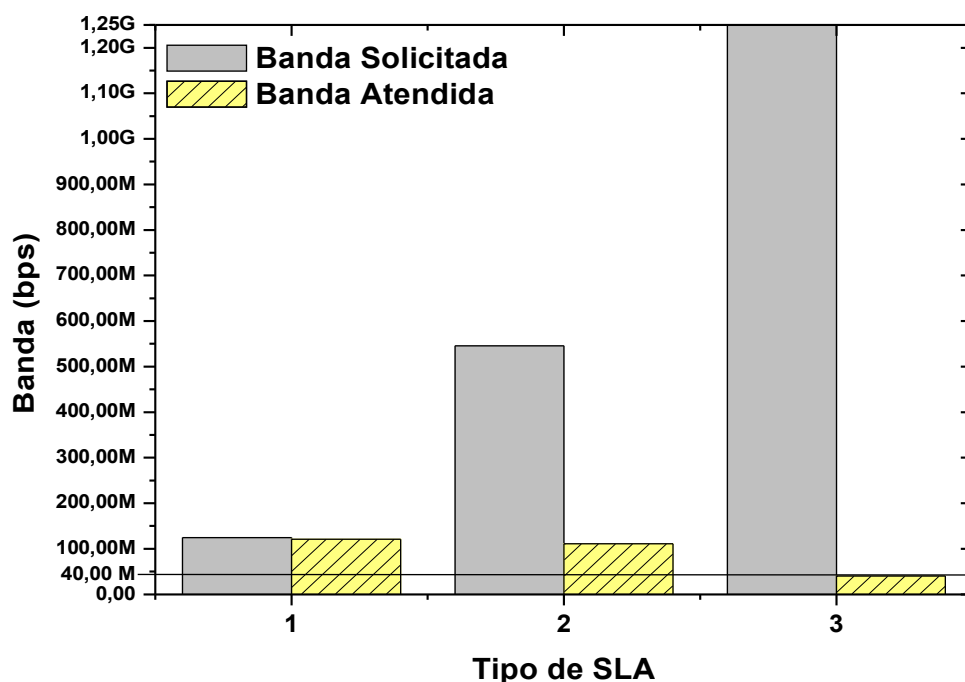


Figura 6. Bandas solicitadas e atendidas por SLA pela quantidade média de solicitações da rede. Calculada para 100% de carga oferecida por ONU, um contêiner de tráfego e média de cinco simulações. A linha horizontal delimita a quantidade de banda garantida e a quantidade de banda extra. Abaixo desta linha temos a banda garantida e acima a banda extra.

Tabela 3. Prioridades dos SLAs, atraso médio para 100% de carga por ONU (ms), número de ONUs por SLA, banda garantida e extra em 100 % de carga (Mbps).

SLA	Atraso Médio para 100% de carga por ONU (ms)	Número de ONUs por SLA	Banda Garantida (Mbps)	Banda Extra (Mbps)	Banda em 100 % de carga (Mbps)	Banda Total em 100 % de carga (Mbps)
1	0,3703	4	40	81,1	121,1	484,4
2	32,02	4	40	71,4	111,4	445,6
3	217,57	8	40	0	40	320
					Total	1250

A Figura 7 ilustra as bandas solicitadas e atendidas pelas ONUs de SLA₃ para alguns valores de carga oferecida pela ONU. O resultado mostrado na Figura 6 (100% de carga) está incluído. O SLA₃ representa a situação mais crítica porque é o de prioridade mais baixa. Para cargas baixas e médias de carga (até 60%) o atendimento às solicitações é adequado (atraso pequeno; ver Figura 4).

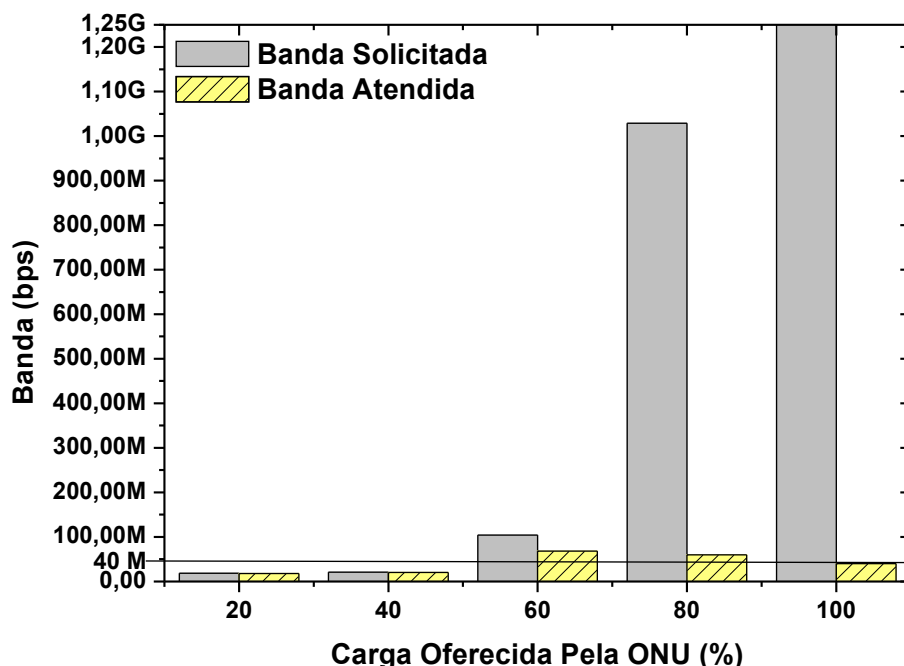


Figura 7. Bandas solicitadas e atendidas pelo SLA₃ pela quantidade média de solicitações da rede. Calculada para várias condições de carga oferecida por ONU, um contêiner de tráfego e média de cinco simulações. A linha horizontal delimita a quantidade de banda garantida e a quantidade de banda extra. Abaixo desta linha temos a banda garantida e acima a banda extra.

Conclusões

Neste trabalho propomos um algoritmo de alocação dinâmica de banda para rede de acesso via fibra óptica padrão GPON e taxa máxima 1,25 Gbps. Analisamos o atraso médio de pacotes e a quantidade de banda solicitada e atendida para três SLAs. Os resultados numéricos mostram a eficiência e versatilidade do algoritmo proposto. Pesquisa futura inclui avaliação de taxas para o estabelecimento de diversos SLAs e ampliação de requisitos de QoS.

Referências

- [1] R. W. Heron et al., "Technology Innovations and Architecture Solutions for the Next-Generation Optical Access Network", Bell Labs Technical Journal, vol. 13, pp. 163–182, março 2008.
- [2] "GPON is more than just a faster PON", Broadlight, pp. 1-6.
<http://www.broadlight.com/docs/pdfs/wp-gpon-more-than-faster-pon.pdf> (data de acesso, abril de 2010).
- [3] ITU-T Recommendation G.984.3, "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): transmission convergence layer specification", 2008.
- [4] Cisco, "Approaching the Zettabyte Era",
http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481374_ns827_Networking_Solutions_White_Paper.html (data de acesso, abril de 2010).
- [5] A. F. Santos, S. M. Rossi, A. C. César, "Algoritmo de Alocação Dinâmica de Banda para Rede Óptica de Acesso GPON". XXVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT), Blumenau, SC, 2009.

- [6] A. Walid e A. Chen, “Self-Adaptive Dynamic bandwidth Allocation for GPON (Gigabit Passive Optical Network)”, Accepted for publication in Bell Labs Technical Journal, 2010.
- [7] C.-H. Chang, P. Kourtessis, and J. M. Senior, "GPON service level agreement based dynamic bandwidth assignment protocol," Journal of Electronics Letters, vol. 42, pp. 1173-1174, 2006.