Avaliação de diferentes métodos de inferência da demanda por banda do algoritmo de DBA no desempenho de redes XG-PON

Sandro Marcelo Rossi e Mariela Mayumi F. Sasaki

***Resumo*—Este artigo apresenta um algoritmo de DBA e a comparação entre quatro métodos para se inferir um de seus parâmetros de entrada, a demanda por banda. Para a avaliação de desempenho, foi utilizada uma rede do tipo XG-PON implementada no ambiente de simulação OMNeT++. Os quatro métodos de inferência são: *Status Report* (SR) e *Traffic Monitoring* (TM) convencionais do padrão XG-PON e TM com predição por regressão linear simples e por uma rede neural com atraso no tempo. Os métodos avaliados apresentaram resultados que garantem níveis de QoS adequados para os serviços *triple-play*.**

Palavras-Chave—XG-PON, DBA, predição de tráfego, rede neural.

***Abstract*—This article presents a DBA algorithm and the comparison among four methods of determining one of its inputs, the bandwidth demand. For the performance evaluation, we used a XG-PON implemented in the OMNet++ simulation framework. The four methods are: conventional Status Report (SR) and Traffic Monitoring (TM), and TM-based prediction using a simple linear regression and a time-delay neural network. All evaluated methods have shown adequate QoS for triple-play services.**

Keywords—XG-PON, DBA, traffic prediction, neural network.

I. Introdução

As redes ópticas passivas (PONs) têm sido implantadas devido às suas características de compartilhamento do meio físico e grande quantidade de banda que pode ser oferecida aos usuários. Com a necessidade cada vez maior de largura de banda exigida pelas aplicações de uso doméstico ou corporativo, é preciso que as redes de nova geração ofereçam ainda mais banda e, se possível, preservem os investimentos realizados nas PONs legadas, principalmente na infraestrutura de fibras [1]. Nessa direção, a ITU-T elaborou as recomendações da tecnologia 10-*Gigabit-capable Passive Optical Network* (XG-PON), que permite oferecer largura de banda de 10 Gbps para transmissões *downstream* e 2,5 Gbps para *upstream* e possui a capacidade de conviver com o legado das redes do tipo *Gigabit-capable Passive Optical Network* (GPON).

Com a finalidade de gerenciar eficientemente a largura de banda no *upstream* e distribuir prioridades no nível MAC (*Media Access Control*), a norma XG-PON define mecanismos para alocação dinâmica de banda (DBA) [2]. Comparativamente à alocação estática de banda, o mecanismo de DBA melhora a utilização da banda *upstream* à medida que reage adaptativamente aos padrões de tráfego das *Optical Network Units* (ONUs). São duas as vantagens de se utilizar DBA: o uso eficiente da banda permite a inserção de mais usuários em um mesmo *link* e os usuários obtêm um serviço de maior qualidade.

Na literatura de DBA para GPON, destaca-se o algoritmo DMB (*Dynamic Minimum Bandwidth*) [3], que tem, como principal contribuição, a atribuição de banda de acordo com os níveis de serviços diferenciados dos usuários, o que resulta na diminuição significativa do atraso médio dos pacotes. Para *Ethernet Passive Optical Network* (EPON), tem destaque o algoritmo IPACT *(Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time)* [4].

Diversos autores, [5]-[7], propõem modificações no algoritmo de DBA, buscando melhorar alguma métrica específica, como atraso médio ou *throughput*, ou buscando melhorar a ocupação do canal de *upstream* e questões de qualidade de serviço (QoS). Em [8], os autores propuseram uma melhoria do algoritmo de [3], de forma que a prioridade das ONUs para receberem banda extra fosse considerada no algoritmo de alocação de banda.

Neste trabalho, é apresentado um algoritmo de DBA de acordo com o mecanismo de atribuição de largura de banda do padrão XG-PON [2] e é realizada uma avaliação comparativa entre quatro métodos de inferência da demanda por banda: SR, TM, TM com predição por regressão linear simples e TM com predição por uma rede neural com atraso no tempo, para tráfegos com três perfis diferentes, simulando o comportamento de um serviço *triple-play* (voz, vídeo e dados). Um dos diferenciais deste trabalho em relação aos artigos publicados na área é a simulação de uma XG-PON incluindo características importantes do protocolo MAC [2], tais como, tamanho dos cabeçalhos do *frame* de *upstream*, construção do mapa de bandas (BWMap) e fragmentação de pacotes. Além disso, o uso de métodos preditivos para inferência da demanda por banda é ainda muito incipiente na literatura, sobretudo empregando redes neurais.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na Seção II, é apresentado o algoritmo de DBA proposto e são detalhados os métodos de predição de tráfego. Na Seção III, é possível ver o cenário de simulação do algoritmo combinado aos quatro métodos de predição, bem como são apresentados os resultados numéricos obtidos. E, por fim, na Seção IV, são mostradas algumas conclusões sobre o trabalho desenvolvido e os próximos passos da pesquisa.

II. Alocação Dinâmica de Banda

Em XG-PON, a OLT (*Optical Line Termination*) é responsável por definir o início e a duração das transmissões de

Sandro Marcelo Rossi e Mariela Mayumi F. Sasaki, Diretoria de Redes Convergentes, Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), Campinas-SP, Brasil, E-mails: sandro@cpqd.com.br, msasaki@cpqd.com.br. Este trabalho foi financiado pela FINEP com recursos do FUNTTEL.

cada ONU a cada *frame* de *upstream*. Essa informação é enviada por *broadcast* a todas as ONUs da rede no mapa de bandas (BWMap). O período de atualização do BWMap é chamado de ciclo de DBA.

A. *Métodos de inferência da demanda por banda*

Uma informação essencial para o algoritmo de DBA é o valor da demanda por banda de cada contêiner (T-CONT). Quanto mais próximo da realidade for esse valor, melhor será o aproveitamento do *frame* de *upstream* e menor será o tempo de atendimento aos T-CONTs. Por isso, neste trabalho, foram estudados quatro métodos de inferência desta demanda:

- *SR* sem predição: a ONU reporta para a OLT o estado de suas filas no momento de envio do último *frame* de um ciclo de DBA. A OLT calcula a demanda por banda de cada T-CONT (R_L) subtraindo do valor reportado a quantidade de bytes transmitidos durante este *frame*, e repassa esse valor ao algoritmo de DBA. O algoritmo somente inicia a construção do novo BWMap quando os valores de R_L de todos os T-CONTs são conhecidos.
- TM sem predição: a OLT monitora a quantidade de bytes recebidos em cada T-CONT durante o último *frame* de um ciclo de DBA. Se um T-CONT utilizou toda a banda alocada para ele no BWMap anterior, sua demanda é considerada como sendo a banda utilizada incrementada de um valor fixo. Por outro lado, se ele não tiver utilizado toda a banda alocada para ele no BWMap anterior, sua demanda será considerada igual à média entre a banda alocada no *frame* anterior e a carga monitorada.
- TM com predição por regressão linear simples (TMP1): a OLT monitora a quantidade de bytes recebidos em cada T-CONT durante os últimos N *frames* de *upstream* anteriores à construção de um novo BWMap. Através de uma regressão linear simples dos valores amostrados (linha de tendência simples), a OLT pode estimar a futura demanda por banda para cada T-CONT.
- TM com predição por rede neural (TMP2): foi escolhida uma TDNN (*Time-Delay Neural Network)*, que é uma especialização das redes *Perceptron* multicamadas, por ser adequada para realizar previsões de séries temporais. A OLT monitora a quantidade de bytes recebidos em cada T-CONT durante os últimos N *frames* de *upstream* anteriores à construção de um novo BWMap e monta um vetor de amostras com estes valores (composição da série temporal). Essas amostras são apresentadas ao método de treinamento da TDNN, que executa a fase *backward* do algoritmo *backpropagation* com *momentum*. Após o treinamento, a TDNN utiliza os últimos P valores do vetor de amostras para prever o valor seguinte, através do método de operação da rede neural (fase *forward* do algoritmo *backpropagation*) [9]. A saída obtida corresponde à demanda estimada.

B. *Algoritmo de DBA*

O algoritmo de DBA segue a recomendação XG-PON [2], de acordo com os seguintes passos:

1. Considerando-se que a banda garantida (R_G) é composta pelas bandas fixa (R_F) e assegurada (R_A), atribuir R_F para todos os T-CONTs da rede, independentemente da demanda por banda (R_L);
2. Para os T-CONTs cujas demandas ainda não tenham sido completamente satisfeitas:
   - Caso R_L seja menor que ou igual à R_G, atribuir banda até que toda a demanda seja atendida.
   - Caso R_L seja maior que R_G, atribuir também toda a parcela assegurada (R_A) de R_G.
3. Se houver banda disponível no *link*, para os T-CONTs cujas demandas ainda não tenham sido completamente satisfeitas, distribuir a banda disponível no *link* (R_D) de acordo com o seguinte critério:
   - Caso R_L e R_D sejam maiores que zero e a banda já alocada ao T-CONT *i* (R_i) seja menor que a banda máxima (R_M), o T-CONT recebe banda extra (R_{BE}) definida como sendo:

$$R_{BE} = \frac{R_L}{\sum_{i=1}^{NumeroDeTCONTs} (R_L)_i} R_D$$

Portanto, os parâmetros de entrada para o algoritmo são: R_D (parâmetro do *link*), R_F, R_A, R_M e R_L (parâmetros de cada T-CONT). A saída é a banda a ser alocada para cada T-CONT (R_i). Na Figura 1, é possível visualizar todos os passos do algoritmo, até a construção do BWMap.

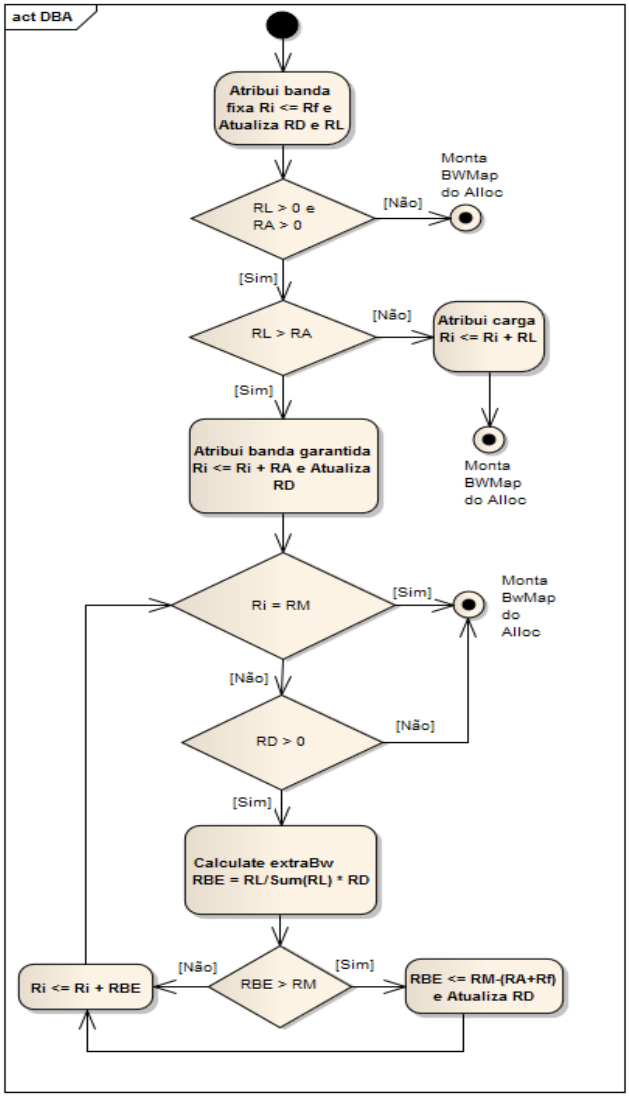


Fig. 1. Diagrama de atividades do algoritmo de DBA.

III. Avaliação de Desempenho

A. *Cenário da Simulação*

A avaliação do desempenho do algoritmo de DBA foi realizada através de estudos por simulação computacional. Para tanto, foram implementados os principais componentes da rede

XG-PON, incluindo o algoritmo de DBA utilizando diferentes métodos de inferência da demanda por banda, no ambiente de simulação de redes OMNeT++ [10].

A Figura 2 apresenta a configuração da XG-PON utilizada nas simulações. A rede é composta por 32 ONUs operando a uma taxa de 10 Gbps no sentido *downstream* e 2,5 Gbps no sentido *upstream*.

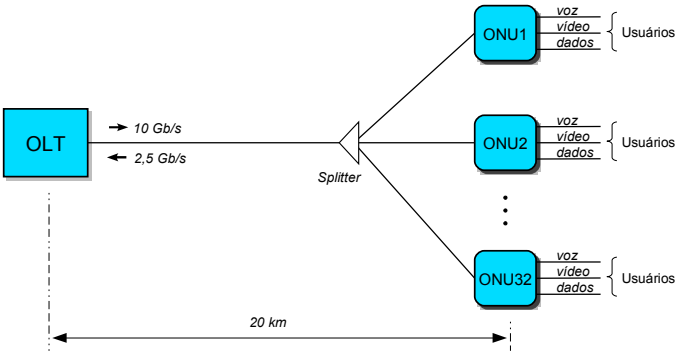


Fig. 2. Configuração da rede XG-PON.

As distâncias entre a OLT e cada ONU foram fixadas em 20 km, uma vez que o processo de *ranging* definido no padrão XG-PON equaliza os diferentes atrasos de propagação da informação na fibra devido às distâncias não-uniformes. A Tabela I apresenta os parâmetros utilizados na simulação da XG-PON [2].

TABELA I. PARÂMETROS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO DA XG-PON.

Taxa de bits no *upstream*	2,5 Gbps
Número de ONUs	32
Número de T-CONTs por ONU	3
Tamanho máximo do *buffer* de cada T-CONT da ONU [11]	10 Mbit
Distância entre OLT e ONUs	20 km
Intervalo do ciclo do DBA	1 ms
Duração do *frame* XG-PON	125 µs
Tempo de guarda entre transmissões de diferentes ONUs	64 bits (25,6 ns)
Tempo de resposta da ONU	35 µs
Número de amostras utilizadas nos métodos TMP1 e TMP2	N=10 P=3

Em termos de serviços, todas as ONUs provêem transporte de tráfegos de voz, vídeo e dados aos usuários finais. O tráfego de voz foi modelado através de um gerador de taxa constante de bits (*Constant Bit Rate* – CBR) com tamanho de pacote de 100 bytes. Para modelar o tráfego de vídeo, utilizou-se um gerador de taxa variável de bits (*Variable Bit Rate* – VBR) cujos tamanhos dos pacotes são uniformemente distribuídos entre 64 e 1500 bytes. Por fim, utilizou-se o modelo de Pareto para gerar o tráfego de dados (auto-similar) com o parâmetro de Hurst de 0,95 e tamanhos de pacotes uniformemente distribuídos entre 64 e 1500 bytes. Dado que o serviço de voz necessita de menos banda que os demais, 20% da carga total do *uplink* foi gerada por este serviço. Os 80% restantes da carga foram divididos igualmente entre os serviços de vídeo e de dados. Para simplificar as simulações, a carga total de tráfego foi distribuída uniformemente entre todas as ONUs.

Para garantir o nível de QoS adequado aos diferentes serviços, cada ONU possui três T-CONTs, um para cada classe de tráfego. Os T-CONTs atendendo uma mesma classe de tráfego foram configurados com os mesmos valores dos parâmetros de banda R_F, R_A e R_M. Para atender a carga de tráfego oferecida por cada serviço nas ONUs, os parâmetros de largura de banda foram configurados da seguinte forma [12]:

- T-CONT de voz: Os valores de R_F e R_M são configurados iguais à taxa de bits do tráfego de voz oferecido em cada ONU. O parâmetro R_A é configurado com valor zero.
- T-CONT de vídeo: O valor de R_A é configurado igual à taxa de bits média do tráfego de vídeo oferecido em cada ONU. R_M é configurada com o dobro do valor de R_A. O parâmetro R_F é configurado com valor zero.
- T-CONT de dados: O valor de R_M é configurado com o dobro da taxa de bits média do tráfego de dados oferecido em cada ONU. Os parâmetros R_F e R_A são configurados com valor zero.

Considerando que o mecanismo de DBA do padrão XG-PON atua somente no sentido *upstream*, as simulações realizadas se concentraram apenas neste sentido de transmissão.

B. *Resultados numéricos*

Nesta seção, apresentamos os resultados das simulações da XG-PON para os métodos de DBA descritos na subseção II.A.

As métricas utilizadas na avaliação de desempenho do algoritmo de DBA são as seguintes: *throughput*, atraso médio e variação do atraso de pacotes (*jitter*) para as três classes de serviço: voz, vídeo e dados.

A Figura 3 mostra o *throughput* total da rede em função da carga total de tráfego no *uplink* para os diferentes métodos de DBA. A carga total de tráfego é definida como a soma das cargas de tráfego oferecidas em todas as ONUs, considerando somente a carga útil (*payload*) sem incluir os cabeçalhos (*overhead*) do padrão XG-PON. Como pode ser observado, todos os métodos obtiveram um *throughput* muito próximo para cargas de até 100%. Para cargas acima de 100%, os métodos DBA-SR e DBA-TMP2 apresentaram um desempenho superior aos demais métodos.

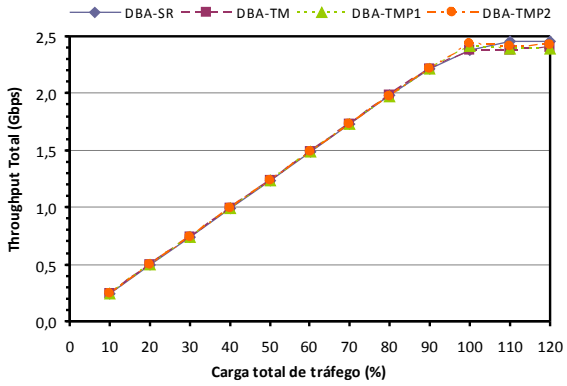
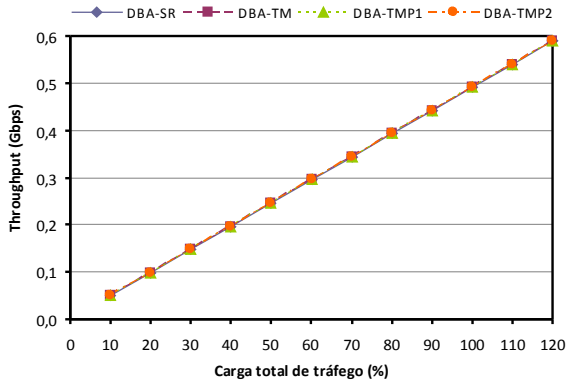


Fig. 3. *Throughput* total em função da carga total de tráfego para os diferentes métodos de DBA.

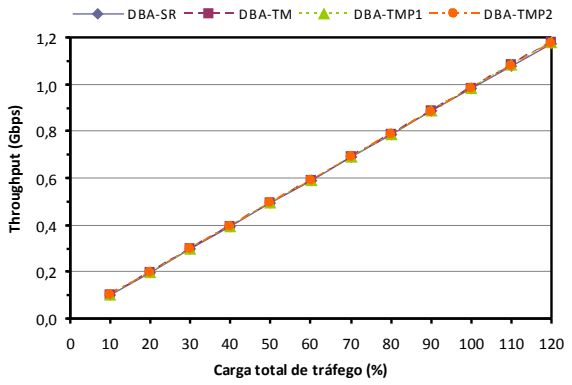
Na Figura 4, podemos observar o *throughput* para os serviços de voz, vídeo e dados. Para o serviço de voz (Figura 4a), todos os métodos apresentaram o mesmo

desempenho, uma vez que a largura de banda fixa é sempre atribuída independentemente da carga de tráfego do T-CONT. Para o serviço de vídeo (Figura 4b), novamente todos os métodos apresentaram o mesmo desempenho, pois o T-CONT de vídeo foi configurado com uma largura de banda assegurada.

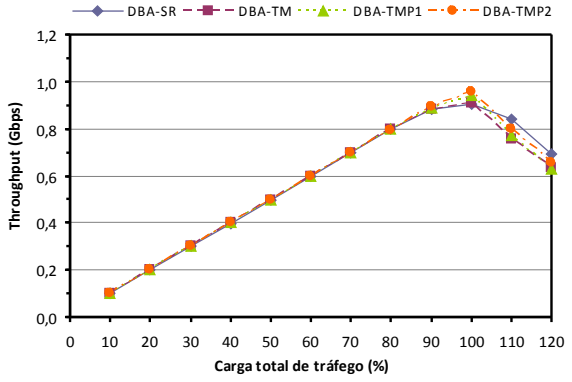
Por fim, o *throughput* do serviço de dados (Figura 4c) para cargas de tráfego de até 90% foi muito próximo para todos os métodos. Para valores de carga entre 90% e 100%, o DBA-TMP2 obteve o melhor resultado, pois conseguiu prever mais precisamente a demanda por banda tanto para o serviço de dados quanto para o de vídeo. Para cargas acima de 100%, o *throughput* do serviço de dados é penalizado, pois não há largura de banda suficiente no *link* para atender a demanda de ambos os serviços de vídeo e de dados. Como o serviço de vídeo tem prioridade no recebimento da banda, o serviço de dados não tem a sua demanda por banda atendida.



(a)

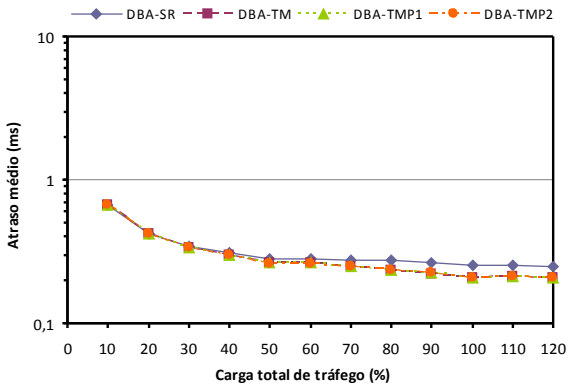


(b)

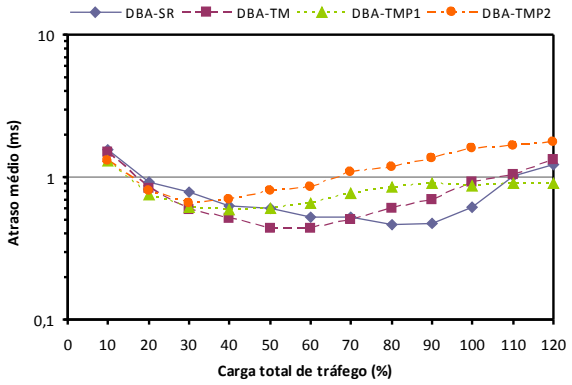


(c)

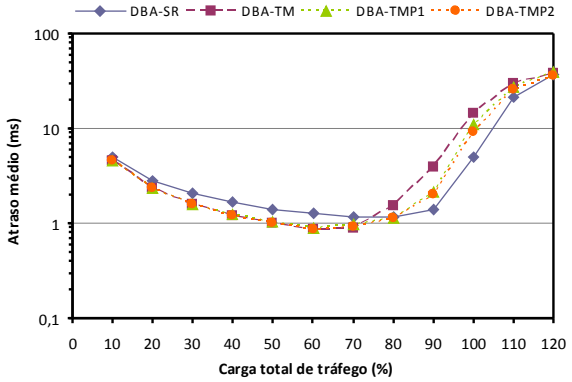
Fig. 4. *Throughput* dos serviços de (a) voz, (b) vídeo e (c) dados, para os diferentes métodos de DBA.



(a)



(b)



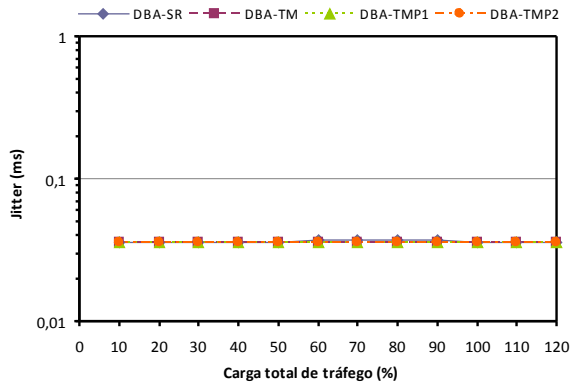
(c)

Fig. 5. Atraso médio dos serviços de (a) voz, (b) vídeo e (c) dados, para os diferentes métodos de DBA.

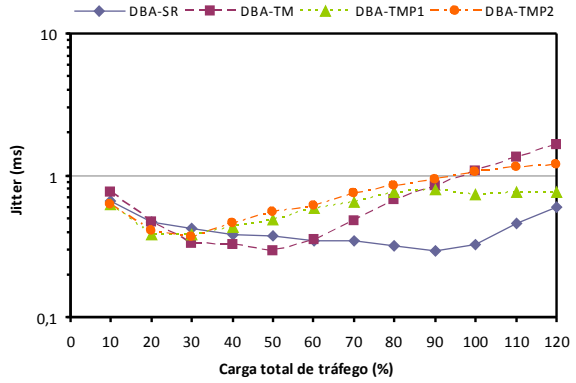
A Figura 5 apresenta o atraso médio de pacotes para os três serviços. O serviço de voz (Figura 5a) apresentou o menor atraso médio de todos os serviços, ficando abaixo de 1 ms para todas as cargas de tráfego. Isso é conseqüência da atribuição de banda fixa ao serviço de voz. Vale a pena notar que o atraso médio é maior para valores menores de carga devido à fragmentação dos pacotes de tamanho fixo do tráfego de voz. Comparativamente, o DBA-SR apresentou um desempenho pior que os demais métodos para cargas acima de 70%.

Com relação ao serviço de vídeo (Figura 5b), os métodos DBA-SR e DBA-TM apresentaram, para cargas médias, desempenhos melhores quando comparados aos outros métodos. O DBA-TMP1 também apresentou um bom desempenho, dando valores de atraso médio abaixo de 1 ms para cargas acima de 20%.

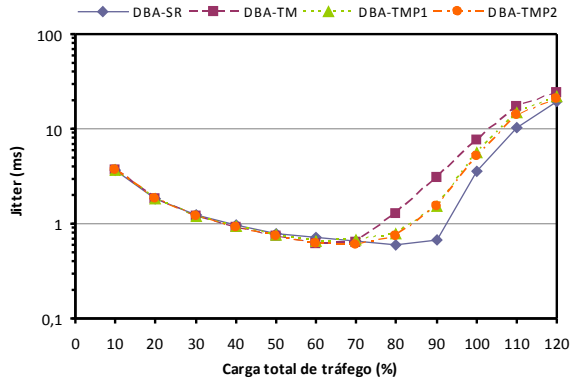
Analisando a Figura 5c, é possível notar que todos os métodos apresentaram desempenhos próximos para o serviço de dados, dando valores de atraso médio entre 1 e 15 ms para cargas de até 100%. Para cargas acima de 100%, o atraso médio dos pacotes aumenta bastante devido a uma alocação de largura de banda abaixo da demanda do serviço, conforme mostra o gráfico de *throughput* na Figura 4c.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. *Jitter* dos serviços de (a) voz, (b) vídeo e (c) dados, para os diferentes métodos de DBA.

Por fim, a Figura 6 mostra o *jitter* para os serviços de voz, vídeo e dados. Comparativamente, os quatro métodos apresentaram desempenhos semelhantes aos apresentados para o atraso médio de pacotes para os serviços de vídeo e dados (Figuras 6a e 6b). Para o serviço de voz (Figura 6a), como era esperado, todos os métodos apresentaram o mesmo desempenho devido à atribuição de largura de banda fixa ao T-CONT de voz.

IV. Conclusões

Foram apresentados, neste artigo, os resultados da avaliação de desempenho do algoritmo de DBA elaborado para uma rede XG-PON. De uma forma geral, todos os métodos de inferência da demanda por banda empregados no algoritmo de DBA foram capazes de suportar os níveis de QoS do tráfego *real-time* (voz e vídeo) enquanto garantindo uma largura de banda mínima para o tráfego *best-effort* (dados). A escolha do método mais apropriado para um determinado cenário de aplicação deve levar em conta o compromisso entre a otimização do *throughput* do *link* e o atraso de pacotes.

Trabalhos futuros incluem estudos mais aprofundados, envolvendo outros cenários de simulação, com o objetivo de verificar o potencial de aplicação de métodos preditivos no gerenciamento da largura de banda de *upstream* para XG-PON. Além disso, um estudo comparativo do uso de redes neurais com treinamento *on-line* e *off-line* para predição da demanda por banda permitiria avaliar qual rede neural apresenta o melhor desempenho na alocação dinâmica de banda.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Fundo para o Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações (FUNTTEL) pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

Referências

[1] ITU-T Recommendation G.987.1, "10-Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON): General Requirements", 2010.

[2] ITU-T Recommendation G.987.3, "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Transmission convergence (TC) specifications", 2010.

[3] 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.

[4] G. Kramer, B. Mukherjee, e G. Pesavento, "IPACT: a dynamic protocol for an Ethernet PON (EPON)", IEEE Communications Magazine, vol. 40, pp. 74-80, 2002.

[5] L. Yang, Z. Gouping, L. Qing, "A Bandwidth Allocation Algorithm for Reducing the Average Delay in GPON", 2nd International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC), pp. V1-600 – V1-603, Maio 2010.

[6] J. Jiang, M. R. Handley, J. M. Senior, "Dynamic Bandwidth Assignment MAC Protocol for Differentiated Services over GPON", Electronic Letters, vol. 42, no. 11, Maio 2006.

[7] J. Ozimkiewicz, et al. "Dynamic Bandwidth Allocation in GPON Networks", Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Circuits, Systems, Signal and Telecommunications (CISST'10), pp. 182-187, Janeiro 2010.

[8] 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 2009). Setembro 2009.

[9] I. N. Silva, D. H. Spatti, R. A. Flauzino, Redes Neurais Artificiais: para engenharia e ciências aplicadas, Artiliber, 2010.

[10] OMNeT++ Community, OMNeT++: Network Simulation Framework. Nov. 2011. Disponível em: http://www.omnetpp.org/.

[11] B. Skubic, J. Chen, J. Ahmed, L. Wosinska, B. Mukherjee, "A Comparison of Dynamic Bandwidth Allocation for EPON, GPON, and Next-Generation TDM PON", IEEE Communications Magazine, pp. S40-S48, Março 2009.

[12] J. Zhang, N. Ansari, Y. Luo, F. Efferberger, F. Ye, "Next-Gemeration PONs: A Performance Investigation of Candidate Architectures for Next-Generation Access Stage 1", IEEE Communications Magazine, vol. 47, pp. 49-57, Agosto 2009.