

# Análise do Atraso na Transmissão de Pacotes em Redes WiMAX utilizando o NS-3

Lucas Y. C. Parentes<sup>1</sup>, Ênio L. V. Barbosa<sup>1</sup>, Thiago A. R. Silva<sup>1</sup>, André C. B. Soares<sup>1</sup>, Anderson L. Sanches<sup>2</sup>, Guilherme G. Lage<sup>3</sup>, Ricardo A. L. Rabêlo<sup>1</sup>, José Valdemir R. Junior<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Computação – Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
Teresina – PI – Brasil

<sup>2</sup> Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas  
Universidade Federal do ABC (UFABC) – Santo André – SP – Brasil

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)  
São Carlos – SP – Brasil

**Abstract.** *This paper presents a study evaluating the delay in packets transmission to PMP (Point-to-Multipoint) topology in WiMAX networks. To analyze the delay in packet transmission we considered different modulation formats: BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) and QAM (Quadrature Amplitude Modulation), and for the QoS (Quality of Service) class: UGS (Unsolicited Grant Service), RTPS (Real-Time Polling Service), NRTPS (Non-Real-Time Polling Service) and BE (Best Effort). For the realization of the simulations, the NS-3 (Network Simulator - version 3) was used. In terms of modulation format, the results show that QAM64\_34 compared to BPSK\_12 showed a lower delay time between packets of 89.96%, or 16.91 ms (milliseconds). In terms of QoS class, the UGS showed a minimum delay time between packets of 123.61% or 10.38 ms.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta um estudo de avaliação de atraso na transmissão de pacotes para topologia PMP (Point-to-Multipoint) nas Redes WiMAX. Para análise do atraso na transmissão de pacotes foram considerados diferentes formatos de modulação: BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) e QAM (Quadrature Amplitude Modulation), e para as classes de QoS (Quality of Service): UGS (Unsolicited Grant Service), RTPS (Real-Time Polling Service), NRTPS (Non-Real-Time Polling Service) e BE (Best Effort). Para realização das simulações foi utilizado o NS-3 (Network Simulator - version 3). Em termos de formato de modulação, os resultados apontam que a QAM64\_34 comparada a BPSK\_12 apresentou um tempo inferior de atraso entre pacotes de 89.96%, ou 16.91 ms (milissegundos). Em termos de classes de QoS, o UGS apresentou um tempo mínimo inferior de atraso entre pacotes de 123.61%, ou 10.38 ms.*

## 1. Introdução

Com a crescente demanda de tráfego da Internet, surge a necessidade de altas taxas de transmissão de dados com uma ampla área de cobertura para conexão sem fio pelos serviços emergentes (aplicações multimídias, dispositivos móveis, aplicações de rede em

tempo real, etc). Neste contexto, as redes WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) têm se destacado por atender a altas taxas de transmissão de dados em uma ampla área geográfica [Silva 2016].

As redes WiMAX apresentam uma arquitetura com suporte a múltiplas faixas de frequências de operação oferecendo segurança e flexibilidade. Utiliza o padrão IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.16, estabelecendo especificações das camadas MAC (*Medium Access Control*) e PHY (*Physical*) para redes de acesso de banda larga sem fio. Além disso, caracteriza um sistema aberto com destaque em qualidade de serviço (*QoS - Quality of Service*) e interoperabilidade [IEEE 2012].

Aplicações multimídia são suscetíveis ao erro e atraso de dados, necessitando de uma infraestrutura com alta QoS e maiores larguras de banda. A quantidade de tráfego que um dispositivo pode encaminhar é limitada pela capacidade de sua largura de banda [de Oliveira and Guardieiro 2011]. Quando muitos pacotes chegam a um dispositivo ao mesmo tempo, o dispositivo pode não suportar a essa demanda e, conseqüentemente, não irá obter todos os pacotes de dados devido à baixa largura de banda resultando em congestionamento, atraso e perda de pacotes [Malankar and Shah 2017]. O atraso na transmissão de pacotes é definido como o tempo entre a chegada do pacote no buffer de transmissão MAC do nó origem e o tempo em o pacote é completamente entregue ao protocolo da camada superior no nó destino [IEEE 2012].

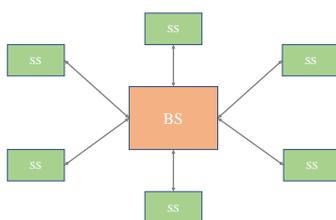
Neste contexto, este artigo apresenta um estudo de avaliação do atraso na transmissão de pacotes adotando os formatos de modulação: BPSK, QPSK e QAM, e classes de QoS: UGS, BE, RTPS e NRTPS para topologia PMP utilizando o NS-3. O trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2 são descritos os principais conceitos de redes de acesso sem fio WiMAX; na Seção 3 são apresentados os principais trabalhos relacionados; já na Seção 4 são apresentadas as técnicas de modulação e classes de serviço; enquanto que na seção 5 são descritos os resultados; seguidos das conclusões.

## **2. Redes de Acesso WiMAX**

A rede WiMAX é uma tecnologia que fornece mais largura de banda, maior cobertura, melhor QoS e segurança com baixo custo de infraestrutura [Silva 2016]. Neste contexto, a rede WiMAX definida pelo padrão IEEE 802.16 é constituída por dois elementos: estações base (*BS - Base Station*) e estações clientes (*SS - Subscriber Station*).

A BS representa o nó central que controla todas as atividades realizadas pelas SS, permitindo a comunicação entre elas. As SS comunicam-se através de duas formas: i) utilizando uma topologia PMP, em que toda a comunicação é feita através da BS, ou seja, para transmissão de dados de uma SS (origem) para uma SS (destino) é necessário comunicar-se com a BS, conforme ilustra a Figura 1 e ii) utilizando uma topologia *Mesh*, em que a transmissão de dados de uma SS (origem) para uma SS (destino) pode ocorrer de forma direta, sem necessitar ter seu tráfego roteado pela BS [Dosciatti 2015].

Neste contexto, a BS utiliza especificações da camada PHY para transmitir pacotes de dados no meio físico empregando técnicas de modulação como: BPSK, QPSK e QAM, no qual cada modulação transmite uma quantidade de bits por símbolo com uma determinada distância de propagação, sendo as necessidades da aplicação e condições do canal determinantes para a escolha da modulação [Wang 2011]. Além disso, o padrão WiMAX define especificações da camada MAC permitindo a BS atender às necessidades das



**Figura 1. Comunicação entre a estação base e clientes no cenário WiMAX. [IEEE 2012]**

SS para garantir requisições de diferentes larguras de banda. A camada MAC controla o acesso ao meio físico através do estabelecimento e manutenção das conexões fornecendo QoS [Grover and Chawla 2015].

### 3. Trabalhos Relacionados

Os autores em [Grover and Chawla 2015] apresentam uma análise de desempenho de QoS para o padrão IEEE 802.16 nas redes de acesso WiMAX. É avaliada a QoS dos parâmetros jitter e atraso médio utilizando o simulador Opnet 14.5. Ainda os mesmos autores investigaram diferentes tipos de tráfego. Os resultados apontam que o tráfego FTP (*File Transfer Protocol*), tráfego de vídeo, e-mail e VoIP (*Voice Over Internet Protocol*) são mais proveitoso nas classes de serviço nrtPS, rtPS, BE e UGS, respectivamente.

Já os autores em [Dosciatti 2015] apresentaram uma arquitetura para o tráfego *uplink* nas estações base das redes WiMAX, que provesse mecanismos de QoS para classes de serviços específicas, com garantias de recursos para as classes com tráfego em tempo real e garantia de recursos mínimos necessários para as que não necessitem ser em tempo real.

Os autores em [Malankar and Shah 2017] apresentam uma análise de uma rede WiMAX aplicada para vídeo conferências considerando a QoS. Os autores analisam os parâmetros de atraso de pacotes, quantidade de dados trafegados e taxas de transferência da rede. Ainda os mesmos autores, utilizaram diferentes técnicas de modulação para avaliação de aplicações que requerem maiores taxas de transferência e com tolerância a atrasos. Os resultados apontam que modulações mais robustas (*QAM64\_34*) são mais adequadas para aplicações sensíveis a atrasos que necessitam de maiores taxas de transferência.

### 4. Atraso na Transmissão de Pacotes em Redes WiMAX

O atraso na transmissão de pacotes nas Redes WiMAX é influenciado pelas classes de serviço e técnicas de modulação [Dosciatti 2015] [Malankar and Shah 2017].

Alguns formatos de modulação possuem a capacidade de transmitir mais bits por símbolo, por exemplo o QAM, e outros transportam menos bits por símbolo, como o BPSK, ou seja, modulações mais robustas como o QAM, possuem altas taxas de transferências, no entanto, apresentam uma menor distância de propagação e estão mais suscetíveis a erros como interferência entre símbolos e sensibilidade ao ruído. Enquanto que, modulações menos robustas, como BPSK, permitem maiores distâncias de propagação e possuem baixas taxas de transferência [Ismail et al. 2010][Wang 2011].

Para facilitar o compartilhamento de largura de banda entre diferentes usuários os serviços são agrupados em quatro classes de acordo com os requisitos de QoS de cada aplicação: UGS, RTPS, NRTPS e BE [de Oliveira and Guardieiro 2011]. A classe UGS primeira é definida para suportar aplicações em tempo real gerando pacotes de dados de tamanho fixo em intervalos regulares, como VoIP. Tais aplicações necessitam de atrasos mínimos nas requisições das SS exigindo tráfego CBR (*Constant Bit Rate*). Já a classe RTPS também é voltada para aplicações em tempo real sensíveis ao atraso com pacotes de tamanhos variáveis, como vídeos MPEG (*Moving Picture Experts Group*) e *streaming* de áudio, permitindo que as SS solicite a quantidade de largura de banda desejada através de requisições [Grover and Chawla 2015].

A classe NRTPS é escolhida para aplicações tolerantes ao atraso, garantindo regularmente uma largura de banda mínima mesmo em condições de congestionamento, como o protocolo FTP. Enquanto que, a classe de serviço BE não fornece garantias de largura de banda mínima, sendo direcionada para aplicações que não solicitem garantias de taxas de dados ou atrasos mínimos, como o tráfego *Web* [Farooq and Turletti 2009].

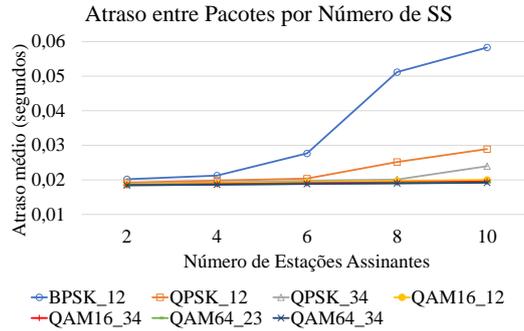
## 5. Análise dos Resultados

Para realização das simulações computacionais, foi utilizada a ferramenta NS-3 (*Network Simulator - 3*) para a topologia PMP. A topologia PMP é a mais utilizada na prática pois permite que a estação base gerencie a comunicação entre múltiplas estações assinantes [Farooq and Turletti 2009]. Os parâmetros para simulação utilizados foram a faixa de frequência correspondente ao canal de transmissão de 2.3GHz e largura de banda (capacidade de transmissão do meio) do canal WiMAX de 10 MHz. Além disso, adotou-se uma estação base (BS) e uma quantidade par de estações assinantes (SS) com valores variando de 2 a 10 [Silva 2016]. O modelo de propagação do canal aplicado é COST 231. A altura da antena da estação base é definida em 50 metros, enquanto que a de estações assinantes é de 3 metros. A distância entre BS e SS é de 8km [Ismail et al. 2010]. Os parâmetros utilizados são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Parâmetros para as simulações. [Farooq and Turletti 2009]**

Parâmetros	Valores
Canal de Transmissão	2.3 GHz
Largura de Banda	10 MHz
Número de SS	2-10
Modelo de Perda de Propagação	COST 231
Altura da Antena (BS)	50 metros
Altura da Antena (SS)	3 metros
Distância entre SS e BS	8 quilômetros

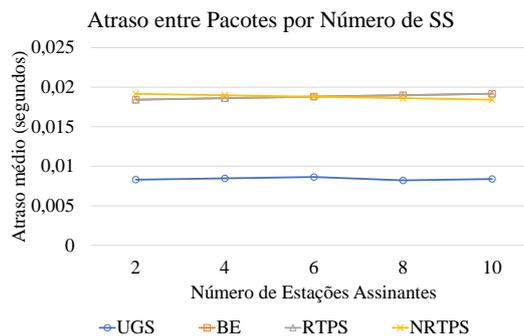
Para análise do atraso na transmissão de pacotes foram utilizados os sete formatos de modulação definidos pelo padrão IEEE 802.16: *BPSK\_12*, *QPSK\_12*, *QPSK\_34*, *QAM16\_12*, *QAM16\_34*, *QAM64\_23* e *QAM64\_34* com um número crescente de usuários da rede (SS). Neste contexto, foi empregada a classe de serviço BE permitindo analisar a QoS da rede sem garantias da largura de banda. A Figura 2 apresenta o atraso entre pacotes por número de SS com diferentes formatos de modulação. Na Figura 2, a modulação *QAM64\_34* apresenta um tempo inferior de atraso entre os pacotes quando



**Figura 2. Atraso entre pacotes considerando diferentes formatos de modulação.**

comparado aos formatos de modulação *BPSK\_12*, *QPSK\_12*, *QPSK\_34*, *QAM16\_12*, *QAM16\_34* e *QAM64\_23*. Quanto maior a quantidade de bits por símbolos transmitidos, maior a taxa de transmissão de dados para uma determinada largura de banda. Foi feito o cálculo da média dos resultados apresentado pelos formatos de modulação afim de obter o atraso médio. Em termos de atraso médio, o formato de modulação *QAM64\_34* apresentou um atraso médio inferior de 89.96%, 20.66%, 8.40%, 2.96%, 1.18% e 0.29% quando comparando aos formatos de modulação *BPSK\_12*, *QPSK\_12*, *QPSK\_34*, *QAM16\_12*, *QAM16\_34* e *QAM64\_23*, respectivamente. Estes valores correspondem a 16.91 ms, 3.88 ms, 1.58 ms, 0.56 ms, 0.22 ms e 0.06 ms, respectivamente.

Adicionalmente, foram avaliadas quatro tipos diferentes de classes de serviço: *UGS*, *RTPS* e *NRTPS* e *BE*. Neste cenário, foi utilizada a modulação *QAM64\_34* por permitir as maiores taxas de transferência, de modo a maximizar o desempenho da rede. A Figura 3 apresenta o atraso entre pacotes por número de SS utilizando diferentes classes de serviços. De acordo com a Figura 3, a classe de serviço *UGS* apresentou



**Figura 3. Atraso entre pacotes considerando diferentes classes de serviço.**

um menor atraso quando comparado as classes de serviço *BE*, *RTPS* e *NRTPS*. Através do cálculo da média, a classe de serviço *UGS* apresentou um atraso médio inferior de 123.70%, 123.70% e 123.61% quando comparado as classes de serviços *BE*, *RTPS* e *NRTPS*, respectivamente. Estes valores correspondem a 10.39 ms, 10.39 ms e 10.38 ms, respectivamente.

## 6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi realizada uma análise de QoS de redes de acesso WiMAX em termos de atraso na transmissão de pacotes considerando diferentes formatos de modulação e classes de serviços. Os resultados indicam que modulações menos robustas são suscetíveis a um maior impacto do crescimento do número de participantes da rede. Além disso, o valor do atraso na transmissão de pacotes aumenta para as modulações BPSK e QPSK possuindo oscilação inferior na modulação QAM. Em termos de classes de serviço, observou-se que a classe UGS apresenta-se como a mais recomendada para aplicações em tempo real sensíveis ao atraso, dado que o tempo de atraso médio na transmissão de pacotes apresentou até duas vezes menor quando comparado as classes de serviço RTPS, NRTPS e BE. Para trabalhos futuros é necessária uma análise de outros parâmetros de QoS como: *throughput*, *jitter* e perda de pacote, para cenários com um número maior de usuários. Além disso, uma integração entre redes WiMAX e redes ópticas passivas (*PON - Passive Optical Network*) é desejável, de modo a ganhar em taxas de transmissão mantendo a escalabilidade da rede.

## Referências

- de Oliveira, A. N. and Guardieiro, P. R. (2011). Análise do escalonamento uplink em redes wimax considerando a camada física ofdm.
- Dosciatti, E. R. (2015). Uma nova arquitetura para provisão de qos utilizando enxame de partículas em redes wimax fixas.
- Farooq, J. and Turetli, T. (2009). An iee 802.16 wimax module for the ns-3 simulator. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*, page 8. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- Grover, P. and Chawla, M. (2015). Performance analysis of qos for wimax using opnet. In *Computer, Communication and Control (IC4), 2015 International Conference on*, pages 1–4. IEEE.
- IEEE (2012). Ieee standard for air interface for broadband wireless access systems. *IEEE Std 802.16-2012*, pages p.1–2542.
- Ismail, M. A., Piro, G., Grieco, L. A., and Turetli, T. (2010). An improved iee 802.16 wimax module for the ns-3 simulator. In *Proceedings of the 3rd International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, page 63. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- Malankar, N. R. and Shah, R. (2017). Qos analysis over wimax network with varying modulation schemes and efficiency modes. *International Journal of Computer Applications*, 162(8).
- Silva, T. A. R. d. (2016). Estudo e desenvolvimento de uma abordagem para a determinação da sequência de ajustes no controle da magnitude de tensão em sistemas de transmissão de energia elétrica considerando aspectos da infraestrutura de comunicação de dados.
- Wang, M. (2011). Wimax physical layer: Specifications overview and performance evaluation. In *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011 IEEE*, pages 10–12. IEEE.