

Padrão IEEE 802.16 – Uma Visão Geral sobre o WIMAX

Ricardo Rodrigues Barcelar

UNIR – União de Escolas Superiores de Rondonópolis
Rondonópolis MT

ricardobarcelar@email.com.br

***Abstract.** This article shows an overview about technology for transmission of data and voice in wireless network of long distance, the WIMAX. This technology considers higher speed and evidences a new panorama in the way to pass through data and voice. The worldwide interoperability for microwave access (technique definition of standard 802.16) implements great broadband, protocol independence, besides adding several services with the advantage not to demand non line of sight between base stations and subscriber stations, admitting the OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation). Once it is a technology for metropolitan network with superior reach of 31,07 miles to a speed of up to 134 Mbps, it provides ample covering to a reasonable speed, as well as security and quality of service.*

***Resumo.** Este artigo mostra uma visão geral sobre a tecnologia para transmissão de dados e voz em redes sem fio de longa distância, o WIMAX. Esta tecnologia propõe velocidades mais altas e evidencia um novo panorama na maneira de trafegarem dados e voz. A interoperabilidade mundial para acesso de microondas (definição técnica da norma 802.16) implementa grande largura de banda, independência de protocolo, além de agregar vários serviços com a vantagem de não exigir linha de visada entre estações base e estações clientes, possibilitando a modulação OFDM (Modulação por Divisão de Freqüência Ortogonal). Sendo uma tecnologia para redes metropolitanas com alcance superior a 50 km a uma velocidade de até 134 Mbps, proporciona ampla cobertura a uma velocidade razoável, bem como segurança e qualidade de serviço.*

1. INTRODUÇÃO

As redes sem fio surgiram como uma solução a mobilidade e ao acesso remoto, onde é difícil ou muito dispendioso implantar a tradicional infra-estrutura de rede. A cada dia, a tecnologia sem fio é mais empregada, permite uma série de novas funcionalidades para a troca de informações e proporciona, assim, mobilidade a custos relativamente baixos.

Podem ser definidos três principais padrões de redes sem fio, conforme ilustração da figura 1.

- WPAN (*Wireless Personal Area Networks*) ou rede sem fios pessoal definido pelo padrão *bluetooth* incorporado no padrão 802.15.

- WLAN (*Wireless Local Area Networks*) ou rede sem fio local definido pelo padrão 802.11 (a, b ou g).
- WMAN (*Broadband Wireless Metropolitan Area Network*) ou rede sem fio metropolitana definido pelo Padrão 802.16.

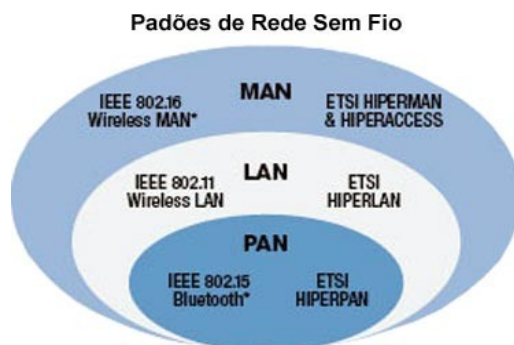


Figura 1. Padrões de Rede Sem Fio
Fonte: Adaptação de Teixeira (2004)

Na atual conjuntura, as redes definidas pelo padrão 802.11 se despontam no mercado por se encontrarem em um estágio de desenvolvimento já avançado. No entanto, desde o final da década de 90, vêm sendo realizados estudos no sentido de tornar o acesso a banda larga em redes metropolitanas sem fio mais amplo e a custos reduzidos. Isto define o propósito das redes sob a égide do Padrão 802.16, também conhecidas por *Wimax*.

Em linhas gerais, esse padrão consiste de estações base que fornecem conectividade a centenas de assinantes ou estações clientes em uma área bastante abrangente a uma velocidade máxima compreendida entre 75 e 134 Mbps (*Megabits* por segundo).

Muitos são os benefícios oferecidos por este padrão, como:

- Grande largura de banda: uma estação base pode transmitir, simultaneamente, o acesso a centenas de empresas e/ou residências com conectividade do tipo T1 - padrão americano PCM (*Pulse Code Modulation* - Modulação Codificada por Impulsos) 24, E1 - padrão brasileiro PCM 30 ou DSL (*Digital Subscriber Line* - Linha de Assinante Digital).
- Independência de protocolo: pode transportar IP (*Internet Protocol* – Protocolo de Internet), *Ethernet*, ATM (*Asynchronous Transfer Mode* – Modo de Transferência Assíncrona), dentre outros.
- Serviços agregados: pode transmitir voz sobre IP (VoIP), dados, vídeos, dentre outros.
- Compatibilidade: é compatível com as antenas de telefonia de terceira geração.

Segundo Prado (2005), o padrão 802.16, ratificado em dezembro de 2001, foca basicamente a faixa de frequência de 10 GHz a 66 GHz, considerando aplicações com linha de visada. Em 2003, foi concluída a versão 802.16a que foca aplicações sem linha de visada e a interoperabilidade nas faixas de frequência entre 2 GHz e 11 GHz. Atualmente, o *Wimax* trabalha com os padrões 802.16d (concluído em junho de 2004) e 802.16e (concluído em dezembro de 2005). O primeiro, uma evolução do 802.16a, é o

padrão de acesso sem fio de banda larga fixa, enquanto o 802.16e, é o padrão de acesso sem fio de banda larga móvel, assegurando conectividade a velocidades de até 100 Km/h.

O *Wimax* utiliza a modulação OFDM (*Orthogonal Frequency Division Modulation* – Modulação por Divisão de Frequência), o que permite uma conexão sem linha de visada – *NLOS(Non-Line of Sight)* entre estações base e clientes. Diferente do FHSS(*Frequency-Hopping Spread Spectrum* – Espalhamento de Espectro por Salto de Frequência) e do DSSS (*Direct- Sequence Spread Spectrum* – Espalhamento de Espectro por Sequência Direta), o OFDM transmite centenas de portadoras, simultaneamente, em diferentes frequências com espaçamento ortogonal, a fim de evitar interferências. Dessa forma, basta a recuperação de apenas uma portadora para recuperar a mensagem transmitida. Utilizando a modulação OFDM, foi possível resolver a problemática da interferência por sinais de rádios em prédios e paredes através da grande quantidade de portadoras minimizando as atenuações em algumas faixas de frequência. A performance sem linha de visada é assegurada mais fortemente quando se está próximo da estação base, entre 5 e 8 Km, porém com linha de visada pode-se atingir um alcance compreendido entre 50 e 70 Km.

O *Wimax* é uma solução completa para voz, dados e vídeo com qualidade de serviço (QoS) e segurança, no entanto alguns padrões ainda não estão muito bem definidos, mesmo assim pode-se prever um grande crescimento desta tecnologia nos próximos anos.

Este artigo está dividido em 4 partes. A primeira uma introdução ao tema e a organização do artigo. A segunda como o padrão está organizado, delimita suas principais camadas e subcamadas, além de especificar conceitos importantes do protocolo 802.16. Na terceira, será explanado sobre a qualidade de serviço no *Wimax*. E por fim, uma breve conclusão.

2. ORGANIZAÇÃO DO PADRÃO 802.16

A estrutura de protocolos do Padrão 802.16 segue o padrão 802, no entanto, possui mais subcamadas. A figura 2 mostra como estão divididas e organizadas as camadas e subcamadas do protocolo.

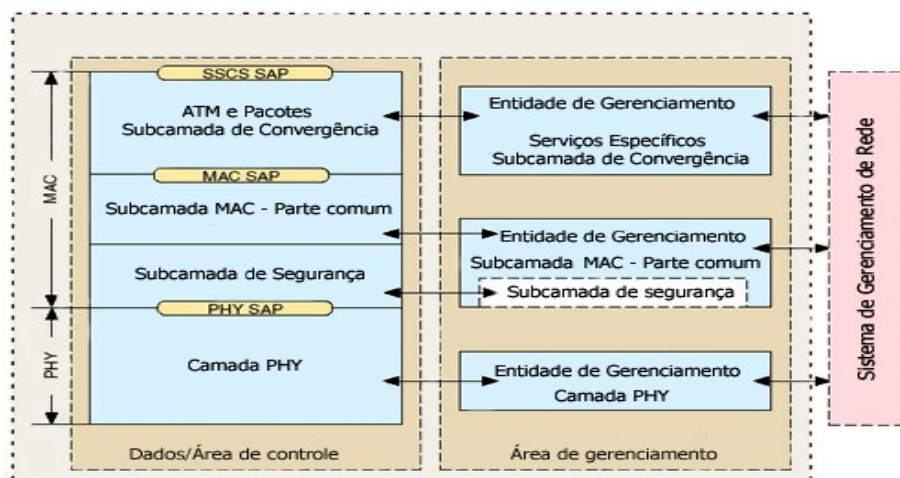


Figura 2. Referência de camadas
Fonte: Adaptação de Marks (2001)

2.1. Camada Física (PHY)

Para especificar a camada física da primeira versão do protocolo 802.16, compreendida pela faixa de 10 a 66 GHz, foi utilizada a modulação de portadora única (*Single Carrier*) com uma taxa de 134,4 Mbps. Segundo Marks (2001), para possibilitar o uso flexível do espectro, esta versão utiliza tanto configurações TDD (Duplexação por Divisão de Tempo), em que o *uplink* e o *downlink* dividem o mesmo canal, porém não transmitem simultaneamente; ou FDD (Duplexação por Divisão de Frequência) em que o *uplink* e o *downlink* estão em canais separados podendo operar concorrentemente. Assim sendo, permite estações clientes operando no modo *full-duplex* ou *half-duplex*.

Uma característica interessante da camada física é a capacidade de reunir vários quadros MAC (*Média Access Control* - Controle de Acesso ao Meio) enfileirados em uma única transmissão física, aumentando a eficiência espectral e diminuindo o número de preâmbulos e cabeçalhos da camada física.

Outra característica é a correção antecipada de erros na camada física proporcionada pelo uso de códigos de *Hamming*¹. Em outras redes é usado o *checksum* para detectar erros e solicitar retransmissões quando os quadros são recebidos com erros. Como no *Wimax* os erros são muitos, a correção é realizada na camada física e o *checksum* é realizado nas camadas mais altas. Dessa forma, a correção de erros faz o canal parecer melhor do que realmente é.

O Padrão IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) 802.16 utiliza um sistema de modulação adaptativo utilizando três esquemas de modulação: QAM² (*Quadrature Amplitude Modulation* – Modulação de Amplitude em Quadratura)-64, QAM-16 e o QPSK³ (*Quadrature Phase Shift Keying* - Modulação por Deslocamento de Fase em Quadratura), conforme ilustrado na figura 3.

A modulação do sinal é adequada de acordo com a situação do *link*. Se o *link* de rádio for de boa qualidade é usado o esquema de modulação QAM-64. Ocorrendo atenuação no sinal a modulação é alterada para QAM-16 e, dependendo do caso, para QPSK, isso com a finalidade de manter a qualidade e estabilidade da conexão.

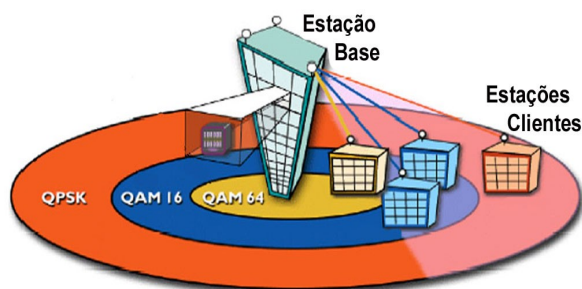


Figura 3. Modulação adaptativa

Fonte: Marks (2001)

-
- 1 Códigos de *Hamming*: família de códigos lineares responsável pela detecção e localização de erro.
 - 2 QAM: Tipo de modulação que combina técnicas de modulação de amplitude e de fase para aumentar a taxa de transmissão.
 - 3 QPSK: Tipo de modulação de fase na qual 4 diferentes ângulos de fase ortogonais são utilizados.

Normalmente, a atenuação do sinal ocorre devido ao aumento da distância entre a estação base e a estação cliente. Os diferentes tipos de modulação permitem o aumento no alcance do sinal, porém traz uma conseqüente redução da vazão, como pode ser verificado na tabela 1. A taxa de transmissão depende da modulação e dos códigos utilizados. Segundo Carvalho (2003), o padrão apresenta vários formatos de modulação e multiplexagem para suportar diversas aplicações.

Tabela 1. Vazão por modulação

Tamanho Canal (MHz)	Taxa Símbolos Msym/s	Taxa (Mbps) QPSK	Taxa (Mbps) QAM-16	Taxa (Mbps) QAM-64
20	16	32	64	96
25	20	40	80	120
28	22.4	44.8	89.6	134.4

Fonte: Marks (2001)

As propriedades de *uplink* e de *downlink* são associadas a cada *frame* de forma a permitir que os esquemas de modulação e codificação sejam ajustados dinamicamente, adaptando-se às mudanças nas condições do *link*. Assim, a modulação adaptável permite o uso mais eficiente da largura de banda.

Canais entre 1,25 e 20 MHz são usados no padrão IEEE 802.16a. O espectro de 2 à 11 GHz não requer visada, nem direção, porém necessita de técnicas que suportem a propagação por vários caminhos, podendo as ondas sofrerem desvios devido a refração das camadas atmosféricas. Para possibilitar essa característica, o padrão utiliza OFDM e OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access* - Acesso Multiplex para Divisão de Frequência Ortogonal), eficientes em ambientes dispersivos, onde os sinais são refletidos em vários pontos. Segundo Marks (2004), a técnica que utiliza OFDM transmite sinais simultâneos em diferentes frequências com espaçamento ortogonal para evitar interferências. Ela reduz a velocidade de transferência de bits, dividindo o fluxo de alta velocidade em diversos fluxos de menor velocidade. Já no OFDMA, o canal é dividido em vários subcanais alocados a diferentes assinantes que acessam a estação base, simultaneamente, por diferentes canais de tráfego. Os subcanais permitem um *link* balanceado entre o *downlink* e o *uplink*.

2.2. Camada de Acesso ao Meio (MAC)

A camada MAC corresponde à camada acima da camada física. Nela são associadas funções de fornecimento de serviços que suportam múltiplas especificações da camada física, permitindo a fornecedores de tecnologia ampliar as ofertas de serviços. A MAC é versátil e flexível podendo suportar vários esquemas de multiplexação e demultiplexação, sendo a responsável por exercer funções relacionadas ao controle de acesso e transmissão dos dados.

Segundo Tanenbaum (2003), a camada MAC é orientada a conexão, o que contribui na garantia da qualidade de serviço oferecida pelo protocolo.

O protocolo MAC é capaz de trabalhar com altas taxas de *bits*, tanto no *uplink* como no *downlink*. Sendo assim, os algoritmos de acesso e de alocação acomodam centenas de terminais por canal que são compartilhados pelas estações clientes. Para suportar os serviços de dados, voz e imagem a MAC também é capaz de acomodar tráfegos contínuos e tráfegos em rajadas.

A MAC possui três subcamadas:

- Subcamada de convergência;
- Subcamada da parte comum;
- Subcamada de segurança.

2.2.1. Subcamada de convergência

É a subcamada responsável por transformar e mapear dados externos da rede nas Unidades de Dados do Serviço, recebidas pelas subcamadas da parte comum incluindo a associação ao fluxo de serviço da MAC, podendo incluir funções como supressão do cabeçalho de carga útil.

A subcamada de convergência é definida para ATM, IP e *Ethernet*. O Padrão 802.16 define duas camadas de convergências específicas ao serviço, de modo a mapear serviços que têm por origem e fim as conexões MAC 802.16. São elas, a subcamada de convergência ATM e a subcamada de convergência de pacotes. A primeira é definida para os serviços ATM, enquanto a subcamada de convergência de pacotes mapeia serviços de pacotes como IPv4 (*Internet Protocol Version 4* – Protocolo de Internet Versão 4), IPv6 (*Internet Protocol Version 6* – Protocolo de Internet Versão 6), *Ethernet* e *Virtual Local Area Network* (VLAN).

Conforme Eklund (2002), esta subcamada permite a alocação de banda, bem como preserva ou ativa o QoS e realiza funções como supressão e reconstrução de cabeçalhos da carga útil, melhorando a eficiência do *link* aéreo.

2.2.2. Subcamada da parte comum

É responsável por proporcionar a alocação de largura de banda, estabelecimento e manutenção de conexão. Ela recebe os dados das subcamadas de convergência e os classifica em uma conexão particular. Assim, associa parâmetros de QoS e de tráfego, transportando e roteando os dados para uma subcamada de convergência apropriada.

Como a camada MAC é orientada à conexão é necessário a existência de uma manutenção ativa. As exigências de manutenção variam de acordo com o tipo de serviços conectados. Essas conexões são referenciadas por Identificadores de Conexão (CIDs) de 16 *bits* que permitem ao sistema saber a sua situação.

Segundo Marks (2001), as estações clientes possuem um endereço MAC de 48 *bits* que tem por finalidade identificar o equipamento. Quando um equipamento entra na rede ele recebe três conexões de gerenciamento em cada direção, que refletem os requisitos de QoS usados em cada nível:

- Conexão Base: responsável por mensagem de tempo crítico e RLC (*Radio Link Control* – Controle do Link de Rádio).
- Conexão primária de gerenciamento: utilizada para autenticação e estabelecimento de conexão.

- Conexão secundária de gerenciamento: utilizada para gerenciamento baseado em padrões como DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol* - Protocolo de Configuração Dinâmica de Máquinas), TFTP (*Trivial File Transfer Protocol* - Protocolo Simples para a Transferência de Arquivos), dentre outros.

Conforme Eklund (2002), a fim de facilitar a diferenciação entre parâmetros de tráfego e QoS no *uplink* e *downlink* as conexões são unidirecionais.

2.2.3. Subcamada de segurança

Características de privacidade e segurança estão previstas no Padrão 802.16, permitindo transmissões seguras, incluindo procedimentos de autenticação. Tais características estão delimitadas nesta subcamada de segurança, também denominada subcamada de privacidade.

Conforme Marks (2001), a segurança do *Wimax* suporta a autenticação com certificados X.509 (IETF RFC 3280) e criptografia, podendo utilizar algoritmos como o Triplo-DES(128 bits), o RSA(1024 bits), dentre outros. A utilização de criptografia impede o acesso não autorizado protegendo o fluxo de serviços que estão disponíveis na rede.

O Padrão 802.16 utiliza um sistema híbrido de criptografia: a criptografia assimétrica para autenticação e transporte de chaves e a criptografia simétrica para cifragem e descifragem de dados. O certificado digital X.509, que por sua vez encontra-se na estação cliente, tem sua identidade autenticada pela estação base. Neste certificado estão contidos os endereços MAC e a chave pública (K_u).

Para que isso ocorra, é necessário haver uma associação de segurança que contenha informações sobre o algoritmo de criptografia, o algoritmo de autenticação e o algoritmo para troca de chaves. Ao ser realizada a conexão da estação cliente com a estação base é realizado um processo de autenticação mútua com um algoritmo de criptografia de chave pública, usando certificados X.509. Nesse momento, a estação cliente distribui sua chave pública que será usada pela estação base para emitir a chave compartilhada. De posse da chave compartilhada, a estação cliente já pode transmitir dados criptografados com segurança utilizando a criptografia simétrica. Todo esse processo está ilustrado na figura 4.

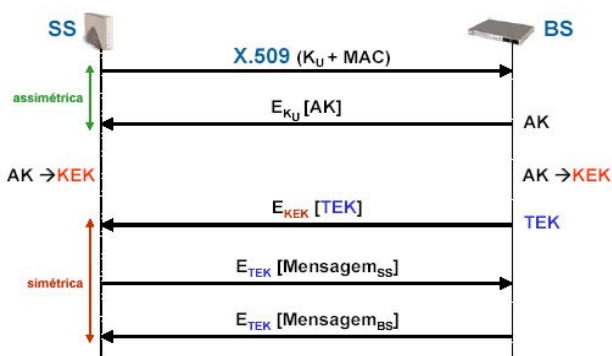


Figura 4. Sistema de autenticação Wimax
Fonte: Figueiredo (2005)

Este trabalho é realizado pelo Protocolo de Gerenciamento de Chaves (PKM), responsável pela distribuição segura de chaves obtidas da estação base contendo

informações para autorização e ciframento do tráfego. O PKM também suporta re-autorizações e atualizações periódicas das chaves.

No processo de autenticação a estação base não é autenticada, haja vista não ser possível ser operada sem autorização e sem interrupção do serviço. Neste processo o cabeçalho não é criptografado, somente a carga útil. Segundo Dornan (2001), geralmente a criptografia de dados é realizada utilizando o DES (*Data Encryption Standard* - Padrão de Criptografia de Dados) ou DES-Triplo, executado em modo CBC (*Cipher Block Chaining* – Encadeamento de Blocos Cifrados), um sistemas de chaves simétricas que realiza as operações de criptografia mais rapidamente que um sistema de chaves assimétricas.

3. QUALIDADE DE SERVIÇO

Com o aumento crescente da utilização de aplicações multimídias, vídeos, voz sobre IP, jogos, dentre outras, faz-se necessário um melhor gerenciamento para este tipo de tráfego que não tolera *delay*, *jitters*, erros ou entrega fora de ordem.

Pelas características de QoS do Padrão 802.16, é possível a transmissão de voz e vídeo para redes de baixa latência.

A MAC do 802.16 tem condições de fornecer um alto volume de serviços em um padrão equivalente aos hoje oferecidos pelos serviços de ADSL (*Asymmetrical Digital Subscriber Line* - Linha Digital de Assinante Assimétrica), *Cable Modem* e outros, tudo dentro da mesma estação base.

O mecanismo de QoS do *Wimax* trabalha tanto no sentido de *uplink* como no de *downlink*, isso permite um gerenciamento mais eficiente do sistema.

3.1. Requisitos para QoS

Para que o *Wimax* opere oferecendo qualidade de serviço é necessário que se atenda alguns requisitos, dentre eles:

- Função de configuração e registro para pré-configuração de fluxos e parâmetros de QoS baseados na estação cliente.
- Função de sinalização para o estabelecimento dinâmico de fluxos e parâmetros de tráfego que estão com o recurso de QoS habilitado.
- Utilização de escalonamento para o MAC, permitindo a estação base controlar os momentos de transmissão da estação cliente a fim de impedir colisões.
- Utilização de parâmetros de tráfego de QoS para fluxos de serviços, *uplink* e *downlink*.
- Agrupamento de propriedades de fluxos de serviços em classes de serviço.

O funcionamento do mecanismo de QoS ocorre com a associação dos pacotes que atravessam a MAC a fluxos de serviços especificados por identificadores de conexão, cujo principal objetivo dos recursos é o de determinar a ordenação e o escalonamento das transmissões.

O fluxo de serviços é unidirecional e possui associado a si parâmetros de qualidade de serviço. Para que os requisitos de QoS sejam garantidos, as estações base e as estações clientes obedecem aos parâmetros especificados no fluxo de serviço utilizado.

O *Wimax* implementa o estabelecimento dinâmico de serviços, oferecendo adaptabilidade ao sistema que permite a transmissão dos dados ao utilizar um tipo de

serviço mais rápido ou robusto que se adapta a qualidade do *link*. Esse modelo não permite que recursos da rede sejam usados desnecessariamente, pois ao iniciar um serviço, este somente será ativado quando for utilizado de fato.

A união de várias soluções permite ao *Wimax* oferecer uma qualidade de serviço satisfatória, pois superam os problemas existentes em termos de qualidade de serviço em redes sem fio.

A figura 5 ilustra como está estruturado o QoS no Padrão 802.16.

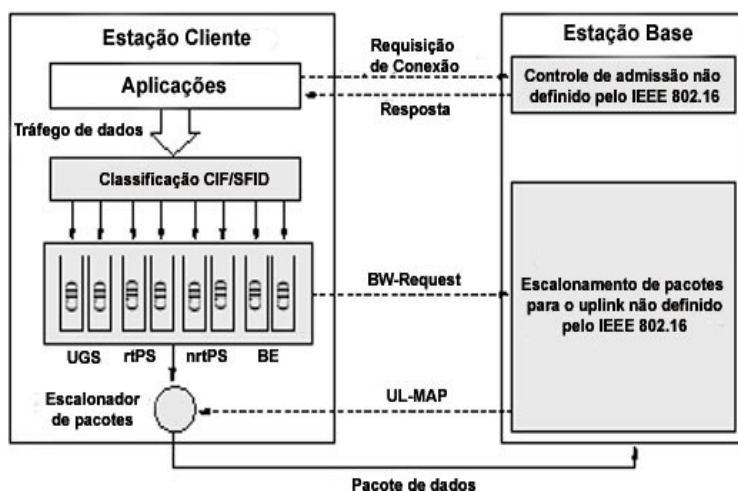


Figura 5. Arquitetura do QoS no padrão IEEE 802.16
Fonte: Marks (2001)

4. CONCLUSÃO

A *Wimax* é um importante avanço na tecnologia de redes sem fio, porque proporciona cobertura e desempenho. Atualmente, a tecnologia está voltada para redes metropolitanas que alcançam distâncias de até 70 Km e taxas de transmissão de até 134 Mbps. O Padrão 802.16 utilizado pela *Wimax* oferece QoS que permite a transmissão de voz, vídeo e serviços em um padrão equivalente aos hoje oferecidos pela DSL e/ou *Cable Modem*.

Cabe ressaltar que a camada de enlace é orientada a conexão, a fim de garantir a qualidade de serviço para voz e multimídia.

O 802.16 integra de modo uniforme protocolos de datagrama, sem conexão, com PPP (*Point-to-Point Protocol* – Protocolo Ponto a Ponto), IP e *ethernet* e protocolos de circuito virtual, orientado a conexão, como o ATM.

Características de segurança e privacidade que utiliza criptografia assimétrica, simétrica e certificados X.509 garantem transmissões seguras, o que inclui procedimentos de autenticação.

O *Wimax* permite uma maior flexibilidade de acesso, cobertura e mobilidade, em especial com o advento do Padrão IEEE 802.16e.

No Brasil, esta ainda é uma tecnologia muito nova. Mangaratiba RJ e Ouro Preto MG são projetos pilotos da Intel com a finalidade de consolidar a tecnologia no país. Entretanto iniciativas do governo federal e de empresas privadas devem estimular o uso e desenvolvimento desta tecnologia nos próximos anos.

Enfim, o *Wimax* oferece um meio de comunicação com muitos recursos para inúmeras aplicações e soluções. Com tudo isso, a *Wimax* vem tomando o lugar de mais importante tecnologia sem fio, ou segundo a Intel: “A coisa mais importante depois da própria *Internet*”.

5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

TEIXEIRA, Edson Rodrigues Duffles. *Wimax*, Fev. 2004. Disponível em <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwimax/pagina_1.asp>. Acesso em 27 de setembro de 2006.

MARKS, B. Roger, et al. IEEE 802.16, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, IEEE Std. 802.16, Abril. 2004.

CARVALHO, Nuno Borges de. *Wimax*. Disponível em <http://www.av.it.pt/wcas/pagina_scsf/pdf/Aula14.pdf>. Acesso em 27 de setembro de 2006.

EKLUND, Carl. et al. *IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access. IEEE Communications Magazine*, jun. 2002. Disponível em <http://www.ieee802.org/16/docs/02/C80216-02_05.pdf>. Acesso em 27 de setembro de 2006.

DORNAN, Andy. *Wireless Communication: O guia essencial da comunicação sem fio*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

PRADO, Eduardo. Revista do *Wimax*. Disponível em <<http://www.revistadewimax.com.br/Introdução/tabid/78/Default.aspx>> Acesso em 27 de setembro de 2006.

MARKS, B. Roger, et al.. *IEEE 802.16-01/58r1: 802.16 WirelessMAN™ Standard for Wireless Metropolitan Area Networks*, Nov 2001. Disponível em <http://wirelessman.org/docs/01/80216-01_58r1.pdf>. Acesso em 27 de setembro de 2006.

TANENBAUM, Andrew S. *Redes de Computadores*. Tradução: Vandernberg D. De Souza. 4ª Edição. Rio de Janeiro RJ: Elsevier Editora Ltda., 2003.

FIGUEIREDO, Fabrício Lira, *Fundamentos da Tecnologia WIMAX*. Abr 2004. Disponível em <http://www.cpqd.com.br/file.upload/sas1437_tecnologia_wimax_port_v02.pdf#search=%22%22fabricao%20lira%20figueiredo%22%22> Acesso em 27 de setembro de 2006.

Wimax (802.16) o futuro da MAN sem fio. Disponível em <<http://www.cernet.com.br/wilan/wimax.shtml>>. Acesso em 21 de dezembro de 2005.

Wimax Forum. Disponível em <<http://www.wimaxforum.org>> Acesso em: 27 de setembro de 2006.