

## PADRÃO IEEE 802.16 – UMA VISÃO GERAL SOBRE O WIMAX

Ricardo Rodrigues Barcelar, Aluno da Pós-Graduação CEFETMT  
Antonio Carlos Vilanova, Prof. MsC CEFETMT

### RESUMO

Este artigo mostra uma visão geral sobre a nova tecnologia para transmissão de dados e voz em redes sem fio de longa distância, o *WIMAX*. Esta nova tecnologia que propõe velocidades mais altas evidencia um novo panorama na maneira de trafegar dados e voz sobre redes sem fios. A *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (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 (*Orthogonal Frequency Division Modulation*). Em se tratando de uma tecnologia para redes metropolitanas, tem alcance superior a 50 km a uma velocidade de até 134 Mbps, proporcionando, desta forma, ampla cobertura a uma velocidade razoável, bem como segurança e qualidade de serviço.

**Palavras-chave:** WIMAX, IEEE 802.16, BWA, redes sem fio, rede metropolitana.

### 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 tem sido mais empregada e tem permitido uma série de novas funcionalidades para a troca de informações, proporcionando 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*) definido pelo padrão *bluetooth* incorporado no padrão 802.15.
- WLAN (*Wireless Local Area Networks*) definido pelo padrão 802.11 (a, b ou g).
- WMAN (*Broadband Wireless Metropolitan Area Network*) definido pelo Padrão 802.16.

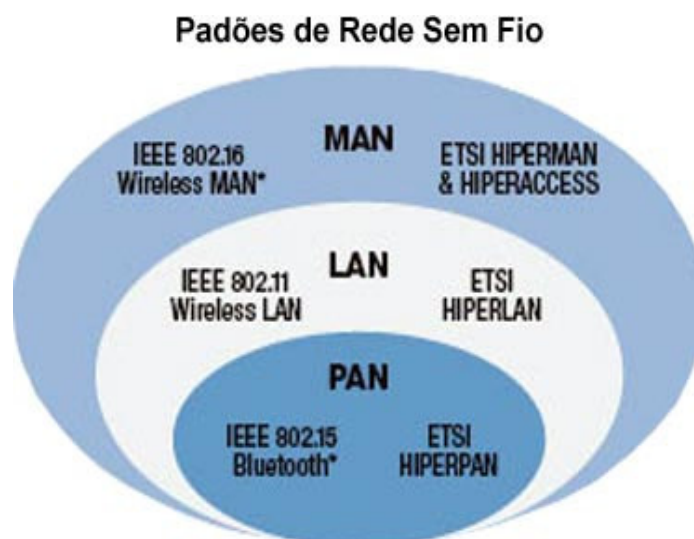


Figura 1 – Padrões de Rede Sem Fio.

Na atual conjuntura, as redes definidas pelo padrão 802.11 têm se despontado no mercado, haja vista 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 fornecendo conectividade a centenas de assinantes ou estações clientes em uma área bastante abrangente a uma velocidade máxima compreendida entre 75 e 134 Mbps.

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 PMC 24)/E1 (padrão brasileiro PCM 30) ou DSL.

- Independência de protocolo: pode transportar IP, *Ethernet*, ATM, 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 no primeiro semestre de 2004) e 802.16e (concluído no segundo semestre de 2004). 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.

O *Wimax* utiliza a modulação OFDM, 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*) e do DSSS (*Direct-Sequence Spread Spectrum*), o OFDM transmite centenas de portadoras simultaneamente em diferentes frequências com espaçamento ortogonal evitando 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 mais próximo da estação base, entre 5 e 8 Km, porém com linha de visada pode 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, mas pode-se prever um grande crescimento desta tecnologia nos próximos anos.

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

## **ORGANIZAÇÃO DO PADRÃO 802.16**

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

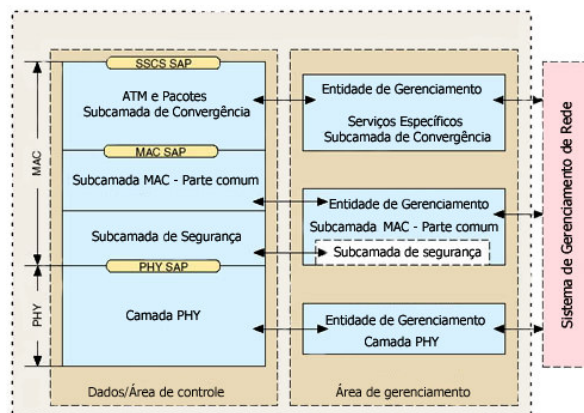


Figura 2 – Referência de camadas.

### 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), onde o *uplink* e o *downlink* dividem o mesmo canal, porém não transmitem simultaneamente ou FDD (Duplexação por Divisão de Frequência) na qual 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 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*<sup>1</sup>. 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 é.

O Padrão IEEE 802.16 utiliza um sistema de modulação adaptativa utilizando três esquemas de modulação: QAM<sup>2</sup> (*Quadrature Amplitude Modulation*)-64, QAM-16 e o QPSK<sup>3</sup> (*Quadrature Phase Shift Keying*), 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.

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.

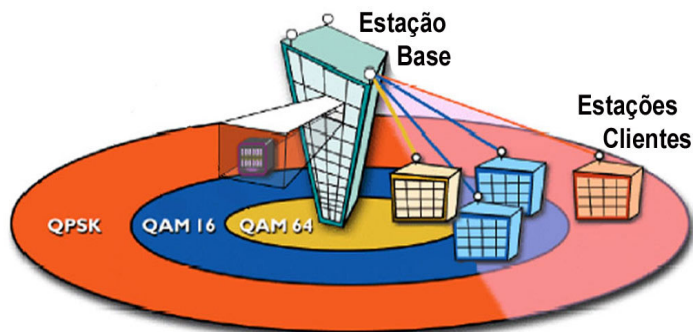


Figura 3 – Modulação adaptativa.

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 trazem 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.

| 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              |

Tabela 1 – Vazão por modulação.

As propriedades de *uplink* e de *downlink* são associados a cada *frame* de forma a permitir que os esquemas de modulação e codificação sejam ajustados dinamicamente adaptando-se as 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 2-11 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*), sendo estes 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- Camada de Acesso ao Meio (MAC)

A camada MAC corresponde a camada acima da camada física. Nela são associadas funções de fornecimento de serviços que suportam múltiplas especificações da camada física (PHY) permitindo à fornecedores de tecnologia ampliar as ofertas de serviços. A MAC é versátil e flexível podendo suportar vários esquemas de multiplexação e demultiplexação, sendo 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.

### 2.1 - Subcamada de convergência

É a subcamada responsável por transformar e mapear dados externos da rede nas Unidades de Dados do Serviço (SDU's), que são 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 tem por origem e fim as conexões MAC 802.16, sendo elas a subcamada de convergência ATM e 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, IPv6, *Ethernet* e *Virtual Local Area Network* (VLAN).

Conforme Eklund (2002), essa 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 - 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 a conexão é necessária à 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 permite 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 usado em cada nível:

Conexão Base: responsável por mensagem de tempo crítico e RLC (*Radio Link Control*).

Conexão primária de gerenciamento: utilizada para autenticação e estabelecimento de conexão.

Conexão secundária de gerenciamento: utilizado para gerenciamento baseado em padrões como DHCP, TFTP, 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.

### 2.3 - Subcamada de segurança

Características de privacidade e segurança estão previstos 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, na qual utiliza 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 o endereço MAC e a chave pública ( $K_U$ ).

Para que isso ocorra é necessário haver uma associação de segurança (AS), 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.

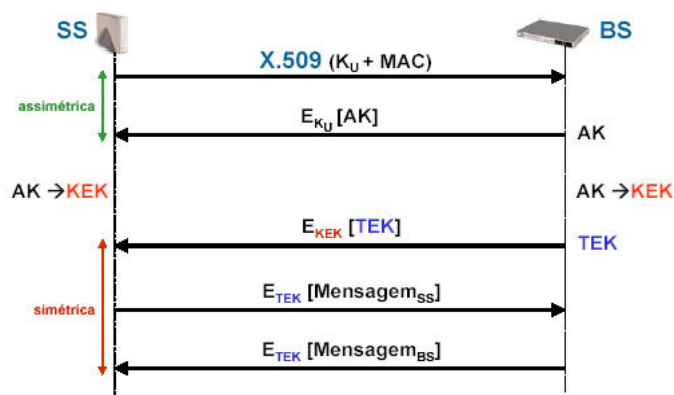


Figura 4 – Sistema de autenticação Wimax.

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 que haja 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*) executando em modo CBC (*Cipher Block Chaining*), que sendo um sistemas de chaves simétricas realiza as operações de criptografia mais rapidamente que um sistema de chaves assimétricas.

## QUALIDADE DE SERVIÇO (QoS)

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

Pelas suas características, o padrão 802.16 apresenta qualidade de serviço que possibilita a transmissão de voz e vídeo, que requerem redes de baixa latência.

O MAC (*Media Access control*) do 802.16 tem condições de fornecer um alto volume de serviços em um padrão equivalente aos hoje oferecidos pelos serviços de ADSL, *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* o que permite um gerenciamento mais eficiente do sistema.

### 1 - Requisitos para QoS

Para que o *Wimax* opere oferecendo qualidade de serviço é necessário que se atenda a 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 se dá associando os pacotes que atravessam a MAC a fluxos de serviços especificados por identificadores de conexão (CID), 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 permitindo a transmissão dos dados utilizando um tipo de serviço mais rápido ou robusto adaptando-se a qualidade do *link*. Esse modelo permite que recursos da rede não sejam desperdiçados, pois o serviço é criado e somente ativado quando for utilizado de fato.

A união de várias soluções permite ao *Wimax* oferecer uma qualidade de serviço satisfatória superando 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.

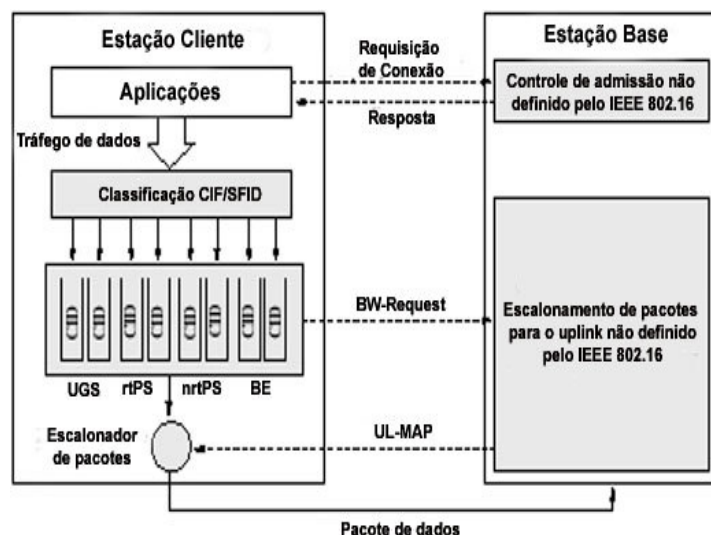


Figura 5 - Arquitetura do QoS no padrão IEEE 802.16.

## CONCLUSÃO

A *Wimax* é um importante avanço na tecnologia de redes sem fio proporcionando cobertura e desempenho. Atualmente a tecnologia está voltada para redes metropolitanas alcançando distâncias de até 70 km e taxas de transmissão de até 134 Mbps. O padrão 802.16 utilizado pela *Wimax* oferece qualidade de serviço que permite a transmissão de voz, vídeo e serviços em um padrão equivalente aos hoje oferecidos pelos serviços de 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, IP e *ethernet* e protocolos de circuito virtual, orientado a conexão, como o ATM.

Características de segurança e privacidade utilizando 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 que se encontra em fase de testes. Mangaratiba RJ e Ouro Preto MG são projetos pilotos da Intel com a finalidade de consolidar a tecnologia no país.

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

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TEIXEIRA, Edson Rodrigues Duffles. **Wimax**, Fev. 2004. Disponível em <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwimax/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwimax/pagina_1.asp)>. Acesso em 12 de dezembro de 2005.

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](http://www.av.it.pt/wcas/pagina_scsf/pdf/Aula14.pdf)>. Acesso em 30 de novembro de 2005.

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](http://www.ieee802.org/16/docs/02/C80216-02_05.pdf)>. Acesso em 13 de março de 2004.

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.wirelessbrasil.org/eduardo\\_prado/revista\\_wimax/wimax01.html#intro](http://www.wirelessbrasil.org/eduardo_prado/revista_wimax/wimax01.html#intro)>. Acesso em 02 de janeiro de 2005.

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](http://wirelessman.org/docs/01/80216-01_58r1.pdf)>. Acesso em 22 de dezembro de 2005.

**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.

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