

1 Introdução

O avanço da tecnologia viabilizou a implementação de comunicação em faixa larga (“broadband”) que possibilita o tráfego de grandes volumes de informação em altas taxas. Novas tecnologias vêm despertando um grande interesse nos últimos anos e, conseqüentemente, a demanda das empresas e da população em geral por serviços de comunicação em faixa larga causou um forte aumento na quantidade de linhas de comunicação instaladas com este perfil em todo o mundo. Esta quantidade aumentou de 57 milhões em 2002 para cerca de 80 milhões no final de 2003 [1].

Uma parte das tecnologias foi viabilizada através da implantação das redes de fibra ótica e permitiu um avanço do uso dos serviços de comunicação em faixa larga. Os altos custos para disponibilização deste tipo de tecnologia, entretanto, ainda são um obstáculo para sua utilização por empresas de médio e pequeno porte e por clientes residenciais fazendo com que tais serviços sejam utilizados somente pelas grandes empresas.

O surgimento de tecnologias que permitiram a utilização das redes de cabos existentes das empresas operadoras de telefonia e de TV por assinatura para oferta de serviços de comunicação em faixa larga mudou este quadro. O uso das redes de pares metálicos e cabos coaxiais possibilitou a expansão destes serviços para as empresas de pequeno e médio porte e para as residências, especialmente em áreas de alta densidade populacional. A oferta destes serviços, entretanto, se tornou um desafio nas áreas com baixas densidades populacionais onde o alto custo de implantação de redes cabeadas e as limitações de distância para uso das tecnologias disponíveis não estimulam ou não possibilitam a oferta dos serviços.

Uma alternativa para ampliar o alcance do acesso a serviços de comunicação em faixa larga é o uso de tecnologias que permitem o tráfego de grandes volumes de informação em altas taxas, em conjunto com a facilidade e rapidez de implantação de redes sem fio a baixo custo em comparação com as redes baseadas em cabos. Estes são os principais atrativos das tecnologias de redes

sem fio em áreas metropolitanas (*Wireless Metropolitan Area Networks* - WMANs) que se tornaram de grande interesse nos últimos anos. Estas tecnologias viabilizam a implementação de comunicação em faixa larga sem a dependência das empresas proprietárias das redes cabeadas e permitem aplicações tais como :

- implementação de acesso sem fio na “última milha” como, por exemplo, a interconexão com a Internet de clientes residenciais ou de redes WLAN (*Wireless Local Area Networks*) que seguem o padrão 802.11 conhecido como Wi-Fi;

- implementação de sistemas ponto-a-ponto como, por exemplo, a interconexão de estações rádio base celulares ou de pontos de acesso de redes WLAN.

É possível prever que a implementação de redes deste tipo passe por uma fase de crescimento acelerado em curto prazo devido ao desenvolvimento e padronização das novas tecnologias. A expectativa de crescimento é confirmada pelos volumosos investimentos que vêm sendo feitos por mais de 120 empresas que atuam na área de comunicações como fabricantes de equipamentos e componentes (Intel, Alcatel, Motorola, Siemens, AT&T, Fujitsu, entre outras) e provedores de serviços que se uniram na formação de um grupo com o objetivo de garantir uma padronização para as tecnologias dos equipamentos de modo a permitir a interoperabilidade entre eles. Este grupo constitui o fórum denominado WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) e as empresas que participam do grupo são responsáveis por mais de 75% das vendas de equipamentos para acesso fixo sem fio em banda larga operando em frequências abaixo de 11 GHz [2].

Uma destas tecnologias começou a ser padronizada pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) em 1998 através do grupo 802.16 para prover o acesso de “última milha” em redes metropolitanas (*Metropolitan Area Networks* - MAN). O padrão recebeu a denominação de IEEE 802.16 - “*Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*” e é também conhecido como “*IEEE WirelessMAN Air Interface*” [3].

Para viabilizar a implantação de redes deste tipo em ambientes abertos é fundamental dispor de conhecimento de técnicas para o planejamento otimizado destas redes. Este estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de planejamento para sistemas fixos de acesso sem fio em faixa larga operando em ambientes abertos em frequências entre 10 e 66 GHz. Esta faixa de

frequências foi escolhida por ser uma das faixas consideradas na padronização desenvolvida pelo IEEE.

Serão abordadas neste estudo as características principais do padrão IEEE 802.16 para sistemas operando na faixa de frequências entre 10 e 66 GHz.

Será realizada uma descrição das principais influências climatológicas sobre a propagação das ondas eletromagnéticas na faixa de frequências escolhida. Entre estas influências climatológicas se destaca a atenuação por chuvas cuja análise precisa incluir tanto a abordagem temporal das precipitações como a abordagem sob o ponto de vista espacial que leva em consideração a não uniformidade das células de chuva e implica em problemas de limitação de cobertura e indisponibilidade espacial.

Serão apresentados aspectos importantes para planejamento de sistemas tais como minimização de interferências intra-sistêmicas e intersistêmicas, planejamento de frequências e da capacidade da rede e planejamento da área de cobertura.

Finalmente será apresentada uma proposta de metodologia de planejamento incluindo um estudo de caso para sua aplicação.

1.1. Histórico

O início do desenvolvimento de tecnologias para sistemas fixos de acesso sem fio em faixa larga (*Broadband Fixed Wireless Access – BFWA*) ocorreu nos anos 90 em diversas partes do mundo para operação em frequências próximas de 24 GHz, 28 GHz, 31, GHz e 40 GHz [4].

Em 1996 uma largura de banda de 1 GHz na faixa frequências próxima a 28 GHz foi regulamentada no Canadá para utilização pelas redes BFWA. Na Europa, nesta mesma época, particularmente no Reino Unido, foram desenvolvidos serviços para operação em frequências próximas a 40 GHz [4].

Em 1998 começaram a ser utilizados comercialmente nos Estados Unidos sistemas operando em faixas próximas a 24 e 38 GHz e surgiram os serviços de distribuição multiponto local (*Local Multipoint Distribution Service – LMDS*) operando na faixa 28-31 GHz [4].

O desenvolvimento de serviços operando nas frequências mencionadas não seguiu, entretanto, nenhum tipo de padronização. A diversidade de larguras de banda alocadas em cada faixa de frequência foi uma característica da fase inicial de desenvolvimento de serviços para acesso fixo sem fio nos diferentes países. Na Alemanha, por exemplo, foram alocados 56 MHz na faixa de 26 GHz enquanto na França foram alocados 112 MHz [5]. Nos Estados Unidos foi alocada uma banda de 1150 MHz e outra de 150 MHz para operação dos serviços LMDS [4].

A falta de uma padronização fez com que os sistemas fossem proprietários e não possibilitassem interoperabilidade entre equipamentos de fabricantes diferentes. Este fato fez com que não houvesse escala suficiente de fabricação e, por isto, os custos dos equipamentos eram muito altos, inviabilizando a utilização dos serviços por clientes residenciais e pequenas empresas.

Em abril de 1998, um projeto de duas agências do Departamento de Comércio do governo dos Estados Unidos começou a chamar a atenção para a necessidade de padronização [4] e, em novembro de 1998, o IEEE iniciou as discussões sobre o assunto. Em abril de 1999 o IEEE estabeleceu o grupo de trabalho 802.16 para desenvolver uma padronização de interface aérea.

Além do padrão do IEEE, outro padrão começou a ser desenvolvido na Europa pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

Em abril de 2001 foi criado o fórum WiMAX formado por um grupo de empresas com a finalidade de buscar a garantia de interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes e tecnologias.

Em setembro de 2001 o IEEE publicou o documento IEEE Std. 802.16.2-2001 definindo um conjunto de recomendações práticas para projeto e implementação de redes com o objetivo de possibilitar a coexistência entre os sistemas de acesso fixo sem fio em banda larga na faixa entre 23,5 GHz e 43,5 GHz [6].

Em outubro de 2001 o IEEE concluiu o padrão 802.16-2001 que foi publicado em março de 2002. Este padrão definiu a interface aérea *WirelessMAN* com esquema de modulação em portadora única para operação na faixa 10-66 GHz [7].

Em janeiro de 2003 o IEEE publicou a versão “c” do padrão, denominada IEEE Std. 802.16-c [8], que apresentou correções do padrão IEEE 802.16-2001 e incluiu a especificação de um conjunto de perfis de sistemas para operação na

faixa de frequências entre 10 e 66 GHz que contribui para garantir a interoperabilidade entre diferentes fabricantes [9].

Em abril do mesmo ano o IEEE publicou a versão “a” do padrão, denominada IEEE Std. 802.16-a. Esta versão ampliou a faixa de frequências de operação incluindo a faixa entre 2 e 11 GHz em bandas licenciadas e bandas isentas de licença e possibilitando a operação sem visada direta [10].

Em março de 2004 foi revisado pelo IEEE o conjunto de recomendações práticas para coexistência entre os sistemas (IEEE Std 802.16.2-2004 [11]) e em outubro do mesmo ano foi revisado o padrão IEEE Std. 802.16-2001 que passou a ser denominado IEEE Std. 802.16-2004 e incorporou todas as informações presentes nas versões anteriores “a” e “c” [12].

Atualmente está sendo desenvolvida uma versão do padrão (802.16-e) que irá incorporar mobilidade às estações em velocidades veiculares com operação em frequências entre 2 e 6 GHz. A previsão de conclusão desta versão é 2006 [9].

O padrão desenvolvido na Europa pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) também tem recebido a cooperação do WiMAX Forum para que exista interoperabilidade com equipamentos que seguem o padrão IEEE. O padrão europeu é denominado ETSI HiperACCESS para frequências acima de 11 GHz e ETSI HiperMAN para frequências abaixo de 11 GHz [13].

Para ratificar o uso dos padrões em todo o mundo o ITU (*International Telecommunication Union*) está desenvolvendo uma recomendação específica para identificar os padrões para acesso sem fio em faixa larga [13].