

## **WiMAX – *Triple Play*: CONCEPTING INNOVATIVE SOLUTIONS FOR THE DIGITAL INCLUSION**

Carlos Alberto Saldanha (Professor do CEFET-MT e Aluno de Mestrado em Telecom da PUC-Campinas, Campinas, SP, Brasil) - [Saldanha.carlos@gmail.com](mailto:Saldanha.carlos@gmail.com)  
Omar Carvalho Branquinho (PUC-Campinas, Campinas, SP, Brasil)  
[Omar.branquinho@gmail.com](mailto:Omar.branquinho@gmail.com)

The absence of Telecommunications' infra structure in some areas of the country, has been one of the main barriers for the access to the Internet broadband, for the complete to carry through of the several projects of Digital Inclusion. Then this paper presents as solution proposal the technology WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), running in the band of 5.8 GHz that doesn't request licensing close to for his use ANATEL (National agency of Telecommunications). This technology is adjusted to the convergences of new services, as, for instance Triple Play for Digital Inclusion (voice, data and video in on only one connection). The application of the technology WiMAX for this paper requests an estimate of the income in the area intended covering, considering the environment, that it affects the propagation, and the type of application mix that it affects the performance of the net. In this work they are considered these two projects limits, tends in mind, the application for Digital Inclusion. For the presented analysis results to field measures and simulation of application sceneries were considered introducing to a factor denominated Income of Covering, that shows, in function of the proportion of covered area, which the obtained income being taken into account the propagation condition. The obtained findings indicate a variation of the efficiency of the net that affect the services offered by the Triple Play.

Key-Words: WiMAX, Triple Play, WMAN, Telecommunications' Infra-Structure.

# WiMAX - Triple Play: Concebendo soluções inovadoras para Inclusão Digital

## RESUMO

A ausência de Infra-Estrutura de Telecomunicações em determinadas regiões do país tem sido uma das principais barreiras para o acesso à Internet Banda Larga para a completa efetivação dos diversos projetos de Inclusão Digital. Assim, este artigo apresenta como proposta de solução a tecnologia WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), operando na banda de 5.8 GHz, que não requer licenciamento para sua utilização junto a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). Esta tecnologia se ajusta à convergência de novos serviços, como, por exemplo o Triple Play para Inclusão Digital (voz, dados e vídeo agregados em uma única conexão). A aplicação da tecnologia WiMAX para este papel requer uma estimativa do rendimento na área cobertura pretendida considerando o ambiente que afeta a propagação e o tipo de mix de aplicação que afeta o desempenho da rede. Neste trabalho são ponderados estes dois limites de projeto tendo em mente a aplicação para Inclusão Digital. Para a análise apresentada foram considerados resultados de medidas de campo e simulação de cenários de aplicação introduzindo um fator denominado Rendimento de Cobertura que mostra, em função da proporção de área coberta, qual o rendimento obtido levando-se em consideração a condição de propagação. Os resultados obtidos indicam uma variação da eficiência da rede afetam os serviços Triple Play oferecidos.

## I-INTRODUÇÃO

Inclusão Digital é hoje um tema de muita preocupação, principalmente nos países denominados emergentes. No Brasil existem diversas iniciativas e experiências a esse respeito, tanto por parte dos governos (Federal, Estadual e Municipal), como também por ONG's e empresas privadas. Cada um apresentando alternativas com características próprias, com maior ou menor profundidade e eficácia, mas todos objetivando aplicar a Tecnologia da Informação e das Telecomunicações (TICs) para acesso à rede mundial de computadores, a Internet, na busca da melhoria da qualidade de vida dos cidadãos considerados excluídos digitalmente. Assim, o acesso à Internet Banda Larga a baixo custo tem sido uma das principais barreiras para a efetivação dessas iniciativas.

Dall'Antônio [8], em seu trabalho, "concebendo soluções inovadoras para Inclusão Digital no Brasil", apresenta as principais barreiras para a Inclusão: disponibilidade de acesso, usabilidade e acessibilidade, inteligibilidade, fruição e criação de conteúdos. As barreiras ao acesso à tecnologia incluem preços de micros e software, custo e disponibilidade de conexões em alta velocidade, além dos componentes educacionais e culturais [10].

O Brasil é o país mais extenso da América do Sul, com seus 8.511.965 Km<sup>2</sup>[15] e apenas uma faixa territorial, ou seja, as regiões sul e sudeste são bem servidas

com as infra-estruturas de telecomunicações [1], dividindo o Brasil em dois mundos, no que se refere às questões de infra-estruturas de telecomunicações para os TICs (Tecnologia de Informação e Comunicações).

Sendo assim, a questão se volta em como ofertar conexão à WEB, a baixo custo, aos chamados excluídos digitalmente, num país com deficiências de infra-estrutura de telecomunicações e com alto custo de provedores de Internet Banda Larga? Um país onde até mesmo as classes sociais mais altas, o serviço de Internet Banda Larga pode ser considerado caro, comparado com a tecnologia dos países de primeiro mundo. Aqui se paga o dobro, por um serviço mais lento e o computador custa duas vezes mais caro [7].

Nesse contexto, disponibilizar informação para toda a sociedade é tarefa desafiadora pois o intuito é transpor as barreiras acima mencionadas, ou seja, preços dos equipamentos, custo e disponibilidade de conexões em alta velocidade, além dos componentes educacionais e culturais.

A Internet, tecnologia que propicia a interatividade, vem deixando de ser simplesmente uma possibilidade de acesso à rede mundial de computadores, e tem se transformado em uma distribuição de vídeos e telefonia de voz sobre protocolo Internet (VoIP), e em algumas cidades brasileiras, as empresas já oferecem os serviços de TV, Internet e Voz (*Triple Play*), agregadas em uma única conexão, onde as tarifas são bem diferenciadas.

Desta forma, o maior desafio é transpor os obstáculos das deficiências de acesso, para ampliar a Inclusão Digital. Neste contexto, as comunidades rurais e suburbanas carentes são as mais atingidas, no que tange ao acesso à Internet, e é justamente neste aspecto que esta pesquisa se desenvolve, objetivando apresentar novas soluções de conexão de acesso banda larga convergente com nossos serviços Triple Play (voz, Internet e vídeo) focado na Inclusão Digital. Assim, este artigo objetiva propor soluções de acesso sem fio (*wireless*) utilizando a tecnologia WiMAX para prover um novo modelo de serviço “*Triple Play*” para a população de baixo poder aquisitivo, e comunidades rurais para a inclusão digital.

O presente artigo está organizado da seguinte forma. Na seção II é feita uma reflexão sobre a Inclusão Digital, bem como aplicações *Triple Play* para a mesma. Na seção III é apresentada a metodologia de implementação da rede metropolitana sem fio (WMAN). A seção IV apresenta o cenário de avaliação da tecnologia *wireless* WMAN pré-WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) provendo os serviços *Triple Play*. A seção V apresenta os resultados de estabilidade do enlace de radio. A seção VI mostra a eficiência da rede com os serviços *Triple Play*. Na seção VII Define o fator rendimento de cobertura. A seção VIII são feitas as conclusões. E, finalmente na seção IX são apresentadas as recomendações para as aplicações da tecnologia para Inclusão Digital.

## **II-INCLUSÃO DIGITAL E APLICAÇÕES *TIPLE PLAY***

A onipresença das tecnologias de telecomunicações tem sido reforçada cada dia, principalmente pelos avanços de novas formas de acesso à Internet. Portabilidade e mobilidade para o uso de outros equipamentos, além do telefone móvel (celular), tais como Lap Tops e PDAs, têm sido cada vez mais favorecidas pela tecnologia de conexão sem fio (*wireless*) por exemplo, 3G wireless é a terceira geração de tecnologia sem fio que combina acesso móvel de alta velocidade pelo celular com serviços baseados em IP (Protocolo Internet), Wifi (*Wireless fidelity*), está diretamente associada à mobilidade e à comunicação wireless, WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), bem como diretamente relacionado ao conceito de redes WMANs (*Wireless Metropolitan Area Networks*), levando acesso de banda larga a lugares remotos e de difícil conexão via cabo.

A tecnologia de conexão sem fio vem revolucionando o conceito de redes, pois hoje já podemos em nossa residência, conectar computadores, tv, celular e videogames, utilizando as tecnologias de alta velocidade para conexão, como Bluetooth ou UVB (*Ultrawide Band*), consolidando assim, o novo conceito de rede, ou seja, a *home networking*.

Outra mudança a ser considerada, ainda vinculada a Internet, é a interatividade. Assistir TV interrompendo a programação para rever uma cena já é possível através de um sistema que permite acesso de serviços de televisão digital pela Internet aos usuários é o IPTV (*Internet Protocol Television*). O IPTV é uma tendência mundial que pretende mudar o cenário das telecomunicações, sendo um dos componentes do *Triple Play*, que oferece três serviços (voz, vídeo e Internet) agregado em uma única conexão, e já está disponível em algumas cidades do Brasil na conexão via cabo.

Assim, hoje experimentamos a cada momento novas formas de interação homem-máquina, propiciada não só pela Internet, mas pelo uso dos protocolos de comunicação IP, que possibilitou a convergência digital conectando todos os serviços em um só equipamento, e em uma só conexão banda larga com ou sem fio (*wireless*) que possibilitou também, que a voz digitalizada como texto e imagem pudesse ser transmitida via IP (*Internet Protocol*), ou seja, voz sobre IP (VoIP) propiciando ligações a custos mais reduzidos, ou mesmo gratuitas, em qualquer parte do mundo para milhões de internautas, através dos serviços como Skype, UOLFone, VoiceLine e muitos outros.

A tecnologia digital possibilitou as soluções convergentes, e é hoje um dos processos globais inevitável, que tem produzido mudanças de paradigmas para todas as comunicações resultando em benefícios para a sociedade informacional.

Um desses benefícios propiciados pela convergência digital é a interatividade que a Internet propicia, cada vez mais, com os novos serviços agregados, serviços estes que deveriam estar ao alcance de toda a sociedade, uma vez que é inerente ao sistema de interação. Portanto, o conceito de Inclusão Digital neste contexto, onde as tecnologias de informação estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano, e em constante mudança, não se restringe somente à

familiarização com os computadores e acesso a rede mundial, há de se fazer uma reflexão e olhar para as reais necessidades do cidadão, principalmente no que concerne às novas maneiras de interação na sociedade de informação, que são ofertadas pela rede mundial de computadores.

A falta de intra-estrutura de telecomunicações impede que países em desenvolvimento cresçam economicamente [4]. Em 1996 a ITU (União Internacional de Telecomunicações) inicia o projeto com as Nações Unidas (UN) denominado “Direito a Comunicação” apontando para as reais necessidades de se providenciar acesso básico de Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) para todos, com o objetivo de reduzir a pobreza de informação nos países em desenvolvimento, tornando assim, o principal objetivo dos planos do WSIS (Cúpula Mundial da Sociedade de Informação) [4].

A Cúpula Mundial da Sociedade da Informação (WSIS) foi uma série de conferências patrocinadas pelas Nações Unidas sobre Informação e Comunicação, ou seja, a Sociedade da Informação que ocorreu entre 2003 e 2005. Um dos seus principais objetivos foi à discussão de como diminuir a distância entre os países ricos e pobres, no que tange ao acesso à Internet, ou seja, a informação e comunicação, o qual é denominado de *digital divide*, com o propósito de prover o acesso para todos [12]. A denominação Digital Divide foi definido como sendo um acesso desigual as Tecnologias de Comunicação e Informação (TICs) na primeira WSIS. [4]

No Brasil, no cenário concernente ao aspecto do *digital divide* há uma lacuna realmente grande entre as camadas sociais, no que se refere ao acesso e os desafios para atenuar essa lacuna foram apontados pelas conferências da WSIS acima mencionados.

Embora, paradoxalmente, os usuários domiciliar brasileiros passam em média 20 horas navegando, mais do que os japoneses e americanos, o que é privilégio somente das classes sociais de maior poder aquisitivo, e é o 13<sup>o</sup> em número de assinantes de Internet, de acordo com o *World Information Society*, da ITU. [9]

São quase 150 milhões sem acesso aos computadores contra 26 milhões dos chamados Incluídos Digitais, o que mantém o país numa posição bem próxima da Índia, pois a informática continua sendo um privilégio de poucos, e sua relação com a pobreza é direta [2].

Para tentar reduzir a lacuna digital, a sociedade de uma maneira geral, tem se mobilizado e se preocupado com o tema Inclusão Digital. Existem mais de 50 projetos de Inclusão Digital em andamento. São ações de natureza governamental e não-governamental, mas todas com o mesmo propósito, de aplicar a Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) para propiciar o acesso à Internet para as camadas sociais mais carentes.

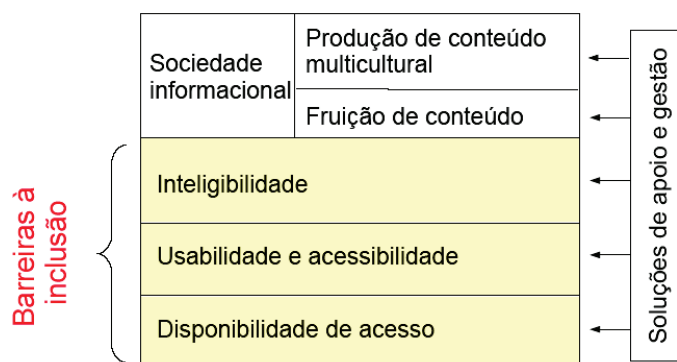
O livro “Inclusão Digital com a Palavra, a Sociedade”, coordenado pela jornalista Lia Ribeiro, tenta mapear o *digital divide* no Brasil. Apresenta as diversas

alternativas governamentais e não- governamentais, tais como: telecentros, infocentros , cidadão digital, ações do CDI (Comitê para Democratização da Informática), ou seja, o livro apresenta as principais características das iniciativas apontando para a importância da conexão à Internet, também as principais barreiras ao acesso à tecnologia de informação, que incluem preços dos terminais de acesso (computares) e disponibilidade de conexão banda larga, além dos elementos culturais e educacional. [11]

O Governo Federal, através do Ministério das Comunicações, está desenvolvendo ações que busquem sinergia entre as diversas iniciativas de Inclusão Digital na tentativa de desenvolver alternativas de real valor para os cidadãos, considerados excluídos digitalmente. E, para tal, está em parceria com CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações), executando o projeto STID (Soluções de Telecomunicações para Inclusão Digital) que tem por objetivo o planejamento de alternativas para a implantação de projetos governamentais de inclusão digital, avaliando e desenvolvendo soluções e tecnologias baseadas em serviços e plataformas de telecomunicações.

Na ótica do relatório, “Mapeamento de Soluções”, do projeto STID, o termo: Inclusão Digital se dá quando aos excluídos são oferecidas capacitações e habilidades, meios tecnológicos, recursos de usabilidade, ferramentas de acessibilidade e apoio social e institucional para que eles possam superar todas as barreiras e caminhar rumo ao centro participativo da sociedade informacional.

O relatório apresenta um quadro que classifica as soluções e experiências mapeadas em uma taxionomia, onde estão apresentados os níveis de acesso à sociedade informacional. Os três primeiros níveis representam as barreiras, a serem transpostas para a Inclusão Digital [6], como mostra a Figura 1.



**Figura 1. Estrutura de Inclusão Digital**

Fonte-CPqD Centro de pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. Mapeando soluções...

No que se refere às barreiras apontadas pelo relatório e em seu primeiro nível, disponibilidade de acesso, nos faz remeter as questões de infra-estruturas de telecomunicações para as TICs, uma vez que, devido as nossas dimensões territoriais há predominância da ausência de infra-estrutura na maioria das regiões, como mostra a Figura 2.

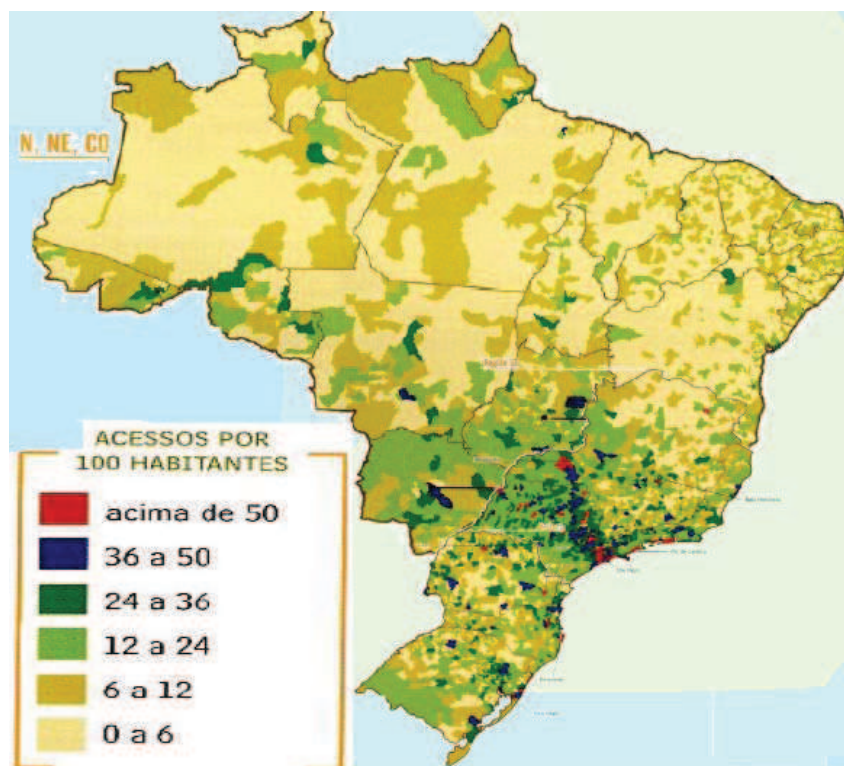


Figura 2. Teledensidade na telefonia fixa

Fonte - ARAÚJO, P.J.Z de. Mapa brasileiro da exclusão digital

Na Figura 2 observamos que há uma lacuna muito grande em relação à necessidade de infra-estrutura de telecomunicações, principalmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste devido à vasta extensão territorial dessas regiões e a baixa demanda para a telefonia fixa, o que eleva os custos operacionais para o provimento de infra-estrutura de telecomunicações, tornando ainda mais efetiva a dificuldade de prover acesso as TICs, e principalmente aos serviços de banda larga, o que eleva a impossibilidade do usuário ter acesso não só a Internet, mas aos novos serviços que estão presentes no seu dia a dia como os que foram relacionados acima.

Cayla [4] apresenta um quadro relacionando as principais barreiras de acesso banda larga, mostrado na Figura 3, e também, apresenta como proposta de solução a tecnologia do sem fio (wireless), denominada de WiMAX para transpor essas barreiras, como está mostrado na Figura 3.

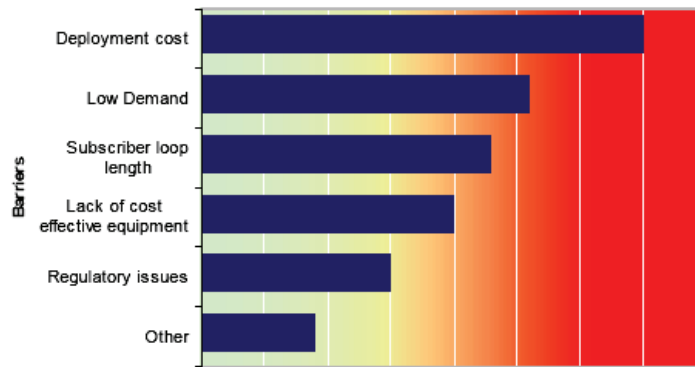


Figura 3. Barreiras de acesso a Banda Larga

Fonte - Cayla, G; Cohen,S; Guigon,D. WiMAX an efficient...

A Figura 3 nos mostra que o custo e a baixa demanda constituem os maiores fatores que dificultam a distribuição da tecnologia banda larga.

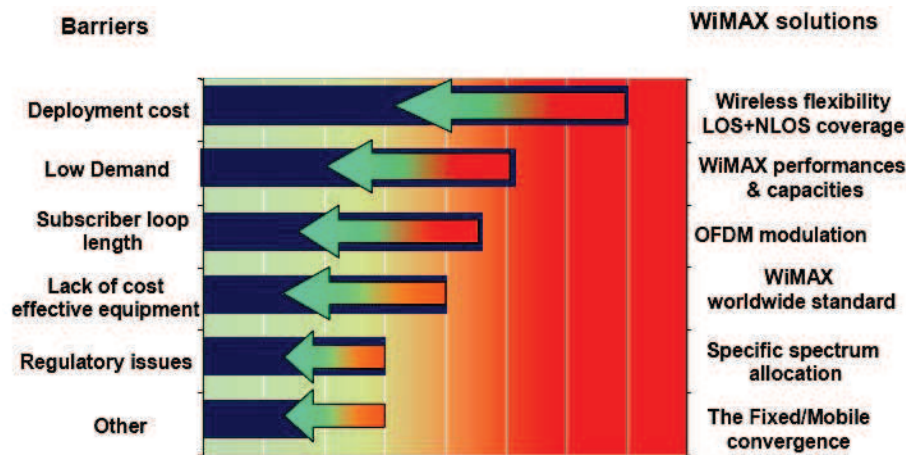


Figura 4. Tecnologia WiMAX para Transpor as barreiras de acesso

Fonte - Cayla, G; Cohen, S; Guigon, D. WiMAX an efficient...

A Figura 4 apresenta a tecnologia WiMAX como proposta de solução para transpor as barreiras de acesso a tecnologia banda larga para as TICs, e justifica, através das suas características, o porquê ser ela capaz de prover acesso e serviços banda larga.

Assim, no que concerne às diversas experiências sobre Inclusão Digital objetivando acesso a Internet, vamos evidenciar o projeto Cidade Digital de Ouro Preto por utilizar tecnologia WiMAX como proposta de solução para transpor as barreiras acima mencionadas. O projeto teve como proposta a interligação das escolas de ensino básico, telecentros e órgãos públicos, utilizando a tecnologia sem fio (WiMAX) para o acesso à Internet.

Ouro Preto apresenta as seguintes características:

- É patrimônio cultural e as intervenções urbanas são controladas, o que exige o mínimo de impacto visual e ambiental, com isso a tecnologia sem fio apresenta com uma solução para a comunicação;
- Tem uma topografia que dificulta a comunicação que necessite de visada direta;

- Não há conexão em banda larga, em larga escala.

O projeto piloto coordenado pela Universidade Federal de Ouro Preto foi implantado em 2005. É uma das ações do MEC em parceria da INTEL (a maior fabricante de semicondutores do Mundo), com a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), prefeitura local, ANATEL, fundação Gorceix e da operadora de telefonia TELEMAR. O mesmo está funcionando de maneira permanente na área educacional. [3]

Outra experiência com a tecnologia WiMAX é proposta neste trabalho, com a implantação da rede metropolitana sem fio, WMAN, com os novos serviços de voz, Internet e vídeo, denominados de *Triple Play* em uma única conexão banda larga, o que constitui uma contribuição para ampliação aos novos serviços de TI para Inclusão Digital, não se restringindo somente ao acesso à rede mundial de computadores.

Para este estudo de caso, o cenário escolhido foi a região de Barão Geraldo em Campinas-SP, onde foram instaladas duas antenas para transmissão e recepção, sendo uma instalada no laboratório de telecomunicações da PUC-Campinas e outra na Escola do Sítio.

A Escola do Sítio, parceira deste trabalho, está situada a 4 Km da PUC-Campinas, com sede no Bairro Jardim São Gonçalo, a rua Uirapuru, 820. A escola oferece cursos de Educação Infantil com turmas a partir de dois anos de idade, e de Ensino Fundamental, da primeira a oitava série, nos períodos matutino e vespertino. Foi fundada em 1976 tendo como proposta político pedagógica um trabalho que a diferencia de outras escolas de Campinas. Sendo pioneira na opção sócio-construtivismo interacionista.

A Escola trabalha com um currículo que abre espaço para a vivência coletiva, a recreação e expressão da nossa cultura. O programa favorece e instiga uma flexibilidade no uso do tempo e do espaço que possibilita um cotidiano escolar diferente o qual, permite discutir as diversidades de raça, gênero e classe, a relação com o ambiente, o consumismo, a vivência da afetividade.

Desta forma, a Escola apresenta um currículo que favorece a criação de vínculos entre as áreas do conhecimento e o cotidiano.

A clientela, por morar praticamente no mesmo espaço geográfico, apresenta uma certa homogeneidade em relação ao poder aquisitivo entre as famílias, e o outro aspecto a ser considerado é o nível de instrução das famílias que, na maioria, são professores universitários ou profissionais liberais.

### **III-METODOLOGIA**

Para a implementação da rede 802MAN/LAN (Redes Locais e Metropolitana Padrão 802) se utiliza como metodologia de planejamento, o processo pelo qual denominamos de ciclo de vida em espiral (802MAN/LAN), dividindo o planejamento em fases. O objetivo desta metodologia de planejamento para a

implementação da rede fixa de acesso sem fio banda larga, 802MAN/LAN, é a otimização do tempo e a redução de custos, principalmente para aquelas localidades onde não existem infra-estruturas de telecomunicações, e às vezes, de difícil acesso para a instalação das antenas de recepção e transmissão. As fases do ciclo de vida da rede 802MAN/LAN compreendem o pré-planejamento, instalação e verificação, localização dos defeitos, correção e otimização, pós-planejamento e aplicações *triple play*, com e sem portabilidade e análises dos resultados. As fases do ciclo de vida espiral são mostradas na Figura 5.

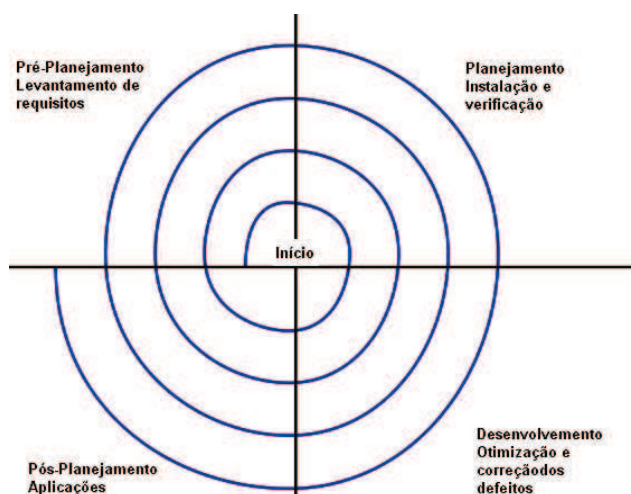


Figura 5 - Ciclo de vida espiral

Fonte – Criada pelos pesquisadores

A vantagem deste modelo de ciclo de vida espiral é que cada ciclo consiste das quatro fases, e cada fase é representada por um quadrante do diagrama cartesiano.

#### IV-CENÁRIO DE TESTES

Para demonstrar essa possibilidade com as tecnologias sem fio, testes foram realizados nos laboratórios da PUC-Campinas e da INTEL, na Unicamp com a utilização da tecnologia WiMAX, provendo cobertura em vários pontos dessa região, onde a infra-estrutura foi empregada para interligar a Escola do Sítio, localizada à 4 Km de distância, à tecnologia, possibilitando a distribuição de vídeo, voz e Internet, com e ou sem portabilidade. A tecnologia WiMAX utiliza a banda de 5.8GHz, sendo isenta de custos para o seu emprego pela Agência Nacional das Telecomunicações (ANATEL). Para o local de acesso sem fio, utilizamos a tecnologia WiFi (wireless-fidelity), também isenta de custos, estabelecendo um hotspot no local de acesso.

A Figura 6 mostra o enlace de rádio frequência interligando a Escola do Sítio à PUC-Campinas.



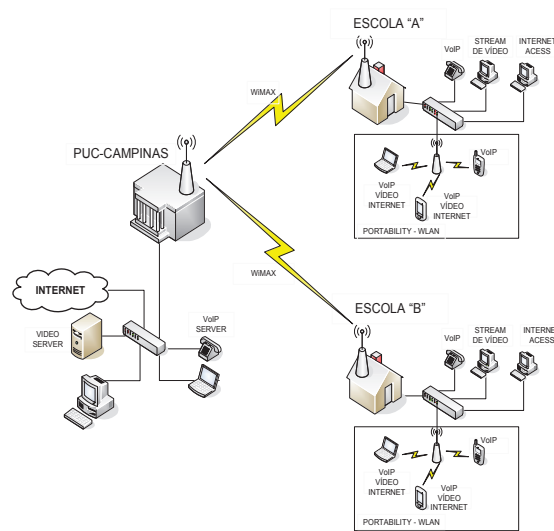
**Figura 6. Enlace de Rádio Freqüência**

Fonte – Adaptação do Google Earth

A Figura 7, apresenta a topologia da rede wireless.

A tecnologia WiMAX, padrão IEEE 802.16a, foi escolhida por ser uma tecnologia baseada no padrão global para acesso banda larga sem fio, equivalente ao WiFi, padrão 802.11. e que comparada com outras soluções cabeadas (Wireline) como ADSL, ou outra de natureza sem fio, mesmo aos sistemas de satélites, apresenta uma série de vantagens:

- WiMAX padrão para rede mundial de interoperabilidade para acesso por microondas “World Interoperability for Microwave Access”, garantindo um padrão para adoção mundial;
- Capacidade de oferecer serviços com rapidez, mesmo em áreas de difícil acesso para passagem de cabos;



**Figura 7. Topologia da Rede**

Fonte – Criada pelos pesquisadores

- Baixo custo de instalação e menos limitação física em relação à infra-estrutura *wireline* (cabeada), pois oferece um *backbone* (linha principal de transmissão de dados) sem fio para conectar WLAN e *hotspot* (local de acesso) à Internet, e principalmente para áreas de baixa densidade populacional, a exemplo das comunidades rurais;

- Não possui a necessidade de visada direta, apresentando elevada largura de banda e sendo altamente flexível.

A tecnologia WiMAX é considerada uma solução para transpor barreiras de infra-estruturas, as TICs para acesso banda larga , principalmente para os países considerados emergentes [3].

A tecnologia WMAN Pré-WiMAX, que atende as principais características do padrão IEEE 802.16d consolidado em 2004, é um dos vários padrões wireless criados pelo IEEE para ajudar a garantir a interoperabilidade, como mostra a Figura 8.

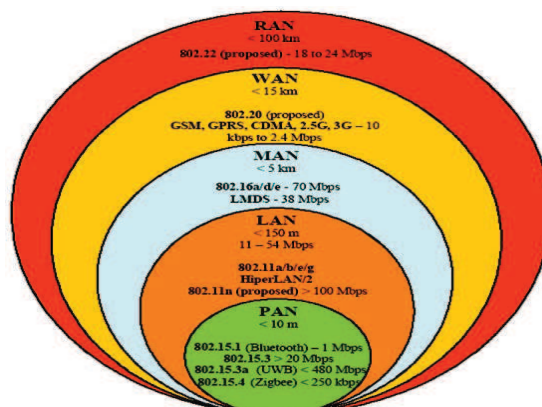
A Tabela 1 apresenta as principais características da tecnologia WiMAX, padrão IEEE 802.16, criada em 2004.

**TABELA I**  
**CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA WIMAX**

tem	Parâmetros	Descrição
1	Frequência (MHz)	5725 – 5850 (Não Licenciada)
2	Condições do Canal	Suporta falta de linha de visada (NLOS)
3	Taxa de Transferência	1 – 75 Mbps
4	Duplexação	Duplexação por divisão de tempo (TDD)
5	Modulação	OFDM com capacidade adaptativa
6	Largura de Banda	10-20 MHz
7	Mobilidade	Fixa

Fonte - Criada pelos pesquisadores.

A tecnologia WiMAX, padrão IEEE 802.16 é um dos vários padrões sem fio criados pelo IEEE para ajudar a garantir a interoperabilidade [5], como mostra a Figura 8, abaixo.



**FIGURA 8**  
**CLASSIFICAÇÃO DAS REDES**

Fonte – CORDEIRO, C. et al. IEEE 802.22: The first worldwide ...

## V-RESULTADOS DOS TESTES

Para avaliar o desempenho da rede implantada utilizamos a ferramenta de disparo de tráfego chamada IPERF, que permite avaliar a banda oferecida pela rede *wireless*. Esta ferramenta nos permite testar o desempenho do enlace de rádio em várias condições de uso, seja de largura de banda, também denominada de throughput e a sua estabilidade, quando disparamos tráfego com vários valores throughput, como são mostrados nos gráficos das Figuras 9, 10 e 11. A Figura 9 mostra uma taxa de transferência de 1 Mbps para um certo intervalo de tempo. Vale ressaltar a estabilidade do enlace de radio dada às condições de propagação encontradas.

Evidenciamos que a distância conseguida foi de 4.000 metros, sem auxílio de uma infra-estrutura específica para o sistema irradiante. A condição de visibilidade era razoável com alguns obstáculos de difícil caracterização, como por exemplo, a vegetação evidenciada pela Figura 12.

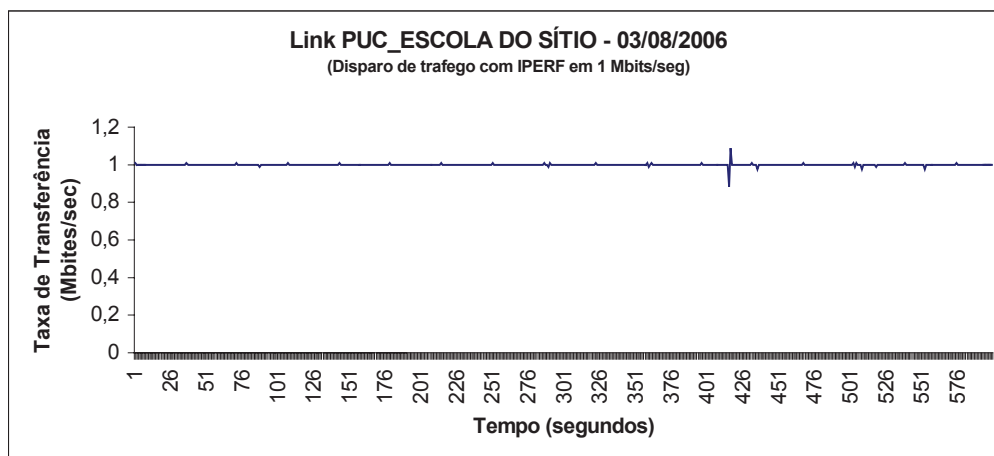
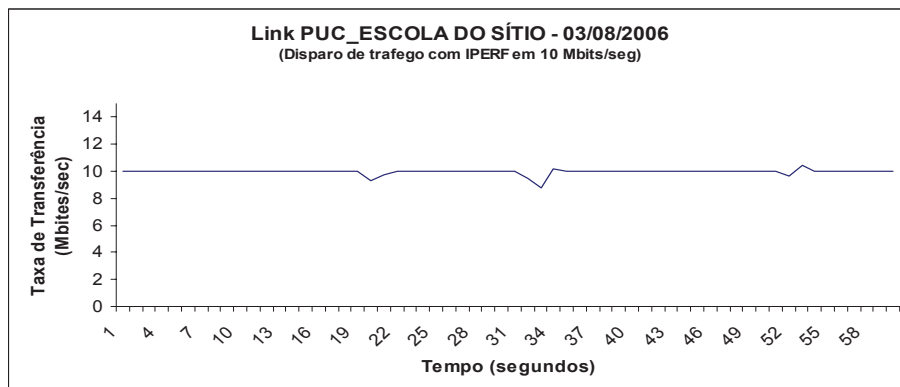


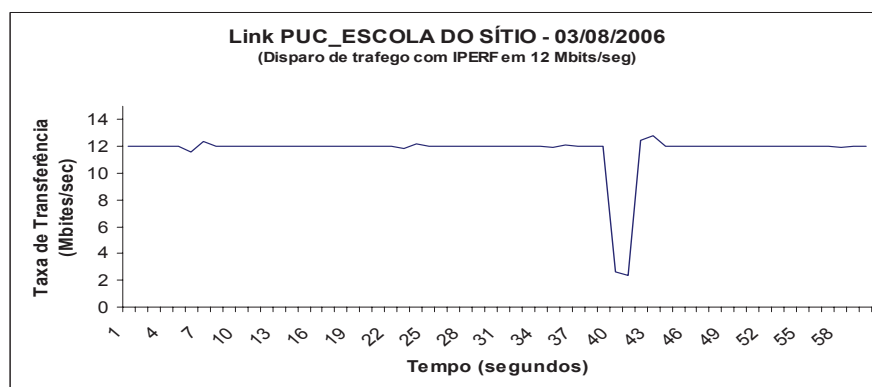
Figura 9. Taxa de Transferência de 1 Mbps

Na Figura 10 se tem o disparo de uma banda de 10 Mbps. Neste caso, já é possível observar alguma instabilidade no enlace de rádio, embora não apresente prejuízo apreciável para a operação do sistema. Mas, devemos ter em mente, que existe um limite para o sistema, como pode ser avaliado pela Figura 11 onde claramente observamos uma instabilidade num certo instante.

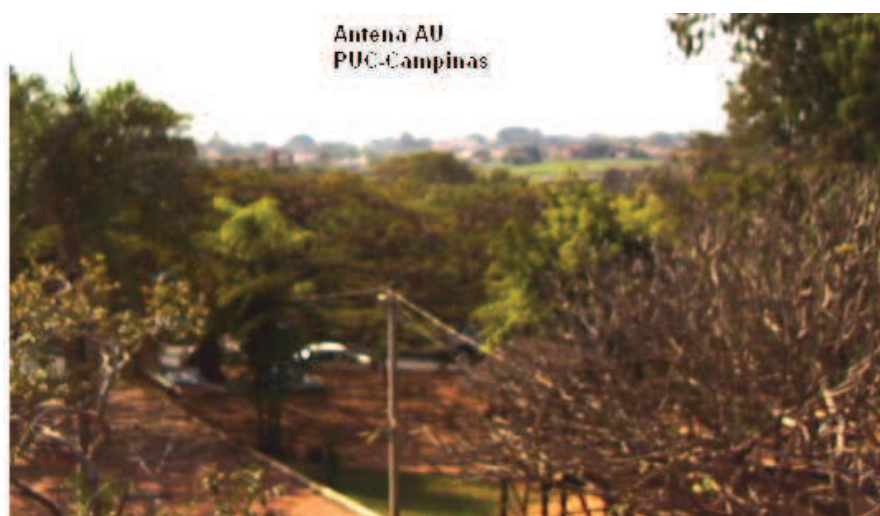


**Figura 10. Taxa de Transferência de 10 Mbps**

A Figura 12 mostra a “visão” da antena do assinante com a antena da ERB (Estação Rádio Base), também denominada AU (Access Unit), quando se estabelece o enlace de rádio. Neste ambiente observamos que a presença da vegetação passa a ser um fator considerado que atenua a potência do sinal recebido.



**Figura 11 .Taxa de transferência de 12 Mbps**



**Figura 12. Linha de Visada SU – AU**

Fonte - Foto tirada pelos pesquisadores

Os resultados apresentados não têm por objetivo chegar a valores reais e concretos às taxas possíveis. A finalidade é mostrar a necessidade de avaliação da estabilidade do enlace, que por ser de uma tecnologia pré-WiMAX possui vários mecanismos, como por exemplo, modulação/multiplexação OFDM, que permitem a estabilidade do enlace de rádio, porém, apresenta um limite de atuação.

## VI- AVALIAÇÃO DA REDE COM APLICAÇÕES TRIPLE PLAY

Para avaliarmos o desempenho da rede implantada com os serviços *Triple Play*, uma ferramenta de software foi desenvolvida, ou seja, um script que nos permitiu analisar o desempenho da rede quando estes serviços foram oferecidos. É bastante importante enfatizar que o desenvolvimento de ferramentas para a avaliação é um importante ponto, pois permite efetivamente avaliar a solução *wireless* em diversos contextos. Um exemplo desta natureza para a avaliar o sistema implantado está na Figura 13, que mostra o comportamento da rede com e sem os serviços *Triple Play*.

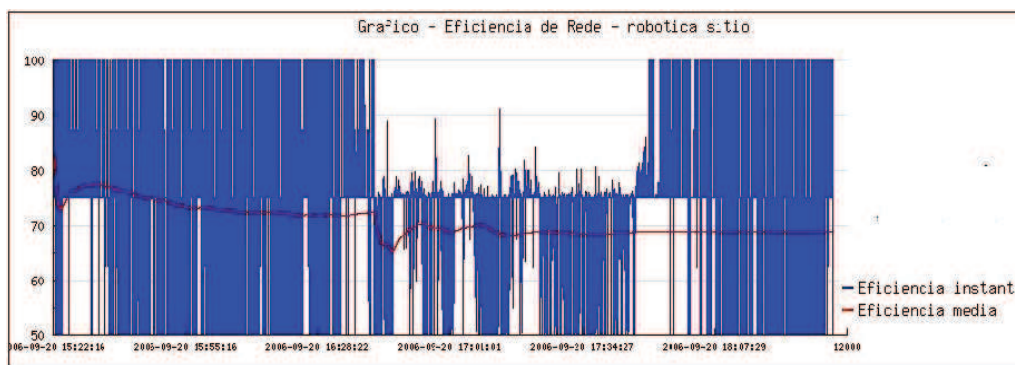


Figura 13 – Eficiência da Rede

Este gráfico apresenta a eficiência percentual do sistema em função do tempo. Para levantamento deste gráfico é desenvolvida uma expressão matemática que pondera as taxas utilizadas [13]. Neste gráfico são apresentados resultados instantâneo e médio dando uma visibilidade em escalas diferentes da estabilidade do enlace de rádios.

Observamos que a rede oferece um desempenho bastante satisfatório, pois a eficiência média apresenta pequenas variações, ou seja, 75 % cujo resultado estava previsto nos testes de verificação com IPERF. Os serviços que foram oferecidos neste estudo de caso foram: acesso à Web, VoIP e transmissão de *streaming* de vídeo.

## VII-RENDIMENTO DE COBERTURA

Na tecnologia WiMAX, além da vantagem do esquema de multiplexação OFDM, utiliza-se um esquema de modulação adaptativa e de codificação, como mostra a Figura 14. A seleção desta modulação a ser utilizado na camada física a partir do nível da relação sinal ruído percebida no receptor e apresentada na Tabela 2.

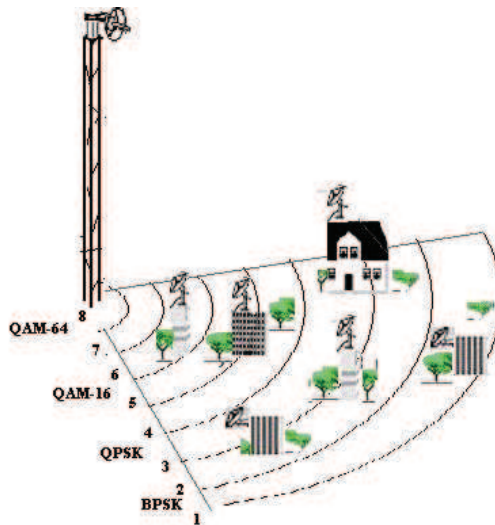


Figura 14. Área de Cobertura

Fonte – Criada pelos pesquisadores

Outros aspectos também são considerados para predição de cobertura e desempenho, e se referem à sensibilidade na recepção e das taxas de transmissão, como mostra a tabela 2, a configuração do sistema (potência de transmissão, altura da de antenas, faixa de freqüência, etc) e modelos de predição de cobertura.

Tabela 2 Características da Tecnologia WMAN

Modulation Level	8	7	6	5	4	3	2	1
Modulation	QAM-64		QAM-16		QPSK		BPSK	
Code	3/4	2/3	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2
RX dBm	-71	-73	-77	-81	-84	-86	-88	-89
SNR	23	22	18	14	11	9	7	6
User Unit	Data Rate (Mbps)							
1	3,00	2,25	1,5	1,13	0,75	0,56	0,38	0,28
2	6,00	4,50	3	2,25	1,50	1,13	0,75	0,56
3	54,00	40,5	27	20,25	13,50	10,13	6,75	5,06
$P_{rm}$ %	100,0	75,0	50	37,5	25,00	18,75	12,5	9,38

Fonte – Oliveira, Eduardo P. de. et al. Efficiency evaluation of...

A Figura 14, mostra os níveis de modulação e os seus respectivos esquemas de modulação. Observa-se, que os níveis de modulação se alteram e que as áreas cobertas por cada nível de modulação corresponde às faixas da área setorial total coberta pela AU. Na Tabela 2, as taxas de transmissão dependendo da antena correspondem a estes níveis de modulação. Para uma taxa de 54 Mbps, na

modulação QAM-64, o nível de modulação é 8 e nesta modulação temos uma sensibilidade de potência de -71 dBm.

Portanto, para definir a percentagem da área de cobertura para o enlace de rádio na banda de 5.8 GHz, utilizamos valores da Tabela 1.

Para a frequência de 5.8 GHz (WiMAX), o comprimento de onda ( $\lambda$ ) é de 0,05 [m]. Para o cálculo da potência de referência ( $Pr_{do}$ ) a distância de 100 m utiliza-se o modelo do espaço livre dado por [14]:

$$Pr = \frac{Pt.Gt.Gr.\lambda^2}{(4\pi.d_o)^2.L} \quad (1)$$

Para este modelo são consideradas as seguintes condições: o ganho da antena de recepção e transmissão e o fator perda do sistema igual a 1, sem perda de generalidade. Considerando-se fatores típicos para o sistemas chegamos a uma potência recebida a 100 m de  $Pr = -40dBm$ .

Portanto, na medida que o usuário se afasta da ERB, essa potência de referência sofre atenuações conforme as características do ambiente de propagação conforme a Tabela 3, mostrada na equação, do modelo de Shadowing, abaixo.

**Tabela 3. Expoente de perda por caminho para diferentes ambientes.**

Ambiente Externo	$\beta$
Espaço Livre	2
Urbano	2,7 a 5

Fonte - RAPPAPORT, T.S. Wireless Communications – Principles and Practice.1996.

No exemplo em questão, variamos as distâncias e também os betas ( $\beta$ ) para os oito níveis de modulação até o limite de suas respectivas potências recebidas e calculamos área de cobertura.

Para uma distância de 5020 m e  $\beta = 2$ , temos:

$$Pr_x = Pr_0 - 10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \chi_{dB}, \quad (2)$$

(modelo de Shadowing) onde  $\chi_{dB}$  é a variável aleatória Gaussiana do modelo de Shadowing e para este cálculo será zero, ou seja, sem aleatoriedade. Assim, a potência recebida para essa distância é:

$$Pr_{5020} = -40 - 10.2.\log\left(\frac{5020}{100}\right) + 0 \quad (3)$$

Ou seja,  $Pr_{5020} = -74,00dBm$ , que na tabela 2 corresponde ao nível de modulação 6. Este cálculo será realizado para todos os níveis de modulação e será ponderado pela área total de cobertura calculada por:

$$A_{Total} = \frac{1}{2} \cdot \theta \cdot d^2 \quad (4)$$

onde d será a máxima distância de cobertura e  $\theta$  será o ângulo de cobertura da área, que no caso foi de  $120^\circ$ .

Para cada nível de modulação será calculada a área. Para o nível 8 será a própria área do setor do círculo de raio d, ou seja,  $A_{mód8} = 23,28Km^2$ . Para os outros níveis de modulação deverá ser descontada a área já coberta pelo índice de modulação maior. A Tabela 3 mostra os cálculos para valores de  $\beta$  variando de 2 a 5 e mostrando a área coberta por cada nível de modulação e o valor percentual. A condição para  $\beta=2$  equivale ao modelo de propagação de espaço livre, que assume uma condição de linha de visada direta (LOS) sem nenhuma obstrução, entre a transmissão e recepção. Para ambiente com obstrução este valor de  $\beta$  aumenta, diminuindo, portanto a área de cobertura. Na Tabela 3 foi calculada tanto a área de cada nível quanto a área percentual.

O modelo de propagação de espaço livre assume a condição ideal para linha de visada direta (LOS) sem nenhuma obstrução, entre a transmissão e recepção, cuja, valor de beta é igual a 2. Então, na realidade, para ambientes rurais e urbanos os valores de beta estão variando conforme a Tabela 3.

A Tabela 4 apresenta os valores da área de cobertura para cada nível de modulação, e também dos “betas”.

**Tabela 4 Área de Cobertura**

Beta	Níveis de Modulação								Área de Cobertura
	1	2	3	4	5	6	7	8	
2	1.661,30	1.318,99	832,00	524,97	263,08	104,72	41,70	26,39	Km <sup>2</sup>
	20,61	29,30	18,49	15,76	9,53	3,79	0,92	1,94	%
3	30,76	26,39	19,36	14,26	8,99	4,89	2,65	1,94	Km <sup>2</sup>
	14,22	22,84	16,59	17,13	13,34	7,28	2,31	6,30	%
4	4,19	3,74	2,96	2,36	1,66	1,05	0,67	0,53	Km <sup>2</sup>
	10,70	18,74	14,300	16,56	14,69	9,00	3,40	12,60	%
5	1,27	1,13	0,97	0,79	0,60	0,43	0,29	0,24	Km <sup>2</sup>
	10,61	13,22	13,61	14,82	13,88	10,64	4,17	19,04	%

Fonte – Criada pelos pesquisadores

A área de cobertura apresenta os resultados em Km<sup>2</sup> e as faixas dessas áreas para cada nível de modulação está expressa em percentagem. Como exemplo: 26,39Km<sup>2</sup>, tem nível de modulação 8, com beta igual a 2, e a faixa dessa área corresponde a 1,94 % da área total.

O gráfico da Figura 15 abaixo nos apresenta o percentual da área de cobertura de cada faixa do setor, por índice de modulação para cada tipo de ambiente indicado pelos valores de beta.

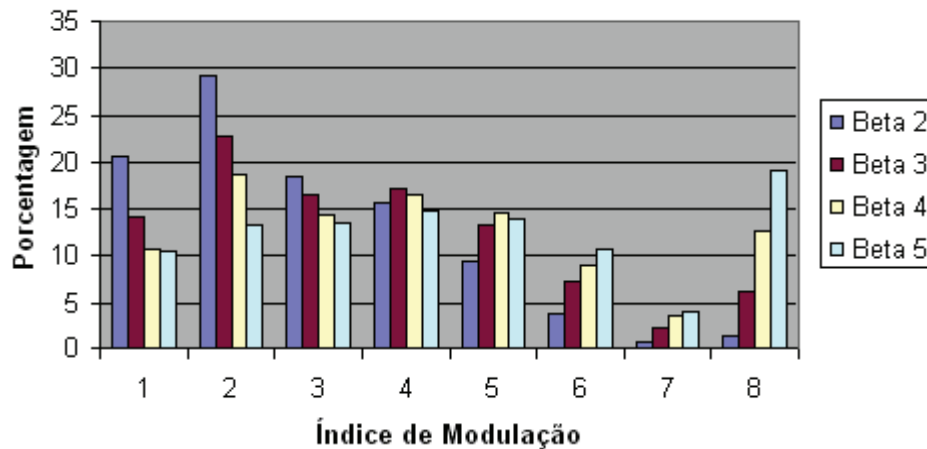


Figura 15. Área percentual por nível de modulação

Fonte – Criada pelos pesquisadores

Na Figura 15 observamos as variações das áreas de cobertura em função do nível de modulação e do fator  $\beta$ . E, na medida que o nível de modulação se torna mais robusto, a área de cobertura aumenta, porém a taxa de transmissão diminui, conforme é mostrado na Tabela 2, onde na modulação QAM-64 temos a maior taxa de transmissão, mas na modulação BPSK, que é mais robusta, a taxa de transmissão diminui consideravelmente. Caso o fator seja  $\beta = 3$  na modulação BPSK, a área de cobertura é de aproximadamente de 22,5 % da área total, contra 6% da modulação QAM-64, de acordo com o gráfico da Figura 15.

Assim, o que podemos observar também, é uma variação do rendimento nas áreas de cobertura em função dos fatores mostrados na Figura 15. Para avaliarmos esse rendimento, vamos considerar inicialmente que os usuários estejam distribuídos uniformemente na área total de cobertura ERB e  $R_n$  a taxa por nível de modulação  $n$ ,  $A_{n\beta}$  a área de cobertura para cada nível no ambiente  $\beta$  e  $A_{T\beta}$  a área total no mesmo ambiente. Onde:

$$A_{T\beta} = A_{8\beta} + A_{7\beta} + A_{6\beta} + \dots + A_{1\beta} \quad (5)$$

Desta forma, o rendimento de cobertura para cada fator  $\beta$  por nível de modulação será expressa por :

$$R_c(\beta) = \sum_{n=1}^N \frac{R_A \times A_{n\beta}}{A_{T\beta}} \quad (6)$$

Onde  $A_{n\beta}$  é a área correspondente para cada nível de modulação e  $\beta$ ,  $A_{T\beta}$  é a área total para o  $\beta$  e  $R_A$  é a proporção de taxa dada por:

$$R_A = \frac{R_n}{R_{max}} \quad (7)$$

onde  $R_C$  é a taxa  $R_{max}$  é o maior valor da taxa de transmissão do sistema,

Esta expressão em função do tipo do ambiente nos informa o rendimento percentual de cobertura para o valor de  $\beta$  correspondente.

Caso a distribuição dos usuários não seja distribuída uniformemente, um fator,  $\xi_n$ , de correção é introduzido na expressão do rendimento percentual:

$$RC(\beta) = \frac{1}{R_{MAX}} \sum_{n=1}^N \xi_n R_n \frac{A_{n\beta}}{A_{T\beta}} \quad (8)$$

Onde o fator  $\xi_n$  é definido como:

$$\xi_n = \frac{N_U}{N_T} \quad (9)$$

sendo  $N_u$ , o número de usuários na região e  $N_T$ , o numero total de usuários. Neste trabalho não será explorado o valor  $\xi_n$ .

O gráfico de percentagem do rendimento, Figura 16 foi construído a partir dos valores calculados e apresentados na Tabela 4 da área de cobertura. Desta maneira ele nos uma estimativa do rendimento de cobertura em função dos tipos ambientes de propagação.

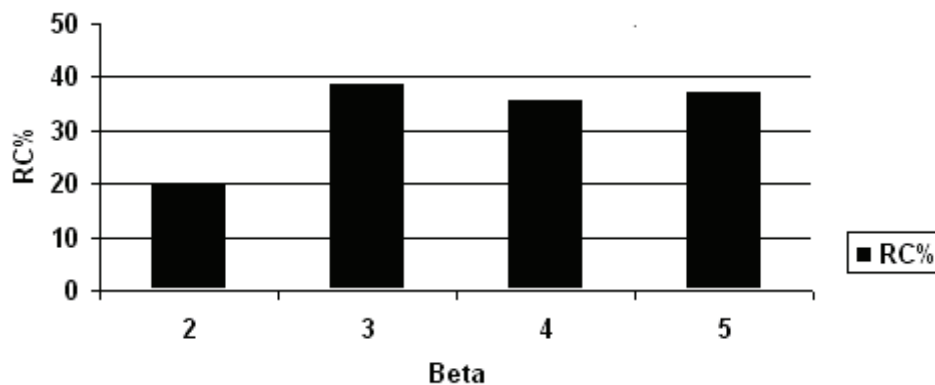


Figura 16. Percentagem do Rendimento

Fonte – Criada pelos pesquisadores

## VIII CONCLUSÃO

Este artigo apresentou o trabalho de investigação de tecnologias WMAN para interligação de hotspots WiFi abordando dois aspectos: um experimento prático com tecnologia Pré-WiMAX para avaliação de desempenho e avaliação de rendimento de cobertura em função das condições de propagação. O experimento com a tecnologia Pré-WiMAX teve o propósito de avaliar serviços *Triple Play*

(Voz, Vídeo e Dados). Foram realizados testes de desempenho com disparo de tráfego, bem como a avaliação da eficiência da rede com os serviços agregados. Também, foram realizados experimentos com aplicações de transmissão de vídeo, voz e dados com a participação dos alunos de uma escola.

Este trabalho também apresenta em função da tecnologia Pré-WiMAX utilizada uma proposta de planejamento para a estimar a proporção de área de cobertura para cada taxa disponível pela tecnologia, pois vários fatores interferem na taxa de utilização da banda quando os serviços são oferecidos, principalmente as condições de propagação com a variação do fator de atenuação.

A pesquisa reforça o potencial que a tecnologia para conexão sem fio (wireless), WiMAX, proporciona para alcançar regiões carentes de infra-estrutura de telecomunicações, além da mesma não exigir estruturas tão complexas e de alto custo para sua instalação, como aquelas usadas por sistemas celulares.

Hoje, é consenso que acesso banda larga é de fundamental importância para a Inclusão Digital, haja vista, os serviços que são agregados a essa tecnologia. Assim, passamos do contexto da universalização do acesso à Internet para o contexto da universalização do acesso banda larga, pois é ela se apresenta como uma condição fundamental para ampliar a Inclusão Digital, tal como os serviços *Triple Play*.

## IX-RECOMENDAÇÕES

Neste item são apresentadas novas ações em desenvolvimento levando-se em consideração os resultados obtidos. As aplicações realizadas com a tecnologia proposta objetiva contribuir para a ampliação de novos serviços de comunicação sem fio focados na Inclusão Digital e Educacional.

Após a implantação da rede metropolitana sem fio (WMAN) utilizando para o enlace de radio, a tecnologia pré-WiMAX com serviços *Triple Play*, foram realizadas algumas aplicações com os serviços de dados, voz e vídeo conferência.

Assim, as atividades realizadas com esta tecnologia aconteceram em dois ambientes distintos onde foram instaladas as antenas dos assinantes (Sus) da rede WMAN como mostra a Figura 18. Sendo uma na Escola do Sitio à 4 Km da ERB, ou seja, unidade de acesso (AU) e outra no Nano Ciência/Unicamp à 2 Km da AU.



Figura 18. Cenários de teste com aplicações *Triple Play*

Fonte – Adaptação do Google Earth

Neste contexto, relacionamos abaixo, as atividades com os serviços de aplicações *Triple Play*:

- A Figura 19 apresenta o cenário das aplicações *Triple Play*, com alguns dos dispositivos utilizados, PDAs, câmera de vídeo, lap tops, e celularIP;



Figura 19 Cenários dos equipamentos utilizados

Fonte – Fotos tiradas pelos pesquisadores

- WiMAX\_Robótica - Da escola, os alunos controlam o robô remotamente, que está localizado em outra escola. Para isso, se utiliza a aplicação *Triple Play*, para transmissão de voz e imagem. Também, promove interação entre escolas estabelecendo comunicação (VoIP) entre elas, via movimentação do robô. Utiliza os aplicativos Skype ou Softfone para

transmissão de voz sobre o protocolo IP ou mesmo o telefone IP. Como mostra a ilustração das Figuras 20 e 21.



Figura 20. Controle remoto do robô

Fonte – Fotos tiradas pelos pesquisadores

A Figura 20 mostra a interface gráfica que controla os movimentos do robô. A imagem na tela esquerda representa a visão que o “olho do robô” vê, que é uma câmera acoplada no mesmo, e a tela direita é a imagem do robô se movimentando no ambiente.

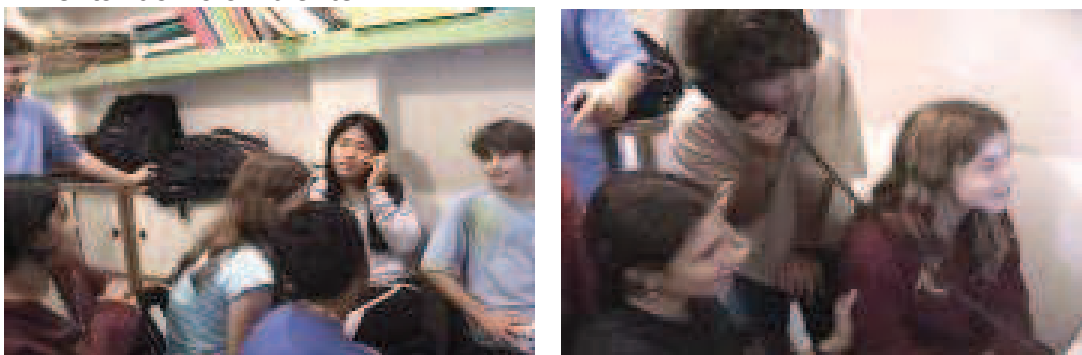


Figura 21. Os alunos se comunicam via VoIP com celular IP e telefone fixo IP enquanto controlam o movimento do robô

Fonte- Fotos tiradas pelos pesquisadores

- Outra atividade realizada com a tecnologia pré-WiMAX, e aplicações *Triple Play*, foi a transmissão pela rede mundial de computadores, Internet, das atividades do projeto Nanoaventura. Neste caso, além do acesso a Internet via WiMAX, os locais da rede WMAN se comunicaram via VoIP, contemplando as aplicações *Triple Play*.

Portando, a nossa recomendação se faz a partir destas aplicações com foco justamente na Inclusão Digital.

## X-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ARAÚJO, P.J.Z de. **Mapa brasileiro da exclusão digital**. In: COLÓQUIO LATINO-AMERICANO SOBRE INCLUSÃO DIGITAL, 1., 2006, Campinas. **Os desafios regionais**. Campinas: Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 19-20 jun. 2006. Disponível em: <<http://www.cpqd.com.br/img/araujo.pdf>>. Acesso em: out. 2006

[2] BAGGIO.R. **Mapa da Exclusão Digital**. Disponível em:<[http://www2.fgv.br/ibre/cps/mapa\\_exclusao/apresentacao/SUM%C1RIO.pdf](http://www2.fgv.br/ibre/cps/mapa_exclusao/apresentacao/SUM%C1RIO.pdf)> Acesso em : 15 de Nov. 2006.

[3] CAVALCANTI. C.F.M.C. **Ouro Preto. Cidade Digital**. Disponível em:<[http://www.rnp.br/\\_arquivo/wrnp/2005/Wi-MAX-Fortaleza.pdf](http://www.rnp.br/_arquivo/wrnp/2005/Wi-MAX-Fortaleza.pdf) . > Acesso em : 22 de Nov. 2006

[4] CAYLA, G; COHEN, S; GUIGON, D. **WiMAX an efficient tool to bridge the digital divide**. WiMAX Forum, nov. 2005. Disponível em: <[http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAX\\_to\\_Bridge\\_the\\_Digitaldivide.pdf](http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAX_to_Bridge_the_Digitaldivide.pdf)> . Acesso em: out. 2006.

[5] CORDEIRO, C; CHALLAPALI, K; BIRRU, D; SHANKAR, S. **IEEE 802.22: The first worldwide wireless Standard based on Cognitive Radios**. Disponível em: < [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=1542649](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1542649)> Acesso em 23 de Nov.2006.

[6] CPqD. **Mapeamento de Soluções**.Disponível em:< . [http://www.cpqd.com.br/img/mapeamento\\_de\\_solucoes\\_ab.pdf](http://www.cpqd.com.br/img/mapeamento_de_solucoes_ab.pdf) > Acesso em : 21 de Nov. 2006

[7] CRUZ, Renato. **Aqui, a banda larga é lenta e cara**. *O Estado de São Paulo*, São Paulo 18 set. 2005. Economia, p. B12

[8] DALL'ANTONIA, J.C.**Concebendo soluções inovadoras para inclusão digital no Brasil**. In: COLÓQUIO LATINO-AMERICANO SOBRE INCLUSÃO DIGITAL, 1., 2006, Campinas. Os desafios regionais. Campinas: Centro de

Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 19-20 jun. 2006. Disponível em: <<http://www.cpqd.com.br/img/juliano.pdf>>. Acesso em: out. 2006

[9] LOIO,G. **Inclusão Digital Cresce (e Aparece) no Brasil**. Disponível em: <<http://www.jornaldaestacio.com.br/digital1.asp> > Acesso em : 15 de Nov. 2006

[10] MACHADO. **Inclusão Digital: livro apresenta a Internet no combate à exclusão social**. Disponível em <[http://www.idbrasil.gov.br/noticias/News\\_Item.200413.2831/view?searchterm=pontos%20de%20presença](http://www.idbrasil.gov.br/noticias/News_Item.200413.2831/view?searchterm=pontos%20de%20presença) > Acesso em: 15 nov.2006.

[11] MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. **.Inclusão Digital. Livro apresenta a Internet no combate a exclusão social**. Disponível em:<[http://www.idbrasil.gov.br/noticias/News\\_Item.2004-07-13.2831/view?searchterm=pontos%20de%20presença](http://www.idbrasil.gov.br/noticias/News_Item.2004-07-13.2831/view?searchterm=pontos%20de%20presença) > Acesso em : 20 de Nov. 2006

[12] Now **is the time for WSIS implementation and follow-up**. Disponível em:<<http://www.wsis-online.net/http://www.wsis-online.net/> > Acesso em: 12 nov. 2006

[13] OLIVEIRA, Eduardo P.de; BRANQUINHO,Omar C.; RODOVALHO, Francisco J. L.; BIANCHINI, David. **Efficiency evaluation of WMAN network operating in 5,8 GHz**. Campinas, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, out. 2006. Mimeo

[14] RAPPAPORT, T.S. **Wireless Communications – Principles and Practice**. Prentice Hall, PTR.New Jersey:USA, 1996.p.69 – 133

[15] SANTOS, A.S.R.Brasil. Disponível em <<http://www.ultimaarcadenoe.com/brasil.htm> > acesso em: 15 nov.2006.