

ANÁLISE COMPARATIVA DA CAPACIDADE DE COBERTURA DO PADRÃO IEEE 802.16 E DE OUTROS SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS DE TERCEIRA GERAÇÃO

Gustavo CAVALCANTE (1); Eduardo RODRIGUES (2,3); Jefferson SILVA (1)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, CEFET-PB, Av. 1º de maio, 720, João Pessoa, PB,
Brasil, 8015-430, 83-3208-3000, gustavocefetpb@gmail.com, jeffersoncs@gmail.com

(2) Agência Nacional de Telecomunicações – Anatel – DF

(3) Universidade Federal do R. G. do Norte – PPgEEC, UFRN, eduardo_telecom@yahoo.com.br

RESUMO

Nos últimos anos, tem-se percebido um significativo aumento do fluxo de dados por meio das redes celulares e de Internet sem fio, especialmente as redes de terceira geração (3G), as quais têm sido implementadas por um número cada vez maior de operadoras pelo mundo. Dentre os padrões 3G, destacam-se o WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) e o WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) por apresentarem elevada eficiência espectral e maior capacidade de transmissão de dados. Neste artigo são desenvolvidas simulações computacionais simples, relativas à capacidade de cobertura dos padrões WiMAX e WCDMA, com auxílio dos principais modelos de predição de perdas de propagação existentes na literatura atual. Com base nos resultados obtidos, uma discussão de cunho técnico-econômico sobre a relação custo benefício da implementação dos padrões WiMAX e WCDMA, com relação ao capital de investimento CAPEX (*Capital Expenditure*) e o capital operacional OPEX (*Operational Expenditure*) envolvidos na implementação de *Access Points* (AP) é desenvolvida. Os resultados apresentados ilustram o compromisso entre a maximização da cobertura *versus* a prestação de serviços em taxas de dados mais elevadas, bem como os volumes de capitais necessários para a implementação de estações WiMAX e WCDMA em diferentes cenários.

Palavras-chave: propagação, cobertura, WCDMA, WiMAX, CAPEX e OPEX.

1. INTRODUÇÃO

O mercado de banda larga móvel tem se apresentado como o mais promissor e crescente dentre os serviços de comunicações móveis atuais. As características como liberdade, facilidade e mobilidade do serviço de banda larga móvel têm sido, cada vez, mais valorizadas pelos usuários, pois possibilitam novas formas de relação profissional e pessoal. A atualização das redes de comunicações móveis no Brasil para 3G tem possibilitado a introdução de novos serviços e aberto novas fontes de receita para as operadoras de telefonia móvel. Dentre os padrões IMT-2000 (*International Mobile Telephony for year 2000*), destacamos o WCDMA e o mais recente padrão adotado pelo grupo de radiocomunicação ITU-R, em 19 de outubro de 2007, desenvolvido pelo grupo 802.16 do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) para redes metropolitanas de transmissão de dados em banda larga (WMAN), chamado de “IMT-2000 OFDMA TDD WMAN”, popularmente conhecido como WiMAX. Neste trabalho são realizadas simulações computacionais simples, em nível de *link*, relativas à cobertura dos padrões WiMAX e WCDMA, ambos em fase de implantação no Brasil, assim como, uma análise técnico-econômico introdutória relativa aos capitais de investimento e operacional (CAPEX e OPEX) envolvidos na implementação de AP WiMAX e WCDMA, com base nos modelos de perdas de propagação recentemente utilizados na literatura. Esses sistemas foram escolhidos por serem considerados como alternativas viáveis para a expansão do acesso à banda larga em áreas urbanas, suburbanas e rurais no Brasil. O trabalho é organizado da seguinte forma: na Seção 2, é feita uma breve introdução dos padrões WiMAX e WCDMA. Na Seção 3, são apresentadas as considerações teóricas para as simulações computacionais da cobertura e da estimação do CAPEX e OPEX requerido na implantação de AP WiMAX e WCDMA. Na Seção 4, são ilustrados os cenários dessas simulações e na Seção 5, são mostrados os resultados obtidos. Por fim, na Seção 6, é feita uma conclusão com base Na análise dos resultados obtidos nas simulações.

2. WIMAX E WCDMA

Criado em 1999, o grupo de trabalho IEEE 802.16 é responsável por preparar especificações para a implementação de redes de banda larga sem fio em áreas metropolitanas. O IEEE 802.16 é uma das unidades do IEEE 802 LAN/MAN (AHSON, 2008). O resultado inicial dos trabalhos do grupo foi à publicação, em dezembro de 2001, do padrão 802.16. Daí em diante, novos desenvolvimentos foram feitos e revisões do padrão foram propostas (802.16a e 802.16c). A especificação 802.16-2004 substituiu todas as propostas lançadas entre 2001 e 2004, e representa o WiMAX fixo. Já a especificação 802.16e-2005, lançada em dezembro de 2005, acrescenta à proposta de 2004 a mobilidade, por isso é chamada WiMAX móvel. Evoluções do padrão, e.g. 802.16i, 802.16j e 802.16k, estão, atualmente, em fase de desenvolvimento. O padrão WiMAX proporciona conectividade em qualquer lugar, a qualquer instante, por meio da utilização de técnicas como: Sistema de Antenas Adaptativas (AAS), acesso múltiplo OFDMA, que permite a alocação dos sinais muito próximos uns dos outros no canal sem fio, proporcionando melhoras significativas na capacidade do sistema de modo a superar, eficientemente, as interferências e o desvanecimento seletivo em frequência causado pela propagação em múltiplos percursos na faixa de 2 a 11 GHz (UPASE et al., 2007) e a Modulação e Codificação Adaptativa (AMC), que é capaz de alterar, dinamicamente, os vários esquemas de modulação suportados pelo padrão. As faixas de frequências de operação para o WiMAX podem ser licenciadas (2,5 e 3,5 GHz) ou não licenciadas (5,8 GHz). No Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações – Anatel, licitou blocos de radiofrequências nas faixas de 3,5 GHz e 10,5 GHz para o WiMAX. No momento, a Embratel é a principal operadora no Brasil em serviços 3G com WiMAX, na faixa de 3,5 GHz (RODRIGUES et al., 2008.). Mais informações sobre WiMAX podem ser encontradas em (AHSON, 2008). O WCDMA utiliza o DS-CDMA (*Direct Sequence-CDMA*) como acesso múltiplo, caracterizado pelo aumento na largura de banda do sinal original durante a transmissão utilizando um código de espalhamento espectral com largura de banda de 5 MHz, que permite a separação dos diferentes usuários que compartilham a mesma portadora. Visando o aumento da capacidade de transmissão o grupo 3GPP (*Third-generation Partnership Project*) propôs as evoluções HSDPA e HSUPA (*High Speed Downlink/Uplink Package Access*) apresentadas respectivamente nos Release 5 e 6 para o padrão WCDMA. As duas técnicas juntas formam o padrão HSPA (*High Speed Package Access*) chamado de geração 3.5G que, com o auxílio de técnicas como Retransmissão Automática Híbrida (HARQ), redução do Intervalo de Tempo Transmissão (TTI) e Detecção Multi-Usuário (MUD) proporcionam tráfego com taxas de transmissão entre 5 e 14 Mbps (RODRIGUES, 2006). No Brasil a Anatel, licitou blocos de frequências nas faixas de 1.9 a 2.1 GHz para os sistemas 3G. Mais informações sobre o WCDMA podem ser encontradas em (HOLMA et al., 2004)

3. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS PARA AS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

3.1. CAPEX e OPEX WiMAX/WCDMA

O CAPEX é o custo inicial de equipamentos e infraestrutura necessários para uma empresa implementar uma nova tecnologia. Junto com o OPEX, que é o capital responsável por manter em operação a nova tecnologia, o CAPEX influencia diretamente no custo da prestação do serviço para os usuários. Para um empresa de serviços de telecomunicações que deseja oferecer os serviços WiMAX ou WCDMA, é de grande importância a escolha do tipo de rede a ser construída para prestar os serviços, seja uma rede que ofereça baixa taxas de dados, com maior raio de cobertura, ou uma rede com menor cobertura, oferecendo taxas de dados mais elevadas. Basicamente, decisões desse tipo vão influenciar no CAPEX e OPEX da empresa, pois quanto maior o número de AP para cobrir uma determinada área, maior o montante de capitais a ser investido. Os valores do CAPEX inicial, requerido para a implantação de um AP WiMAX e um AP WCDMA, são mostrados, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2. O OPEX inicial requerido para manter em operação as redes WiMAX e WCDMA são mostrados, respectivamente, nas Tabelas 3 e 4 (RENDÓN, 2007).

Tabela 1 – CAPEX WiMAX

Itens do CAPEX	Custo (R\$)
AP WiMAX	91.353,00
Construção da infraestrutura da estação	91.353,00
Instalação	5.482,00

Tabela 2 – CAPEX WCDMA

Itens do CAPEX	Custo (R\$)
Construção da infraestrutura da estação	145.800,00
AP (urbano)	255.150,00
AP (suburbano/rural)	145.800,00
RNC	12.150,00

Tabela 3 – OPEX WiMAX

Itens do OPEX	Custo (R\$)
Backhaul	12.150,00
Manutenção	9.410,00
Aluguel do local da instalação do AP	32.888,00

Tabela 4 – OPEX WCDMA

Itens do OPEX	Custo (R\$)
Aluguel do local da instalação do AP (urbano)	24.300,00
Aluguel do local da instalação do AP (rural)	7.290,00
Transmissão	12.150,00
Consumo de energia	12.393,00
Operação e manutenção	20.655,00

3.2. Modelos de Predição de Perdas de Propagação

O projeto de sistemas sem fio tem que ser preciso de forma a proporcionar melhor cobertura e capacidade possível. O planejamento e a gerência de redes sem fio envolvem diversas etapas, com o intuito de estimar o número mínimo de AP necessários para atender, satisfatoriamente, a um determinado número de estações móveis (*Costumer Premisse Equipment*, CPE) em uma determinada região. Nos sistemas de comunicações móveis a predição das perdas de propagação é de grande complexidade devido às grandes diferenças de ambientes, relevo, clima, arborização, etc. Os modelos de perda de propagação exercem um papel fundamental no planejamento de redes sem fio e é de grande importância que estes modelos se aproximem da realidade o melhor possível. Em sistemas WiMAX, *SNR* é a relação sinal-ruído para dado esquema de

modulação, devido ao uso de modulação adaptativa, Tab. (2), F a figura de ruído, (dB). Sabendo que no OFDM não há alocação de toda a largura de banda do canal para transmissão dos dados, devido ao consumo de banda ocorrido durante o processo de amostragem e à sub-canalização desempenhadas, a equação da sensibilidade do receptor é escrita como (FIGUEIREDO et al., 2005):

$$P_{r,min} = SNR_{rx} + F + N_0 + 10 \log_{10} \left(\frac{F_s N_{used} N_{subchan}}{16 N_{FFT}} \right) \quad [\text{Eq. 01}]$$

A largura de banda efetiva da portadora, W , (MHz) é obtida função do número de sub-portadoras, N_{used} , igual a 192, do total de sub-portadoras disponíveis, N_{FFT} , igual a 256, do número de subcanais, $N_{subchan}$ e da frequência de amostragem F_s , (MHz), função do fator de amostragem n , dada por:

$$F_s = \left(\frac{8000nW}{8000} \right) \quad [\text{Eq. 02}]$$

Já para sistemas digitais baseados em espalhamento espectral (SS), a sensibilidade do receptor é dada por (LEE et al., 1998):

$$P_{r,SS} = F + kTW + E_b/N_0 - W/R \quad [\text{Eq. 03}]$$

onde, F é a figura de ruído, (dB), k é a constante de Boltzmann que é igual a $1,381 \times 10^{-23} \text{ W/Hz/K}$, T é a temperatura ambiente, 290 K , W é, em WCDMA, a taxa de *chip*, igual a $3,84 \text{ MHz}$, E_b/N_0 é a energia do *bit* pela densidade espectral de potência do ruído dada em (dB) e R é a taxa de transmissão em ($kbps$).

Tabela 5 – Parâmetros para modulação adaptativa

Tipo de Modulação	Taxa de Codificação (C_r)	SNR (dB)
BPSK	1/2	6,4
QPSK	1/2	9,4
	3/4	11,2
16-QAM	1/2	16,4
	3/4	18,2
64-QAM	2/3	22,7
	3/4	24,4

3.2.1. Modelo COST-231 HATA

O modelo COST 231 – Hata é uma extensão do modelo Okumura-Hata, amplamente utilizado para cálculos de perda de propagação para sistemas de comunicações móveis, com frequências entre 500 e 2000 MHz . O modelo contém correções que permitem a predição em áreas urbanas, suburbanas e rurais. A equação da perda de percurso, em dB , para o modelo é (ZHANG, 2008), (ABHAYAWARDHANA, et al., 2005):

$$PL_{COST-Hata} = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_{AP}) - ah_m + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{AP})] \log_{10}(d) + C_m \quad [\text{Eq. 04}]$$

O parâmetro ah_m é definido para ambientes urbanos como:

$$ah_m = 3.2 [\log_{10}(11.75 h_{CEP})]^2 - 4.97 \quad [\text{Eq. 05}]$$

e para ambientes suburbanos ou rurais:

$$ah_m = [1.1 \log_{10}(f) - 0.7] h_{CPE} - [1.56 \log_{10}(f) - 0.8] \quad [\text{Eq. 06}]$$

sendo f a frequência de operação em (MHz), d a distância entre o AP e o CPE, (km), h_{AP} é a altura da antena do AP, (m) e h_{CPE} é a altura da antena do CPE. Para áreas rurais ou suburbanas, C_m é igual 0 dB e para áreas urbanas C_m é igual a 3 dB.

3.2.2. Modelo ECC-33

O modelo ECC-33 é baseado na extrapolação de medidas realizadas por Okumura em Tóquio, onde foi utilizada a classificação cidades de grande porte e cidades de médio porte, com fatores de correção para áreas suburbanas ou abertas, de modo que o modelo seja aplicável à faixa de 3,4 a 3,8 GHz (ABHAYAWARDHANA, et al., 2005), (TIEDOTTEITA, 2007). A perda de percurso é dada por:

$$PL_{ECC} = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r \quad [\text{Eq. 07}]$$

$$A_{fs} = 92.4 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad [\text{Eq. 08}]$$

$$A_{bm} = 20.4 + 9.83 \log_{10}(d) + 7.89 \log_{10}(f) + 9.56 [\log_{10}(f)]^2 \quad [\text{Eq. 09}]$$

$$G_b = \log_{10}(h_{AP}/200) \{13.958 + 5.8 [\log_{10}(d)]^2\} \quad [\text{Eq. 10}]$$

sendo A_{fs} a atenuação no espaço livre, (dB), A_{bm} a perda de percurso média, (dB), dependente da distância, d (km), e da frequência de operação f , (GHz). G_b é o fator de ganho pela altura do AP, (dB), dependente da h_{AP} . G_r é o fator de ganho pela h_{CPE} . Para cidades de médio porte:

$$G_r = [42.57 + 13.7 \log_{10}(f)] [\log_{10}(h_{CPE}) - 0.585] \quad [\text{Eq. 11}]$$

para cidades de grande porte:

$$G_r = 0.795(h_{CPE}) - 1.862 \quad [\text{Eq. 12}]$$

3.2.3. Modelo SUI

No modelo SUI os ambientes de propagação são classificados em 3 tipos (A, B e C) (FIGUEIREDO et al., 2005) mostrados na Tabela 6. Inicialmente, o modelo SUI foi desenvolvido para frequências próximas de 2 GHz. Para superar essas limitações foi desenvolvida uma versão estendida, apresentada em (ANDREWS, et al., 2007). A perda de percurso, em dB, é dada, para $d > d_0$, por:

$$PL_{SUI} = A + 10\gamma \log_{10}(d / d_0) + \Delta PL_f + \Delta PL_h + s \quad [\text{Eq. 13}]$$

$$A = 20 \log_{10}(4\pi d_0 / \lambda) \quad [\text{Eq. 14}]$$

$$\gamma = (a - b h_{AP} + c / h_{AP}) \quad [\text{Eq. 15}]$$

$$\Delta PL_f = 6 \log_{10}(f / 2000) \quad [\text{Eq. 16}]$$

$$\Delta PL_h = -10.8 \log_{10}(h_{CPE} / 2), \text{ Categorias A e B} \quad [\text{Eq. 17}]$$

$$\Delta PL_h = -20 \log_{10}(h_{CPE} / 2), \text{ Categoria C} \quad [\text{Eq. 18}]$$

sendo f a frequência de operação em (MHz), d_0 a distância de referência, ($d_0=100$ m), d a distância entre AP e a CPE, (m), h_{AP} é a altura da antena do AP, (m) e h_{CPE} é a altura da antena do CPE, (m) e λ é o comprimento de onda, (m). O efeito de sombreamento, s , é modelado como sendo uma variável aleatória log-normal, de desvio padrão típico entre 8,2 e 10,6 dB (ERCEG, et al., 1999). O modelo SUI estendido é válido para: $2 \text{ m} \leq h_{CPE} \leq 10 \text{ m}$; $10 \text{ m} \leq h_{AP} \leq 80 \text{ m}$ e $1,9 \text{ GHz} \leq f \leq 3,5 \text{ GHz}$. Para cada tipo de terreno do modelo SUI é possível calcular um expoente de perda de propagação, γ , com base na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros do modelo SUI

Parâmetros	Tipo de Terreno		
	A	B	C
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,005
c	12,6	17,1	20

Ao terreno do tipo A é associada à máxima perda de percurso. Adequado para regiões de relevo bastante acidentado, com densidade de moderada a intensa de vegetação e construções altas. O terreno do tipo B é o tipo de terreno intermediário, entre os tipos A e C. O terreno do tipo C é adequado para regiões de perda de percurso mínima, onde o terreno é plano, com construções baixas e com uma densidade de vegetação leve. Após o cálculo do raio da célula, com auxílio dos modelos acima apresentados, a área de cobertura do AP deve ser calculada. A área do AP é dada por (LAIHO, et al., 2001):

$$A_{AP} = Kd^2 \quad [\text{Eq. 19}]$$

sendo d o raio máximo da célula e K uma constante igual a 2,6, para AP omnidirecionais ou com 6 setores, 1,3 para 3 setores e 1,95 para 2 setores.

Tabela 7 – Parâmetros para simulação

	WiMAX	WCDMA
Potência de transmissão do AP (dBm)	30	26
Potência de transmissão do CPE (dBm)	15	17 e 20
h_{CPE} (m)	2	2
h_{AP} (m)	50	50
Ganho total do sistema (dBi)	18	18
F (dB)	12	12
Esquema de modulação	QPSK e 64QAM	QPSK
C_r	1/2 e 3/4	1/2 e 3/4

4. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Para este trabalho foram desenvolvidas simulações simples, de nível de *link*, para planejamento de cobertura WiMAX nas frequências de operação 2,5 GHz e 3,5 GHz e para WCDMA nas frequências de operação 0,75 GHz e 1,2 GHz. Estas simulações foram baseadas nos modelos de propagação apresentados na Seção 3. Três cenários, cada um com 220 km² de área a ser coberta, com características de terrenos distintas, são propostos. O cenário A corresponde a uma cidade densamente urbana com baixa arborização, o cenário B corresponde a uma cidade moderadamente urbana a suburbana com média arborização e o cenário C

corresponde a uma cidade moderadamente suburbana a rural. Para cada cenário, foi obtido o raio máximo de alcance da cobertura do AP no enlace direto (*downlink*, DL) e o raio do AP no qual são permitidas as mais elevadas taxas no DL, chamados, respectivamente, de R1 e R2. Logo após, foram obtidos para ambos os contornos, a área de cobertura de um AP omnidirecional, tanto para WiMAX e WCDMA, utilizando a constante $k = 1.3$ (CAP-3), bem como os números de AP para cobrir a área dos cenários criados (NAP). Com base na quantidade de AP necessária para cobrir a determinada área, o CAPEX e o OPEX, para WCDMA e WiMAX, foram estimados. Para o Cenário A, a cobertura do padrão WiMAX foi analisada com os modelos SUI-A, para as frequências de 2,5 e 3,5 GHz, e com o modelo ECC-33, para cidades grandes (CG) e para a frequência de 3,5 GHz. Já para o padrão WCDMA, a cobertura foi estimada com os modelos Hata, para 0,75 GHz e com os modelos COST-231 Hata e SUI-A, para 1,2 GHz. Os resultados do Cenário A são apresentados na Tabela 8. Os resultados do Cenário B são apresentados na Tabela 9, onde a cobertura WiMAX foi analisada com os modelos SUI-B, para as frequências de 2,5 e 3,5 GHz, e com o modelo ECC-33, para cidades médias (MC) e para a frequência de 3,5 GHz. Já para o padrão WCDMA, a cobertura foi estimada com os modelos Hata, para a frequência de 0,75 GHz, e com os modelos COST-231 Hata e SUI-B, para 1,2 GHz. Para o Cenário C, os resultados são apresentados na Tabela 10, onde a cobertura do padrão WiMAX foi estimada com o modelo SUI-C, para as frequências de 2,5 e 3,5 GHz, para o padrão WCDMA foram utilizados os modelos Hata, para a frequência de 0,75 GHz, e os modelos COST-231 Hata e SUI-C, para 1,2 GHz.

4.1. Resultados das Simulações

Para os três cenários com o padrão WiMAX houve, em média, um aumento de 506% da quantidade de AP comparando o raio R2 em relação a R1. Já para o padrão, WCDMA houve um aumento médio de 432%. Devido à AMC, a transmissão de dados em elevadas taxas no WiMAX é dependente da distância do CPE em relação ao AP. Observa-se das Tabelas 8, 9 e 10 um decréscimo do R2 com relação ao R1, para ambos os padrões comprovando, assim, a dependência das elevadas taxas com a distância do CPE em relação ao AP. Observa-se, também, que com o aumento da frequência de operação há um decréscimo tanto em R1 como em R2, devido a maior atenuação no espaço livre. Quanto maior a frequência, mais visada é necessário e menor o alcance em ambientes multipercursos, devido aos obstáculos no caminho do sinal. Por fim, podemos observar que o padrão WCDMA mostrou ter raios de cobertura maiores que os do padrão WiMAX, tanto para R1 como para R2.

Tabela 8 – Cenário A

WiMAX, W = 1,75 MHz						WCDMA					
SUI-A		ECC-CG		SUI-A		Hata		COST-231 Hata		SUI-A	
f = 2,5 GHz		f = 3,5 GHz		f = 3,5 GHz		f = 0,75 GHz		f = 1,2 GHz		f = 1,2 GHz	
R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)
1,284	0,593	3,048	1,081	1,056	0,486	2,400	1,002	1,956	0,817	1,985	1,027
CAP-3 (km ²)		CAP-3 (km ²)		CAP-3 (km ²)		CAP-3 (km ²)		CAP-3 (km ²)		CAP-3 (km ²)	
2,14	0,45	12,07	1,51	1,44	0,30	7,48	1,30	4,97	0,87	5,12	1,37
NAP		NAP		NAP		NAP		NAP		NAP	
103	489	19	145	153	734	30	169	43	253	43	161

Tabela 9 – Cenário B

WiMAX, W = 1,75 MHz						WCDMA					
SUI-B		ECC-CM		SUI-B		Hata		COST-231 Hata		SUI-B	
F = 2,5 GHz		f = 3,5 GHz		f = 3,5 GHz		f = 0,75 GHz		f = 1,2 GHz		f = 1,2 GHz	
R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)
1,720	0,728	1,160	0,411	1,383	0,585	2,432	1,016	2,453	1,025	2,795	1,342
CAP-3 (km ²)		CAP-3 (km ²)		CAP-3 (km ²)		CAP-3 (km ²)		CAP-3 (km ²)		CAP-3 (km ²)	
3,84	0,68	1,74	0,22	2,48	0,44	7,68	1,34	7,83	1,36	10,15	2,34
NAP		NAP		NAP		NAP		NAP		NAP	
58	324	127	1000	89	500	29	165	29	162	22	95

Tabela 10 – Cenário C

WiMAX, $W = 1,75 \text{ MHz}$				WCDMA					
SUI-C		SUI-C		Hata		COST-231 Hata		SUI-C	
$f = 2,5 \text{ GHz}$		$f = 3,5 \text{ GHz}$		$f = 0,75 \text{ GHz}$		$f = 1,2 \text{ GHz}$		$f = 1,2 \text{ GHz}$	
R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)	R1 (km)	R2 (km)
2,106	0,838	1,668	0,664	4,580	1,913	4,064	1,698	3,543	1,614
CAP-3 (km^2)		CAP-3 (km^2)		CAP-3 (km^2)		CAP-3 (km^2)		CAP-3 (km^2)	
5,76	0,91	3,61	0,57	27,26	4,75	21,47	3,74	16,83	3,38
NAP		NAP		NAP		NAP		NAP	
39	242	61	386	9	47	11	59	14	66

4.2. Análise do CAPEX e OPEX para os Padrões WiMAX e WCDMA

Neste trabalho, os cálculos do CAPEX e do OPEX, para os padrões WiMAX e WCDMA, foram realizados com base no modelo SUI, nas frequências de 3,5 GHz para WiMAX e 1,2 GHz para WCDMA. Observa-se nas Figuras 1 e 3 um significativo aumento do CAPEX requerido para implementação de AP WiMAX e WCDMA quando a rede é ajustada para fornecimento de elevadas taxas (com raios de cobertura reduzido) com relação a uma rede de alto alcance em cobertura e taxas mais reduzidas. A variação no volume de capitais pode chegar a 533% para o padrão WiMAX e de 371% para o padrão WCDMA. Nas Figuras 2 e 4 são exibidos os valores do OPEX para os três cenários criados tanto para WiMAX como para WCDMA. Dependendo do cenário e do tipo de rede escolhida, o OPEX para o WiMAX pode chegar a variar 532%. Já para o padrão WCDMA, essa variação pode chegar a 373%. A grande diferença dos valores do CAPEX e OPEX do WiMAX com relação ao WCDMA se deve ao fato do padrão WiMAX, para as simulações aqui desenvolvidas, possuir raios de cobertura menores do que o WCDMA, implicando em uma maior quantidade de AP do que o WCDMA, influenciando diretamente nos capitais de investimento e de operação.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho simulações computacionais foram realizadas baseadas em três dos mais consagrados modelos de perda de propagação existentes na literatura atual, aplicáveis à faixa de frequência de operação do WiMAX e WCDMA, tendo sido estimados os raios máximos de cobertura do WiMAX para as frequências 2,5 e 3,5 GHz e para o padrão WCDMA em 0,75 GHz e 1,2 GHz. Além disso, foi determinado o número de AP necessários para cobrir uma área de 220 km^2 em três cenários com diferentes características, para duas configurações de rede WiMAX e WCDMA. Com base nos dados obtidos, o CAPEX e o OPEX envolvidos na implementação e operação de AP foram estimados. Desta forma, foi possível determinar a importância de um planejamento de redes considerando as questões de ordem econômica para as operadoras de telecomunicações, sendo necessário, também, levar em conta questões regulatórias, e.g. o uso de bandas do espectro de frequências, assim como os custos incorridos na prestação de serviços em determinadas configurações de rede, para que seja mantido o compromisso entre a maximização da cobertura *versus* a prestação de serviços de 3G em redes WiMAX e WCDMA, em taxas de dados mais elevadas, de modo que o CAPEX e OPEX sejam remunerados pelos valores cobrados dos seus usuários.

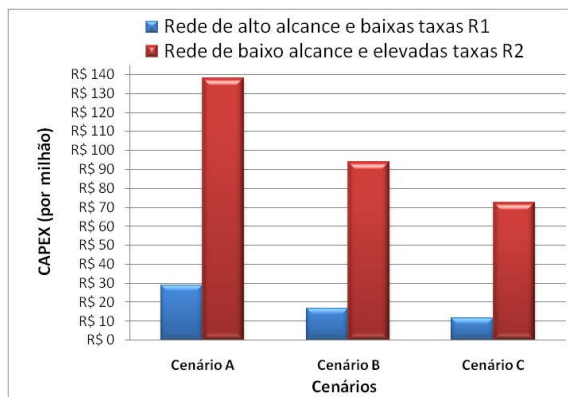


Figura 1 – CAPEX WiMAX

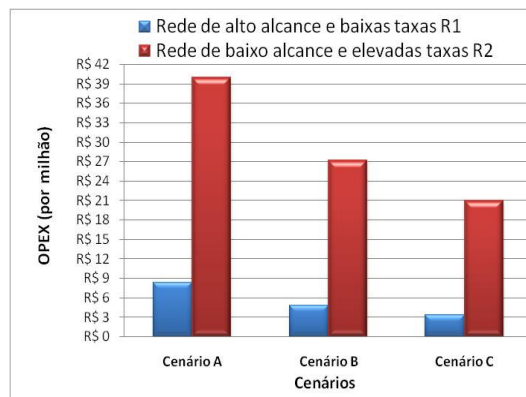


Figura 2 – OPEX WiMAX

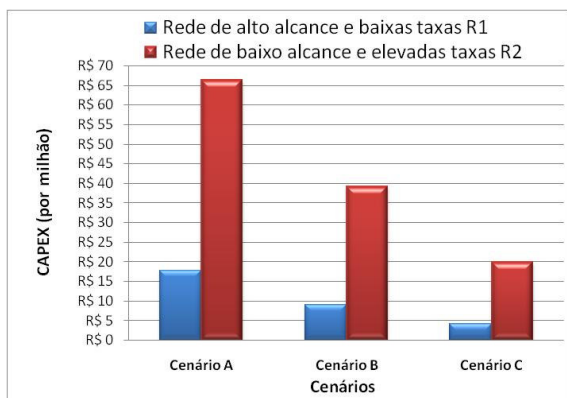


Figura 3 – CAPEX WCDMA

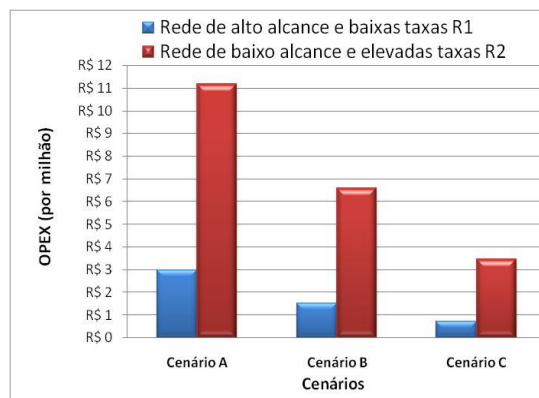


Figura 4 – OPEX WCDMA

REFERÊNCIAS

- ABHAYAWARDHANA, V. S. *et al.*, **Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Fixed Wireless Access Systems**. IEEE 61st Vehicular Tech. Conference, Vol. 1, pp.73 - 77, Junho. 2005.
- AHSON, S.; ILYAS, M. **WiMAX: standards and security**. 2008.
- ANDREWS, J. G.; *et al.* **Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking**. Prentice Hall. Fevereiro. 2007.
- ERCEG, V. *et al.* **An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments**. IEEE Journal on Selected Areas of Communications, vol. 17, pp. 1205–1211, Julho. 1999.
- FIGUEIREDO F. *et al.*, **Coverage Prediction and Performance Evaluation of Wireless Metropolitan Area Networks based on IEEE 802.16**. Journal of Comm. and Information Systems, vol. 20, n.º 3, 2005.
- HOLMA H., *et al.*. **WCDMA for UMTS: Radio Access for 3rd Generation Mobile Communications**. John Wiley & Sons. Third Edition, 2004.
- LAIHO, J., *et al.* **Radio Network Planning and Optimization for UMTS**. John Wiley & Sons Ltd. 2001.
- LEE J. S. *et al.* **CDMA Systems Engineering Handbook**. Artech House Publishers, 1998.
- RENDON J. **A business case for the deployment of a 4G wireless heterogeneous network in Spain**. 18th European Regional International Telecommunications Society (ITS) conference, 2-4 Setembro, 2007.
- RODRIGUES, E. J. B.; CAVALCANTE, G. ; SILVA, J. C. **Capacity Analysis and Coverage Comparison for IMT-2000 Systems in Brazilian Cities**. Aceito para publicação em 4th IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Dalian, China. Outubro, 2008.
- RODRIGUES, E. J. B. **Third Generation WCDMA Uplink Capacity Improvements With 3.5G HSUPA for ITU Macro-Cell Environments**. European Conference on Wireless Technology. Manchester, UK, pp. 231-234. Setembro, 2006.
- TIEDOTTEITA, VTT. Research notes 2376. **Design Issues in All-IP Mobile Networks**. Finland, 2007.
- UPASE, B.; *et al.* **“Radio Network Dimensioning and Planning for WiMAX Networks”**. FUJITSU Sci. Tech. J., n.º 43, 4. Outubro, 2007.
- ZHANG, Y. **Mobile WiMAX: Toward Broadband Wireless Metropolitan Area Networks**. Auerbach Publications. 2008.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo o apoio financeiro parcial dado aos autores do trabalho.