

Desempenho do DVB-S e DVB-S2 em Banda C frente às interferências de WiMax

William Fernandes, Rafael Minski e Walter Godoy Junior

Resumo—Diversas agências nacionais de regulação dos serviços de telecomunicação ao redor do mundo designaram a faixa de frequências de 3,5 GHz para uso nos chamados serviços 4G, dentre eles o WiMax. Entretanto, esta banda é muito próxima da faixa da banda C, há muito utilizada em aplicações de Serviços Fixos por Satélite (FSS), em sistemas como redes VSAT, *downlinks* de sistemas de vídeo *broadcast*, além de sistemas de radar. No Brasil, as faixas atribuídas para a tecnologia WiMax e os FSS, na Banda C, são adjacentes com uma separação de 25 MHz. Esta pequena banda de guarda tem se mostrado insuficiente para evitar dificuldades de convivência entre estes dois serviços.

Este artigo tem o objetivo de exibir resultados de testes de recepção em situações de interferência e verificar o desempenho dos padrões de transmissão satelitais DVB-S e DVB-S2 e seus respectivos sistemas de codificação de canal. Os testes realizados irão comparar os sistemas com interferência WiMax e testar uma solução encontrada para se reduzir esta interferência.

Palavras-Chave—DVB-S, DVB-S2, WiMax, interferência, Broadcasting por Satélite, Banda C.

I. INTRODUÇÃO

O objetivo principal deste artigo é avaliar os efeitos das redes WiMax em 3,5 GHz sobre os sistemas de recepção satelitais em Banda C. Será verificado o desempenho dos sistemas DVB-S e DVB-S2 frente a estas interferências através de medições em campo comparadas à resultados teóricos.

Especificamente, será discutido se somente os algoritmos de codificação de canal destes padrões de transmissão são suficientes para garantir uma taxa de erro satisfatória no sentido de *downlink*. No caso do DVB-S, o sistema avaliado é um algoritmo de codificação convolucional concatenado ao Reed-Solomon (RS) e no DVB-S2, LDPC (*Low-density parity-check code*) e BCH (*Bose, Ray-Chaudhuri, Hocquenghem code*), respectivamente.

O principal motivador deste trabalho é a presença crescente de interferência nas estações de recepção de sinais de TV via satélite gerada pelos transmissores de WiMax. Este problema começou a surgir após a atribuição e efetiva utilização da faixa de 3400 MHz a 3600 MHz (referida como "faixa de 3,5 GHz") para a prestação de serviços com a tecnologia WiMax. Esta nova faixa é adjacente à faixa de banda C estendida, 3625 MHz a 4200 MHz, há muito atribuída para o serviço fixo de satélite. A gama de usuários dos serviços em banda C afetados pela implantação do WiMax nesta faixa de 3,5 GHz não se restringe somente a emissoras de TV e empresas com sistemas de internet via satélite utilizando VSATs (*Very Small Aperture Terminals* - redes de dados via satélite), mas se

estende a todos os telespectadores do sistema de TV Analógica via satélite, que hoje, segundo a levantamentos da operadora satelital StarOne, somam mais de 15 milhões de usuários.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Alocação de Espectro para Redes WiMax

O WiMax é um padrão de redes sem fio que possibilita o tráfego de dados, especificamente internet, em altas taxas de velocidade a nível corporativo, residencial e pessoal utilizado como acesso de última milha em regiões metropolitanas (WMAN - *Wireless Metropolitan Area Network*). No IEEE, é definido pela norma 802.16 e já está operando em diversos países pelo mundo e principalmente nos EUA.

Utilizando OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*) além de recentes sistemas de codificação de canal como LDPC e *Turbo Coding* e sistemas de diversidade espacial, o WiMax é empregado em diferentes faixas de frequências ao redor do mundo. A norma possibilita o uso das faixas de 2,3 GHz, 2,5 GHz e 3,5 GHz, embora a faixa mais adotada seja a de 2,5 GHz. No Brasil e nos EUA, parte da faixa empregada é a de 3,5 GHz. Embora testes do WiMax já estivessem sendo feitos no Brasil desde 2004, somente em 2008 o serviço pode ser inicialmente comercializado para clientes corporativos. O provimento de WiMax a nível doméstico e móvel pôde ser feito somente após fevereiro de 2010, quando foi liberado o uso da faixa de 3400 MHz a 3600 MHz para a modalidade SMP (Serviço Móvel Pessoal).

B. DVB-S

O *Digital Video Broadcasting Project* (DVB) é um consórcio de mais de 270 integrantes de 35 países dedicados a desenvolver padrões globais de entrega de TV digital e serviços associados. Regulado pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), apresenta diversos padrões abertos de transmissão de TV Digital dentro dos quais está o DVB-S, a versão para o meio físico satelital.

É o padrão de transmissão para satélite mais utilizado no mundo em sistemas SDTV (*Standard Definition TV*) sendo adotado por operadoras de TV como SKY, DirecTV, Astra e Globecast. Além de ser utilizado no sistema de distribuição de TV Digital a usuários domésticos, o DVB-S também é empregado em aplicações de contribuições de sinais de vídeo e áudio de ambientes remotos para emissoras de TV através de unidades móveis SNG (*Satellite News Gathering*), videoconferências e redes VSAT.

Em termos técnicos, o DVB-S utiliza o *transport stream* MPEG-2 como padrão de formatação dos frames de entrada,

codificação de canal concatenando códigos convolucionais e código de bloco Reed-Solomon (RS), *interleaving* e filtro formatador de pulso cosseno levantado com fator *roll-off* $\alpha = 0,35$ [1].

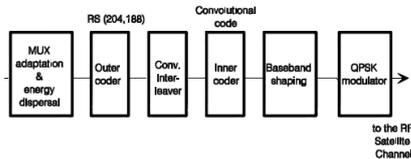


Fig. 1. Diagrama em blocos do sistema de transmissão DVB-S. 1º) Adaptação do sinal de entrada do modulador, em geral SDI, para o *frame* MPEG-2 e sincronização. 2º) Codificação externa utilizando código de bloco cíclico Reed Solomon RS (204,188). 3º) *Interleaver* separa *frames* para evitar erros em rajadas e melhora o desempenho do Reed Solomon. 4º) Codificação interna utilizando algoritmo convolucionar de taxa variável. 5º) Filtragem passa-faixa do tipo cosseno levantado com fator de corte de 0,35. 6º) Modulação em QPSK.

O código Reed-Solomon (204,188, t=8) deve ser aplicado a cada estrutura padrão de transporte de comprimento 188 bytes. Após o entrelaçamento, o próximo passo é a utilização de codificação convolucionar, baseada em taxas de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8 com comprimento $k = 7$.

C. DVB-S2

A segunda geração do DVB-S, o DVB-S2, trouxe algumas modificações importantes, principalmente na codificação de canal, que trouxe muito mais flexibilidade para sua utilização e muito mais robustez e tolerância a baixos níveis de recepção e interferência.

Dentre as novidades em relação à versão anterior, o DVB-S2 apresenta o uso de codificação LDPC e BCH, inserção de caracteres piloto na transmissão para estimação do canal no receptor, possibilidade de uso das modulações QPSK, 8PSK, 16APSK e 32APSK, diferentes especificações de estrutura de quadro, adaptador flexível para o *stream* de entrada de dados além de poder contar com fatores de *roll-off* para formatação de pulso de 0,35, 0,25 e 0,20 [2].

Em termos gerais, estas inovações implicam em duas vantagens: uso de menor largura de banda para se transmitir a mesma taxa de dados efetiva e aumento na margem de ganho no receptor, que implica em diminuição da potência transmitida. A figura 2 exibe o código em blocos do sistema de transmissão DVB-S2.

Uma característica importante no DVB-S2 é a flexibilidade no uso de diversos sistemas de transporte de entrada além do MPEG-2. O primeiro bloco irá efetuar a conversão da entrada do modulador de DVB-ASI para bits e fazer codificação CRC-8 nos mesmos. O segundo bloco realiza a adaptação dos bits, inserindo o cabeçalho "BBHeader" de 80 bits e preenchendo o quadro até completar o tamanho K_{bch} , que é o tamanho do *frame* a entrar no codificador BCH.

A seguir, o quadro passa pelo código de bloco BCH e em seguida pelo LDPC. O tamanho das paridades inseridas no bloco "FECFrame" de tamanho n_{ldpc} é definido em função do perfil desejado. Se o perfil da codificação escolhido for o de melhor desempenho, porém com maior atraso, o tamanho

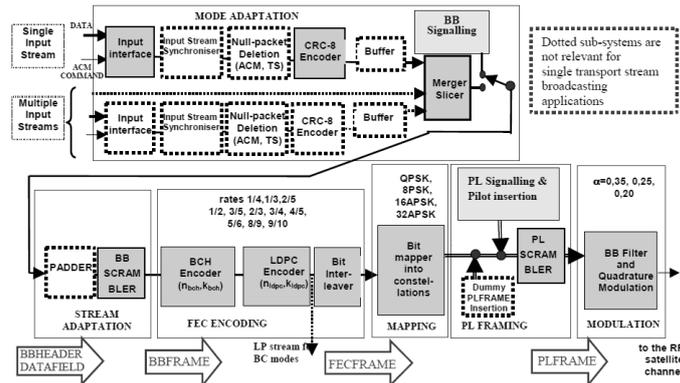


Fig. 2. Diagrama de blocos da codificação sistema DVB-S2. I - *Mode Adaptation*: providencia as adaptações de *frame* de entrada para o formato escolhido de transmissão. II - *Stream Adaptation*: preenche o *frame* para o tamanho K_{bch} de saída escolhido para a entrada do BCH. III - *FEC Encoding*: efetua a inserção dos bits de paridade dos algoritmos BCH e LDPC. IV - *Mapping*: Efetua a conversão serial-paralelo dos bits de acordo com a ordem da modulação. V - *PL Framing*: insere cabeçalho nos bits mapeados relativo a características da camada física como FEC e caracteres piloto para ajudar na sincronização do receptor. VI - *Modulation*: efetua a modulação dos bits além de realizar a formatação de pulso com filtro cosseno levantado.

de n_{ldpc} é 64.800 bits e o *frame* é dito *normal*. Caso contrário, quando o *delay* na transmissão deve ser mínimo, n_{ldpc} tem 16.200 bits e o quadro é denominado *short*.

Além da modulação QPSK utilizada no DVB-S, tem-se também a possibilidade de utilizar 8PSK, 16APSK e 32APSK, dependendo das condições de canal e da aplicação a ser utilizada. Ainda, são inseridos símbolos piloto quando não há informação útil a ser transmitida para que se possa fazer uma boa estimação do canal no receptor e facilitar a detecção do sinal. Finalmente, após a modulação, os símbolos passam por um filtro de formatação de pulso do tipo cosseno levantado com fator de *roll-off* (ρ) de 0,35, 0,25 e 0,20. Este é mais um diferencial em relação ao DVB-S, pois se pode economizar largura de banda com as novas taxas de 0,25 e 0,20 [5].

D. A Interferência do WiMax em estações terrenas de recepção em Banda C

No Brasil, em sistemas de comunicação via satélite que exigem maior disponibilidade de serviço, a faixa de frequência utilizada é a banda C, compreendida entre 3,625 GHz a 4,200 GHz na faixa padrão e 3,400 GHz a 4,200 GHz na faixa estendida. Além de todas as estações terrenas que recebem portadoras digitais em DVB-S e DVB-S2 em banda C no país, ainda há toda a rede de parabólicas que recebem TV analógica em banda C através do satélite StarOne C2.

A interferência das portadoras do WiMax operando em 3,5 GHz nas estações fixas de recepção por satélite em Banda C ocorre devido à proximidade entre as faixas, com separação de 25 MHz como "banda de guarda".

O problema não é ocasionado por simples sobreposição de frequências, que não ocorre, mas é devido às características dos conversores e amplificadores de baixo ruído (LNB, *Low Noise Block*, e LNA, *Low Noise Amplifier*) atualmente utilizados nas estações terrenas satelitais. Os filtros empregados

nestes equipamentos, em geral, apresentam faixa de operação de 3,400 MHz a 4,200 MHz [7].

Como a faixa de entrada destes conversores inicia-se em 3.400 MHz, os sinais do WiMax que possuem elevada potência em 3,500 MHz também são amplificados, saturando os amplificadores de saída dos mesmos. Com esta saturação, todo o espectro na saída dos LNBs e LNAs é modificado, devido ao fato da faixa de banda C não ser devidamente amplificada e de haver um aumento no patamar de ruído e espúrios. Esta interferência é suficiente para interromper a recepção dos sinais de TV nas estações de *downlink* satelital. Nos EUA, tais interferências foram estudadas em [6].

Teoricamente, pode-se calcular a distância mínima entre o transmissor WiMax e o *downlink* satelital de modo que a recepção não seja afetada. Considera-se uma situação típica no transmissor na qual a potência é de 4,0 W (36 dBm), ganho da antena de transmissão de 16 dBi totalizando uma ERP (*Effective Radiated Power*) de 52 dBm. No lado do *downlink*, considera-se uma perda por desapontamento entre as antenas de Tx WiMax e Rx satelital de -10 dB (condição otimista), e um LNB com ganho médio de 65 dB e potência máxima de saída no ponto de compressão (P1dB) de 5 dBm. Será inferido que o LNB opera linearmente com saída em -10 dBm, totalizando -65 dBm (-10-65-(-10)). Assim, a atenuação em espaço livre (A) na situação do limite de saturação é 117 dB (52 dBm - (-65 dBm)). Utilizando-se a equação de Friis para atenuação em espaço livre (1), onde v é a velocidade da luz, f a frequência da portadora WiMax (3,5 GHz) e D a distância mínima para não haver interferência, encontra-se o valor de 4,83 km.

$$A = 20 \cdot \log(v/f \cdot 4\pi \cdot D) \quad (1)$$

Como forma de se minimizar as interferências pode-se reduzir a largura de banda de entrada dos conversores de baixo ruído e fazer com que haja uma grande atenuação na faixa de 3,5 GHz, evitando a saturação dos mesmos. Na prática, isto pode ser feito utilizando LNAs e LNBs com filtro de entrada eletrônico com elevado fator de qualidade cortando em 3,7 GHz ou inserindo-se um filtro passa-faixa em guia de onda na entrada de um LNB ou LNA comum. Outra prática, porém pouco comum, é o uso de conversores de baixo ruído com elevado ponto de compressão (P1dB). Pode-se também efetuar a blindagem eletromagnética ao redor da antena de recepção, a fim de se bloquear as portadoras WiMax.

Em casos onde a estação de *downlink* está muito próxima do transmissor WiMax, dependendo do nível de potência irradiado, pode ser necessária a adoção das duas soluções juntas: blindagem eletromagnética e utilização de conversores de baixo ruído com filtros cortando em 3,5 GHz.

Neste documento será testado um LNB com um filtro mais seletivo na faixa de 3,7 a 4,2 GHz exposto a uma situação de interferência com WiMax.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma série de testes na cidade de Curitiba a fim de se avaliar o desempenho dos sistemas DVB-S e DVB-S2 com a antena de *downlink* satelital com LNB com filtro

restrito na faixa de 3,7 a 4,2 GHz e um LNB comum (3,4 a 4,2 GHz).

A metodologia para se realizar os testes consiste em utilizar uma estação transmissora via satélite *uplink* para gerar a portadora em DVB-S e DVB-S2, transmitir este sinal no satélite Intelsat 14 (IS-14) e variar a potência de transmissão de modo a variar o C/N (*Carrier-to-noise ratio*) na recepção (figura 3).

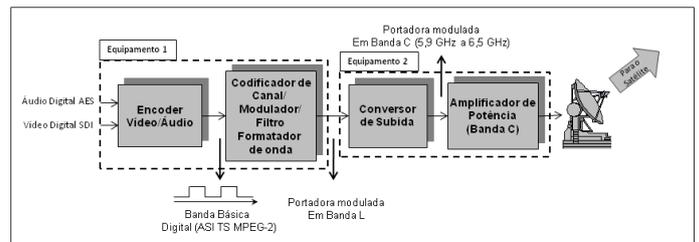


Fig. 3. Diagrama em blocos do sistema de transmissão.

O equipamento 1 é um *encoder* integrado a modulador Harmonic modelo Ellipse 2000H. O equipamento 2 é um conversor de subida integrado a um amplificador de potência Comtech LPOD PS-2-250C com P_{sat} típico de 54 dBm e P1dB de 53 dBm. A antena de transmissão utilizada é uma Andrew ES36MPJK com 3,6 m de diâmetro e ganho de transmissão de 44,7 dBi. Na etapa de *downlink* foi utilizada uma antena de recepção de 3,6 m de diâmetro Brasilsat SFA37-36 com ganho de 41,7 dBi nas duas situações descritas, conforme figura 4.

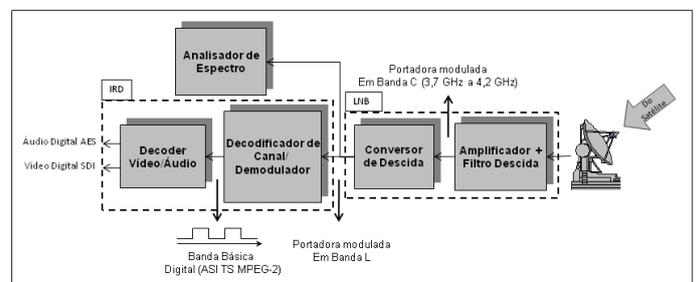


Fig. 4. Diagrama em blocos da estação de Downlink.

O LNB utilizado para o caso sem filtro de rejeição (comum) é o California Amplifier CA-140194-20 com entrada de 3,4 GHz a 4,2 GHz e ganho de saída P1dB=10 dBm. O LNB com filtro restrito foi o Norsat DRO 8000R com entrada de 3,7 GHz a 4,2 GHz e ganho de saída P1dB=10 dBm. Sua resposta em frequência apresenta pontos de atenuação de 45 dB em 3600 MHz, 55 dB em 3500 MHz e 58 dB em 3400 MHz. O analisador de espectro adotado foi o Agilent E-4407B.

A estação de recepção encontra-se 255m distante do transmissor WiMax e o ângulo vertical de visada do transmissor para a parabólica satelital é de 30°. Os parâmetros do transmissor WiMax são: potência de transmissão 4,0 W (36 dBm) e antena com ganho de 15,5 dBi e operação em 3,5 GHz. Os parâmetros das portadoras em banda C transmitidas no satélite Intelsat 14 (45°W) encontram-se na tabela I.

TABELA I
PARÂMETROS DE TRANSMISSÃO ADOTADOS NOS TESTES.

	DVB-S	DVB-S2-A	DVB-S2-B
SR (MSps)	3.888,0	3.888,0	4.374,0
Roll-off (ρ)	0,35	0,35	0,2
BW (MHz)	5,25	5,25	5,25
Freq. Tx (MHz)	6.395,0	6.395,0	6.395,0
Freq. Rx (MHz)	4170,0	4170,0	4170,0
Piloto	Desligado	Ligado	Ligado
Modulação	QPSK	QPSK	8PSK
Frame (bits)	32.000	64800	64800

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 5 encontra-se o espectro da portadora em DVB-S utilizando o LNB com filtro restritivo para WiMax e na figura 6 verifica-se o espectro do LNB comum.

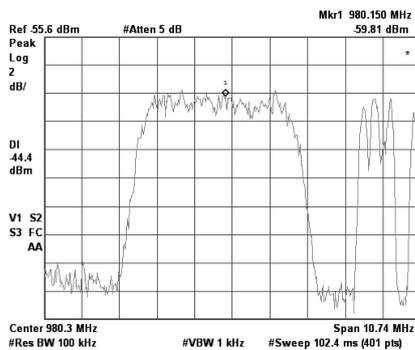


Fig. 5. Espectro da Portadora em DVB-S utilizando filtro restritivo para WiMax. Nota-se que a frequência de recepção exibida no espectro é aproximadamente 980,0 MHz devido ao batimento realizado no LNB de 5.150 MHz.

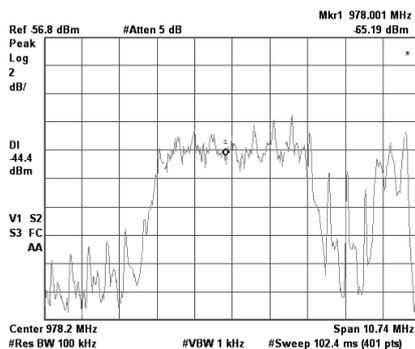


Fig. 6. Espectro da Portadora em DVB-S utilizando LNB comum.

Nota-se que ao se medir o C/N da portadora com interferência tomando-se a potência C como o máximo exibido no espectro e N como o máximo valor do patamar de ruído adjacente, este C/N seria o mesmo que o de uma antena sem interferência. Este valor não corresponde ao C/N verídico já que uma parcela da potência do ruído (I) é incorporada ao valor da potência da portadora C. Os IRDs (*Integrated Receiver Decoder*) convencionais medem o C/N desta forma e assim o valor de C/N medido não corresponde ao real, pois não desconta o I/N deste valor.

Foi verificada uma redução em torno de 4 dB na potência da portadora devido à saturação do LNB além da presença do ruído do WiMax. Na Figura 7 encontram-se as portadoras do WiMax na faixa de 3,5 GHz recebidas pela antena de recepção satelital com o LNB comum. No LNB com filtro restritivo, esta portadora não aparece e fica abaixo do patamar de ruído.

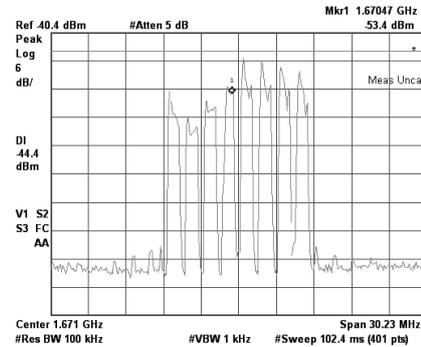


Fig. 7. Espectro das portadoras do WiMax utilizando LNB comum. Nota-se um C/N aproximado de 42 dB da portadora interferente em 3,5 GHz. Vale lembrar que a potência do patamar de ruído N é elevada devido ao fato de a antena estar apontada para um satélite. No caso do uso de uma antena isotrópica apontada somente para o transmissor WiMax este valor de N seria muito menor.

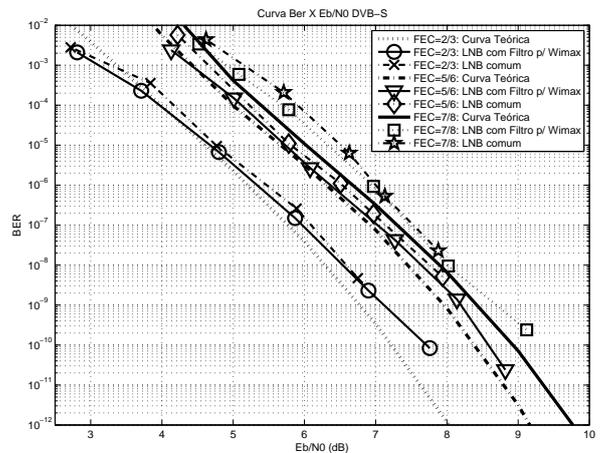


Fig. 8. Desempenho do DVB-S utilizando as taxas de FEC de 2/3, 5/6 e 7/8 comparado com os valores teóricos.

As curvas teóricas do DVB-S foram obtidas em [4] e as curvas simuladas do DVB-S2 [3] foram levantadas utilizando o software Matlab com auxílio da biblioteca *Coded Modulation Library* (CML).

Nas figuras 8, 9 e 10, verifica-se que os valores medidos foram muito próximos dos teóricos e simulados. Ainda, as curvas levantadas com o LNB comum e com o filtro restritivo para WiMax foram muito parecidas, como previsto de antemão. Este fato decorre de que o formato da curva de BER (*Bit Error Rate*) se altera somente quando se mudam parâmetros na codificação de canal ou na modulação. No caso de incidência de ruído, o que ocorre é a necessidade de aumento de potência de transmissão para se atingir o mesmo Eb/N0. Em termos

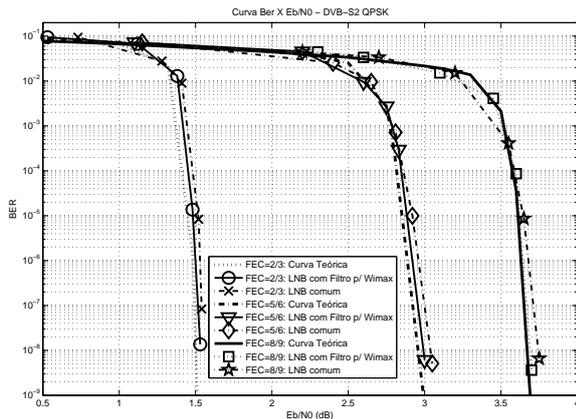


Fig. 9. Desempenho do DVB-S2 com modulação QPSK utilizando as taxas de FEC de 2/3, 5/6 e 8/9 comparado com valores simulados.

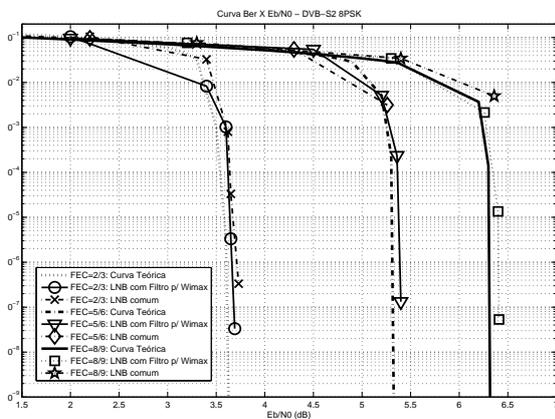


Fig. 10. Desempenho do DVB-S2 com modulação 8PSK utilizando as taxas de FEC de 2/3, 5/6 e 8/9 comparado com valores simulados.

práticos, os valores mínimos de C/N (dB) medidos para o correto funcionamento do receptor, atingindo Eb/N0 mínimo, em cada caso encontram-se na tabela II.

TABELA II

VALORES DE C/N (dB) MÍNIMOS PARA O FUNCIONAMENTO DO IRD.

	Eb/N0 limiar	LNB 1	LNB 2
DVB-S, 2/3	5,0	11,3	7,5
DVB-S, 3/4	5,5	12,2	8,2
DVB-S, 7/8	6,4	13,6	9,5
DVB-S2, QPSK 2/3	1,5	6,5	2,3
DVB-S2, QPSK 5/6	3,0	8,3	4,5
DVB-S2, QPSK 8/9	3,5	9,6	5,2
DVB-S2, 8PSK 2/3	3,5	12,4	8,75
DVB-S2, 8PSK 5/6	5,4	N/A	13,5
DVB-S2, 8PSK 8/9	6,3	N/A	15,8

A sigla N/A significa "não alcançável". Nos últimos dois casos, a potência do amplificador foi insuficiente para se alcançar o C/N mínimo no IRD. LNB 1 é o comum e LNB 2 é o com filtro restritivo para WiMax.

Foi verificado que a ERP da portadora satelital deve ser

muito elevada para se utilizar o LNB comum. Levando-se em conta um sistema de *downlink* comercial que utiliza antena com diâmetro de 1,8 m, a C/N média, dependendo do satélite utilizado, é de 9,0 dB. Com os valores medidos, somente utilizando o DVB-S2 com FEC de 2/3 e 5/6 seria possível abrir a portadora sem utilizar o LNB com filtro restritivo.

V. CONCLUSÃO

Motivado pelo grande número de usuários e serviços em banda C afetados pela interferência dos serviços WiMax em 3,5 GHz, este trabalho verificou como ocorre o mecanismo desta interferência, analisou possíveis soluções e as testou teoricamente e empiricamente.

O método pelo qual o sinal WiMax interfere na banda C ocorre devido saturação dos amplificadores de baixo ruído (LNA e LNB) dos *downlinks* satelitais. Por isto foi utilizado um LNB com filtro de atenuação de 55 dB em 3,5 GHz para verificar se seria viável para interromper a interferência. Foram realizados testes de desempenho (BER x Eb/N0) e feito o levantamento dos valores limítrofes de C/N para a recepção sem interrupções em diversas configuração de codificação de canal e modulação para o DVB-S e DVB-S2.

Concluiu-se que a ERP da portadora satelital deve ser muito elevada para se utilizar um LNB comum em condições de interferência. Com os valores medidos, somente utilizando o DVB-S2 com FEC de 2/3 e 5/6 seria possível abrir a portadora sem utilizar o LNB com filtro restritivo. O LNB com filtro restritivo mostrou-se muito eficiente na tarefa de eliminar as interferências mesmo estando a uma distância de 255 m do transmissor WiMax.

Assim, ainda foi constatado que o desempenho do DVB-S2, devido principalmente ao uso de novas técnicas de codificação de canal, é muito superior ao DVB-S, como já provado extensivamente na literatura [5].

Como sugestão para trabalhos futuros, podem ser avaliados ainda os desempenhos das outras formas sugeridas de se conter a interferência como a blindagem da estação terrena e o uso de LNBs e LNAs com ponto de compressão elevado.

REFERÊNCIAS

- [1] "Digital video broadcasting (DVB); Framing structure, channelcoding and modulation for 11/12 GHz satellite services", EN 300 421 (V1.1.2), European Telecommunications Standards Institute (ETSI).
- [2] "Digital video broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, interactive services, news gathering and other broad-band satellite applications", EN 302 307, European Telecommunications Standards Institute (ETSI).
- [3] "Digital video broadcasting (DVB); User guidelines for the second generation system for broadcasting, interactive services, news gathering and other broad-band satellite applications (DVB-S2)", European Telecommunications Standards Institute (ETSI), TR 102 376.
- [4] "Digital Video Broadcasting (DVB) Measurement guidelines for DVB systems", TR 101 290 (V1.1.1), European Telecommunications Standards Institute (ETSI).
- [5] A. Morello, V. Mignone, "DVB-S2: The Second Generation Standard for Satellite Broad-band Services", Invited Paper, Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No. 1, January 2006.
- [6] "Field Test Report WiMAX Frequency Sharing with FSS Earth Stations", 2007, Satellite Users Interference Reduction Group.
- [7] "P.B. Vieira, "Convivência WiMax com Estações de Comunicações via Satélite", Star One, ENGSIS-08001/02, 30/12/2008.