



Medidas de Avaliação de Desempenho da Unidade Conversora para o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD)

P. V. Gonzalez Castellanos¹, R. S. L. Sabóia¹, J. A. Cal Braz¹, C. P. Colvero¹

¹ Inmetro – Divisão de Telecomunicações/DIMCI, Duque de Caxias, RJ, Brasil, pvcastellanos@inmetro.gov.br

Abstract: This paper presents a campaign of RF measurements intended to evaluate the performance of digital terrestrial television broadcasting receivers under different transmission configurations. The experiments were performed in the laboratory controlled environment, so that a more accurate characterization is possible. Finally, the results are compared to those obtained by other authors.

Keywords: Digital terrestrial television, ISDB-T, SBTVD, IRD, RF measurements.

1. INTRODUÇÃO

A televisão é o mais importante meio de difusão de informações e entretenimento no Brasil. De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a televisão é a segunda utilidade doméstica mais comum nos lares brasileiros com penetração superior a 90%, à frente da geladeira e superada apenas pelo fogão. Desde 1999 foram realizadas diversas avaliações das tecnologias ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial*, japonesa), DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial* europeia) e ATSC (*Advanced Television System Committee*, norte-americana). Em junho de 2006, o governo brasileiro definiu um padrão de televisão digital (SBTVD – Sistema Brasileiro de TV Digital), a ser adotado no país, baseado no ISDB-T [1]. Embora seguindo um padrão tecnológico baseado no sistema japonês, o SBTVD inclui diversas melhorias e inovações brasileiras. Estas modificações foram desenvolvidas e implementadas para atender a diretrizes estabelecidas pelo Governo Brasileiro, sendo particularmente importante aquela que visa garantir a utilização do Sistema Brasileiro de TV Digital como instrumento de inclusão digital e social.

Com a definição do padrão a ser utilizado, a fase seguinte compreende a implantação do sistema, que prevê a recepção doméstica através de antenas internas ou antenas integradas no caso de recepção móvel, em diversos tipos de ambientes. Nesta fase de implantação, o equipamento receptor (*Integrated Receiver Decoder*, IRD), desempenha um papel importante neste processo. Devido às condições do ambiente de propagação, o sinal de televisão digital pode e será afetado por diversos fenômenos que irão degradar o desempenho do sistema. Para o caso da televisão analógica estes fenômenos causam distorções do sinal que se manifestam através da redução da qualidade de imagem, sejam eles na forma de chuvisco ou fantasmas. Na

transmissão digital, o efeito causado é refletido diretamente no aumento da taxa de erro de bits (BER), sendo este um dos principais parâmetros a serem observados para que o IRD possa decodificar o sinal de televisão digital.

Cabe aos órgãos brasileiros competentes, entre eles o INMETRO, realizar a certificação das IRDs, de forma a assegurar que elas ofereçam o desempenho e as funcionalidades básicas previstas no padrão nacional. O processo de certificação das unidades decodificadoras é composto por uma série de testes de laboratório, que visa garantir que estes equipamentos atendam às especificações citadas em norma.

A União Internacional de Telecomunicações na sua seção de radiopropagação (UIT-R), conta com um relatório de testes de avaliação dos parâmetros de recepção para os sistemas de televisão digital terrestre: ATSC, DVB-T e ISDB-T [2] [3]. Este relatório é dividido em dois tipos de testes: testes em laboratório e testes de campo. Como dito anteriormente, o SBTVD tem algumas diferenças em relação ao ISDB-T, sendo necessária a realização de testes para avaliar o desempenho, tanto dos receptores como do sistema nas diversas configurações de transmissão. Este trabalho apresenta os resultados obtidos através de uma bateria de testes de laboratório, realizados em várias unidades decodificadoras. É apresentada a metodologia e a descrição das configurações de medição utilizadas e a comparação com dados obtidos por outros autores.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo exibir os principais resultados dos testes que compreendem o processo de avaliação do desempenho dos sintonizadores dos IRDs. Em linhas gerais, esta atividade pode ser dividida em duas partes: 1) testes de radiofrequência, que compreendem o comportamento do equipamento sob determinadas condições do sinal de RF recebido. Destacam-se aqui os testes de sensibilidade, os testes de inserção de ruído (gaussiano, fase e impulsivo) e inserção de sinal interferente (co-canal e canal adjacente); 2) testes da camada de transporte e aplicação: visam verificar a capacidade da unidade de atender as múltiplas configurações possíveis em termos de tipos de multiprogramação, padrões de áudio e vídeo transportados, assim como questões de acessibilidade, como serviço *closed caption*, dublagem, entre outros. Este trabalho se restringirá a realização da primeira parte dos testes. Para que esta proposta seja cumprida, serão

introduzidos conceitos sobre o sistema de televisão digital, assim como os parâmetros de sistema utilizados na medição. As medições abaixo descritas foram realizadas em laboratório, onde as condições de propagação são controladas pelos pesquisadores.

3. MÉTODOS

Para a realização dos testes propostos, foram adotados procedimentos metrológicos que garantissem a repetitividade e, de forma geral, a validade dos resultados. Para isso, foram cumpridos requisitos como: 1 – ambiente de execução controlado: os equipamentos utilizados e os sinais envolvidos possuem suas características conhecidas e definidas; 2 – os equipamentos utilizados estão devidamente calibrados; 3 – para assegurar a estabilidade na resposta dos equipamentos utilizados, os mesmos encontram-se ligados há pelo menos 30 minutos.

Os equipamentos empregados nos testes compreendem: a) o conjunto gerador de sinal, composto por 1 – um gerador dedicado à produção de sinal de televisão digital, padrão ISDB-T, que possui as funcionalidades adicionais de geração de sinal interferente analógico, inserção de ruídos de diversas naturezas e simulação de canal multipercurso; 2 – um gerador aleatório, programado para transmitir um sinal no padrão de televisão digital ISDB-T com características de modulação conhecidas; b) um analisador de sinal de TV digital, que trabalha como um analisador de espectro e como analisador das características de modulação, codificação, taxa de erro de bits e análise do perfil de retardo de potência; c) elementos de conexão: conjunto de cabos coaxiais, casador de impedância 50/75 Ohms, misturador e divisor de sinal calibrados; d) um monitor de vídeo: televisor LCD que permite a visualização da qualidade da imagem; e) o IRD, que é o dispositivo em teste; composto de console, fonte de alimentação e cabo HDMI para conexão digital com o monitor de vídeo.

Os resultados das medições realizadas são obtidos em função do alcance de um determinado padrão de qualidade da informação recebida, que estabeleça alguma relação entre a quantidade de dados errôneos recebidos e a quantidade total de informação transmitida. O padrão de qualidade empregado nos testes foi o “limiar de percepção”, que consiste de um método não intrusivo ao IRD de avaliação da qualidade do sinal. O limiar de percepção é definido como o estado do sistema em que ocorre um erro visível de vídeo durante o período de observação de 1 minuto.

Os ensaios relacionados nos próximos itens têm a intenção de avaliar o comportamento do IRD na recepção do sinal de RF submetido a diversos fenômenos, assim como a observação comparativa do desempenho do sistema SBTVD sob diferentes configurações. Os resultados obtidos em cada teste estão relacionados aos parâmetros de codificação utilizados no sinal transmitido. A tabela 1 lista todas as configurações utilizadas em cada um dos testes.

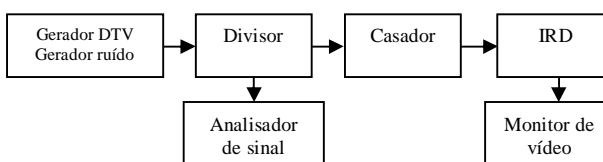


Fig. 1. Topologia dos equipamentos empregados nos testes: 3.1, 3.2, 3.3, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9.

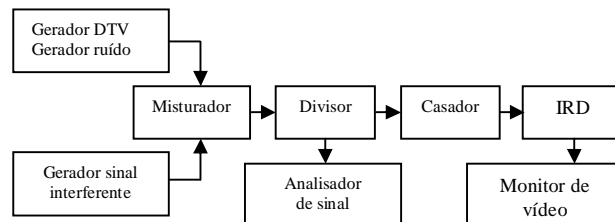


Fig. 2. Topologia dos equipamentos empregados nos testes: 3.4, 3.5.

Os diagramas de blocos exibindo a distribuição lógica dos equipamentos empregados nos testes estão ilustrados nas Fig. 1 e 2.

3.1. Recepção de canais

Teste da capacidade da unidade receptora de sintonizar a faixa de frequências VHF compreendida entre os canais 07 a 13, assim como os canais 14 a 69 pertencentes à faixa UHF.

3.2. Faixa dinâmica de recepção

Teste do intervalo de nível da potência recebida para o qual a unidade receptora é capaz de decodificar o sinal digital de TV recebido, sem a adição de ruído, satisfatoriamente. O máximo e o mínimo nível de sinal recebido são determinados, respectivamente, aumentando e diminuindo a potência do sinal de RF até que o limiar de percepção seja alcançado.

3.3. Faixa de sincronização da frequência recebida

Consiste na medição da máxima diferença de frequência da portadora central do sinal OFDM à frequência central do canal, denominada desvio, para o a qual o oscilador do IRD realiza a sincronização com sucesso.

3.4. Interferência analógica

Teste da degradação produzida no sinal digital interferido por um sinal de modulação analógica. O conjunto de testes está subdividido em interferência analógica co-canal, interferência analógica por canal adjacente superior e interferência analógica por canal adjacente inferior. O objetivo é a determinação da relação de proteção requerida pelo receptor no estado de limiar de percepção. Define-se relação de proteção como a razão entre a potência do sinal desejado (sinal digital) e do sinal indesejado (sinal analógico), expresso em decibels, na entrada do IRD.

Tabela 1. Tabela das configurações de transmissão usadas em cada ensaio.

Modo OFDM	Intervalo de guarda	Modulação	Código convolucional	Entrelaçamento temporal	Ensaio onde foi utilizada a configuração
Modo 3	1/32	QAM-64	3/4	2	3.6
Modo 3	1/16	QAM-64	3/4	2	3.6, 3.7, 3.8, 3.9
Modo 2	1/16	QAM-64	3/4	4	3.1
Modo 1	1/16	QAM-64	3/4	4	3.6, 3.8
Modo 3	1/8	QAM-64	3/4	2	3.1, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9
Modo 3	1/16	QAM-64	2/3	2	3.6, 3.7, 3.9
Modo 3	1/16	QAM-16	1/2	4	3.6, 3.7, 3.9
Modo 1	1/8	QAM-64	3/4	4	3.8
Modo 2	1/8	QAM-64	3/4	2	3.8
Modo 2	1/16	QAM-64	3/4	2	3.7, 3.9
Modo 3	1/8	QAM-64	3/4	0	3.3, 3.4, 3.5
Modo 3	1/16	QAM-64	3/4	0	3.2

Tabela 2. Modelagem do canal rádio móvel GSM empregado no ensaio 3.8

Percorso	Retardo (μ s)	Atenuação (dB)	Desvanecimento
Percorso 1	0	3	Rayleigh
Percorso 2	0,2	0	Rayleigh
Percorso 3	0,5	2	Rayleigh
Percorso 4	1,7	6	Rayleigh
Percorso 5	2,3	8	Rayleigh
Percorso 6	5,0	10	Rayleigh

3.5. Interferência digital

Teste da degradação produzida no sinal de TV digital interferido por outro sinal de TV digital. Subdivide-se em: interferência digital co-canal, interferência digital por canal adjacente superior e interferência digital por canal adjacente inferior. É registrado o valor da relação de proteção requerida pelo receptor no estado de limiar de percepção.

3.6. Ruído gaussiano

Teste da capacidade da unidade receptora decodificar o sinal digital contaminado com ruído gaussiano branco sob diversas configurações de transmissão. É medido o requerimento mínimo de relação sinal ruído exigido pela arquitetura do IRD para o alcance do limiar de percepção.

3.7. Ruído impulsivo

Avaliação da robustez do IRD à presença de ruído impulsivo. O ruído impulsivo simulado é composto por um trem de curtos pulsos de ruído branco adicionados ao sinal digital. Mantida constante a potência de transmissão do sinal de TV digital, é aumentada a potência do ruído impulsivo até o alcance do limiar de percepção. Este teste é realizado para o número de pulsos por rajada variando de 50 a 2000.

3.8. Multipercorso estático simples

É testado o desempenho da unidade receptora submetida a um canal multipercorso. O ensaio é feito através da simulação de um canal formado pela componente principal (radio direto) mais um eco com retardo e amplitude

definidos em relação ao principal. Para cada valor específico de retardo do eco, é registrada a relação “potência do sinal principal / potência do sinal eco” mínima requerida pelo URD para o alcance do limiar de percepção.

3.9. Recepção móvel

Avaliação do desempenho da URD na situação do receptor encontrar-se em movimento. Um modelo típico de canal móvel urbano utilizado no padrão GSM simulado (cuja características estão descritas na Tabela 2) representa a condição de recepção com o URD deslocando-se a uma dada velocidade. Considerando-se a transmissão a potência constante, contamina-se o canal com ruído gaussiano branco, cuja potência é incrementada até o alcance do limiar de percepção. Neste ponto é registrada a relação sinal-ruído alcançada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados em 5 (cinco) unidades receptoras existentes no mercado. Estas são classificadas com a sigla RX, variando de RX1 a RX5.

4.1. Recepção de canais

O resultado obtido da medição realizada nos receptores representa capacidade destes de sintonizar a frequência VHF alto (canais 7-13) e os canais correspondentes a faixa UHF (canais 14-69). O valor obtido de cada receptor é sintoniza ou não sintoniza e é apresentado na tabela 3.

Tabela. 3. Resultado do ensaio de recepção de canais

Receptor	Canais	
	7-13	14-69
RX1	Sintoniza	Sintoniza
RX2	Sintoniza	Sintoniza
RX3	Sintoniza	Sintoniza
RX4	Sintoniza	Sintoniza
RX5	Sintoniza	Sintoniza

4.2. Faixa dinâmica de recepção

Segundo a norma da ABNT NBR 15604 [4] que define um conjunto de funcionalidades essenciais a serem aplicadas nos receptores, define-se o valor de limiar mínimo de recepção em -77 dBm e máximo em -20 dBm. Nos ensaios realizados no laboratório foram obtidos valores que superam os limiares estabelecidos na norma, ficando em evidência a robustez dos receptores em relação a sua sensibilidade na recepção. Ver Fig. 3.

4.3. Faixa de sincronização da frequência recebida

Este ensaio é definido como a capacidade do receptor sintonizar um determinado canal em que a sua portadora central possua um desvio em frequência da portadora central do canal definido na canalização do SBTVD. Segundo a norma ABNT NBR 15604 [4] os receptores devem ter a capacidade de sintonizar canais com desvio igual ou superior a 30 KHz. Das medições realizadas (Fig. 4) é possível observar que os valores obtidos superam os da norma.

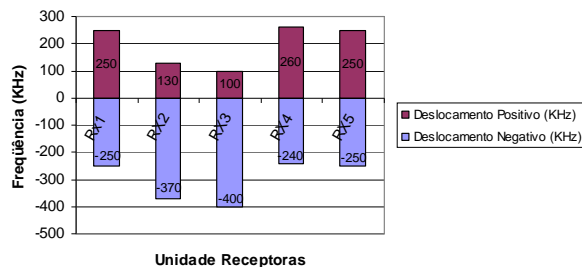


Fig. 4. Faixa de sincronização em frequência.

4.4. Interferência analógica

Este tipo de interferência é ocasionado devido a que os filtros dos transmissores e receptores não são ideais ocasionando com que parte da potência transmitida seja espalhada pelos canais adjacentes. Neste caso o canal desejado (digital) é interferido por um canal analógico PAL M, ocasionando duas situações: interferência por canal adjacente (superior/inferior) e interferência co-canal. Segundo a norma ABNT NBR 15604 [4] define este teste como obrigatório a ser realizado nos receptores. A Tabela 3 apresenta os valores de proteção dados na norma.

Tabela. 4. Relação de proteção analógico/digital

Item		Relação Proteção
Co-canal		+ 18 ou menor
Adjacente superior	UHF	-33 dB ou menor
Adjacente superior	VHF	-26 dB ou menor
Adjacente superior	UHF	-35 dB ou menor
Adjacente superior	VHF	-26 dB ou menor

As Fig. 5, 6 e 7 apresentam os valores de relação de proteção obtidos para interferência co-canal e canal adjacente superior e inferior nos canais 11 faixa VHF e 35 UHF respectivamente. Nas figuras é possível observar que os valores de proteção obtidos estão dentro dos valores dados pela norma da ABNT.

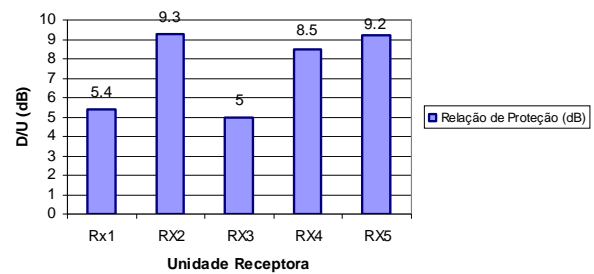


Fig. 5. Interferência co-canal analógico/digital.

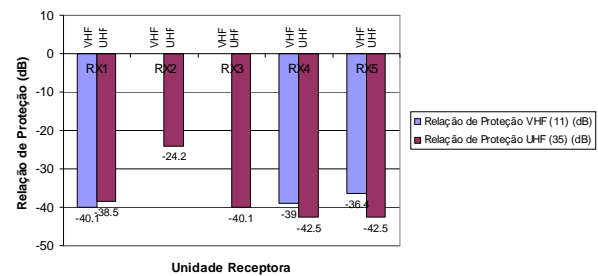


Fig. 6. Interferência canal adjacente superior analógico/digital.

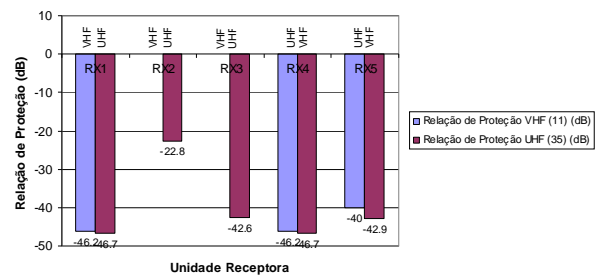


Fig. 7. Interferência canal adjacente inferior analógico/digital.

3.5. Interferência digital

Ensaio a ser desenvolvido nos receptores dado a sua obrigatoriedade na norma da ABNT NBR 15604 [4]. A tabela 4 apresenta os valores de proteção dados na norma.

Tabela. 5. Relação de proteção digital/digital

Item		Relação Proteção
Co-canal		+ 24 ou menor
Adjacente superior	UHF	-26 dB ou menor
Adjacente superior	VHF	-24 dB ou menor
Adjacente superior	UHF	-29 dB ou menor
Adjacente superior	VHF	-24 dB ou menor

As Fig. 8, 9 e 10 apresentam os valores de relação de proteção obtidos para interferência co-canal e canal adjacente superior e inferior nos canais 11 faixa VHF e 35 UHF respectivamente. Nas figuras é possível observar que os valores de proteção obtidos estão dentro dos valores dados pela norma da ABNT.

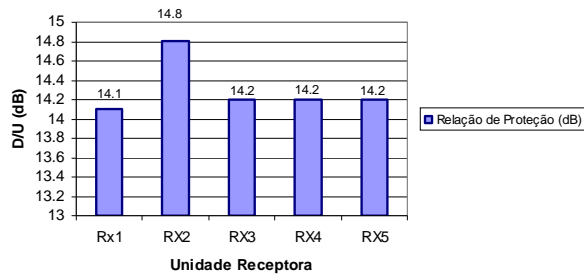


Fig. 8. Interferência co-canal digital/digital.

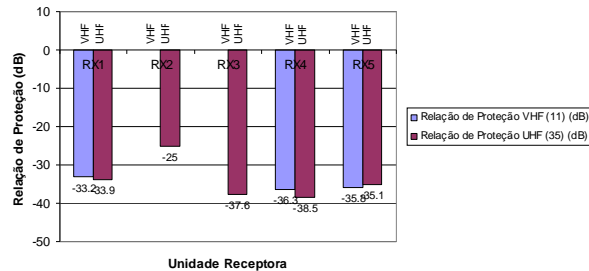


Fig. 9. Interferência canal adjacente superior digital/digital.

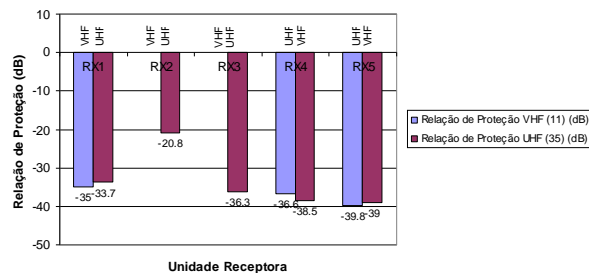


Fig. 10. Interferência canal adjacente inferior digital/digital.

4.6. Ruído Gaussiano

De uma forma geral, o ruído causa distorção do sinal e é responsável por limitar o desempenho de qualquer sistema de comunicação ou transmissão. A quantidade de ruído presente num sistema é medida em termos da razão entre a potência do sinal e a potência do ruído. Seu efeito se apresenta na TV analógica na forma de chuva na imagem e vai depender da temperatura do dispositivo eletrônico e da relação entre a potência de entrada do sinal e da potência do ruído. A Fig. 11 apresenta os resultados obtidos nos receptores RX1, RX3 para representar os receptores analisados em diferentes configurações de transmissão, por estes possuírem os valores mais significativos. Nesta figura também são apresentados os valores obtidos nos testes do relatório da ITU-R BT.2035-1 em três receptores.

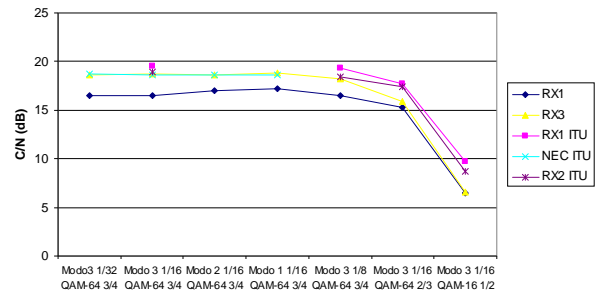


Fig. 11. Interferência por ruído gaussiano.

Da fig. 11, é observado que o receptor RX1 apresenta um melhor desempenho em relação aos receptores do relatório da ITU [2].

4.7. Ruído impulsivo

Basicamente o ruído impulsivo é formado, como seu nome o indica de uma serie de pulsos elétricos que irão degradar o sinal e, por conseguinte, alterar a informação contida nesta. No sistema analógico, o ruído impulsivo é apresentado como uma rajada de distúrbios na imagem. Os resultados obtidos nos ensaios realizados no laboratório são comparados com os obtidos no relatório da ITU para 2 conversores em três configurações diferentes de transmissão. A escala vertical representa a relação portadora ruído e a horizontal, o tempo efetivo da rajada dos pulsos.

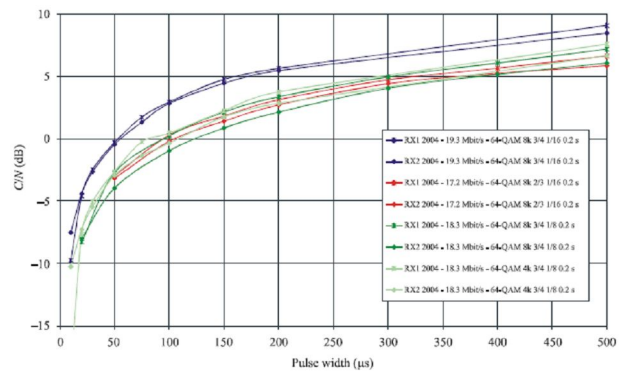


Fig. 12. Ruído Impulsivo – ITU-R BT 2035-1.

A Fig. 13 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios de laboratório realizados. Das figuras é possível observar que para este tipo de interferência, os resultados obtidos neste trabalho não apresentam uma diferença marcante com os resultados obtidos no relatório da ITU [2].

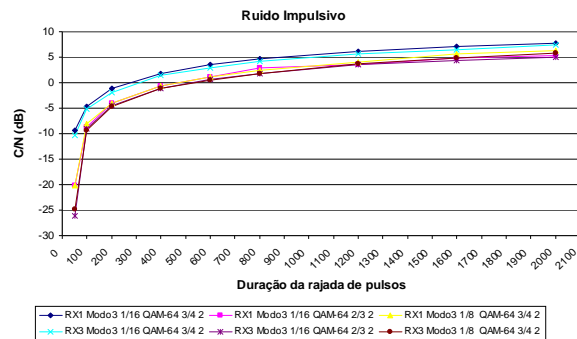


Fig. 13. Ruído Impulsivo.

4.8. Multipercurso estático simples

A interferência pelo multipercurso ou eco, é um tipo de anomalia na imagem que, na transmissão analógica, é representada como o fenômeno de fantasma na imagem. Este sinal (fantasma ou eco) chega ao receptor através de reflexões em prédios, morros, etc, e se superpõe ao sinal principal.

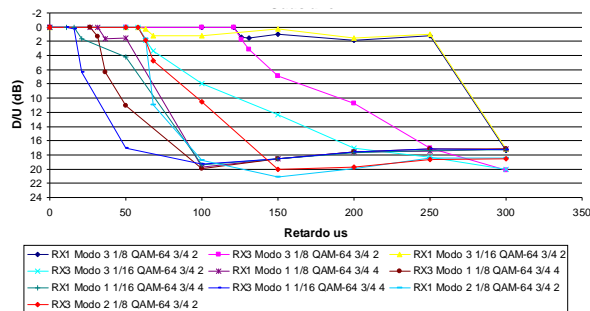


Fig. 14. Multipercurso estático simples sem a presença de ruído gaussiano.

Da Fig. 14 podemos observar como a localização do eco afeta o sinal transmitido. O eixo horizontal apresenta o retardo em microsegundos, i.e. determina o retardo da chegada da segunda componente ou eco. Cada uma das curvas representa uma determinada configuração do sinal que está sendo transmitido. De acordo com esta configuração, tanto a duração do símbolo como o intervalo de guarda variam, fazendo o sistema mais ou menos robusto a este tipo de interferência. O eixo vertical representa a relação do sinal desejado (principal) em relação ao sinal não desejado (eco).

4.9. Recepção móvel

A interferência pelo multipercurso é a principal causa da interferência intersimbólica, a qual se torna um problema significativo quando a duração do eco é maior que a duração de um bit transmitido. Para o caso da recepção móvel, dado que o canal de propagação varia aleatoriamente, se faz necessária a utilização de modelos estatísticos na avaliação dos sistemas nestas condições. As Fig. 14 e 15 apresentam os resultados das medições realizadas no relatório da ITU [3] e os obtidos no presente trabalho respectivamente. Destas figuras podemos observar como era de se esperar que para modulação QAM-16 e QPSK, o valor mínimo requerido da relação C/N é menor, isto por ser este tipo de

modulação mais robusta. Na comparação dos resultados obtidos neste trabalho com os do relatório da ITU, pode ser observado que a diferença entre estes não é muito grande, dando confiabilidade ao sistema de medição empregado neste trabalho. As alterações obtidas podem ser atribuídas às diferenças dos sistemas ISDB-T e SBTVD e às implementações nos equipamentos receptores.

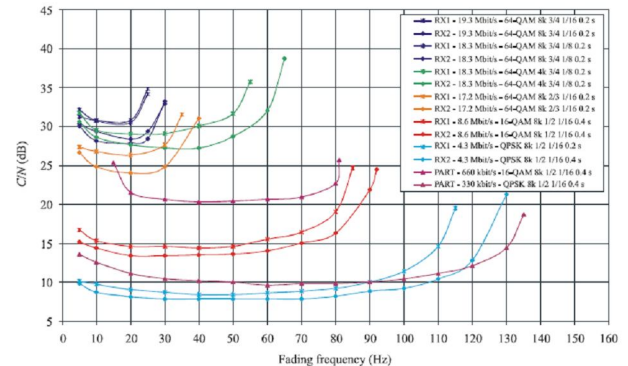
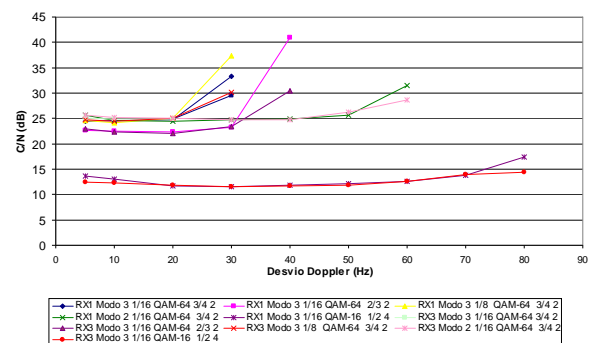


Fig. 14. Multipercurso – canal móvel.



5. CONCLUSÕES

Metodologia e resultados preliminares de ensaios de avaliação em cinco marcas de receptores comerciais foram apresentados. Testes de faixa dinâmica de recepção, limiar de recepção, ruído gaussiano, ruído impulsivo, interferência co-canal, canal adjacente superior e inferior, interferência por multipercurso estático e móvel foram realizadas. Foi observado que para os receptores analisados neste trabalho apresentaram melhor desempenho em relação aos obtidos no relatório da ITU no que diz respeito ao ruído gaussiano. Para os testes de ruído impulsivo, ruído por multipercurso estático e canal móvel, não foi observado uma variação muito acentuada com os valores obtidos no relatório da ITU, o que fornece um grau de confiabilidade no sistema de medição utilizado neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] P. V. Gonzalez Castellanos, "Caracterização do canal de propagação em banda larga para aplicações de TV digital", Tese de Doutorado, pp 17-19, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, agosto de 2005.

- [2] International Telecommunication Union, Guidelines and techniques for evaluation of digital terrestrial television broadcasting system. ITU-R BT.2035-1, 2007. Relatório Técnico.
- [3] International Telecommunication Union, Planning criteria for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands. ITU-R BT.1368-7, 2007. Relatório Técnico.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas, Televisão digital terrestre – Receptores. ABNT NBR 15604:2007. Norma brasileira.