

**Relatório de Teste Laboratorial de
Interferência do LTE na faixa de 700 MHz
no ISDB-T**

ANATEL
(04/2014)

Entidades Participantes

Anatel – Agência Nacional de Telecomunicações, ABERT - Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão, ABRATEL - Associação Brasileira de Rádio e Televisão, Aeromax, Claro, CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, GSMA, Hitachi Kokusai Linear Equipamentos Eletrônicos, Huawei, Ibrace-ICBr (CertLab) - Instituto Brasileiro de Certificação, Inatel – Instituto Nacional de Telecomunicações de Santa Rita do Sapucaí, Instituto Avanzi, JDSU, Maxlinear, Ministério das Comunicações, Oi, Proeletronic, Qualcomm, Rede Globo, Rede Record, Screen Service, SET - Sociedade de Engenharia de Televisão, Sinditelebrasil – Sindicato Nacional das Empresas de Telefonia e de Serviço Móvel Celular e Pessoal, Telefonica-Vivo, TIM Brasil, UnB – Universidade de Brasília, Universidade Mackenzie.

Participaram da elaboração do Relatório

Agostinho Linhares	Anatel
Alex Pires de Azevedo	Anatel
Carlos Antônio Sell	Anatel
Haroldo Motta	Anatel
Jamilson Ramos	Anatel
Marconi Thomaz de Souza Maya	Anatel
Regina Parreira	Anatel
Rodrigo Araujo Granato	Anatel
Tarcísio Bakaus	Anatel
Ubyrajara da Silva Pinto	Anatel
Duane Martins	CertLab
Alexandre Bonato	Claro
Luciano Pacini	Claro
Ramundo Duarte	Claro
Delson Meira	CPqD
Marcus Manhães	CPqD
Luciana Camargos	GSMA
Eugênio Vasconcelos	Huawei
Tiago Reis Rufino Marins	Inatel
Fabio Henrique Oliveira da Costa	Ministério das Comunicações
Alberto Boaventura	Oi
Fabio Valente	Oi
Luiz Catarcione	Oi
Pedro Abreu	Oi
Geraldo Neto	Qualcomm
André Felipe Seixas Trindade	Abratel/ Rede Record
Paulo Ricardo H. Balduino	ABERT
Ana Eliza F. e Silva	SET/Rede Globo
Daniel Ozaki	SET/Rede Globo
Luiz Fausto S. Brito	SET/Rede Globo
Charles Costa	Sinditelebrasil
Sérgio Kern	Sinditelebrasil
Marcos Noel	Telefonica Vivo
Roberto de Oliveira Brito	Telefonica Vivo
Daniella Naves	Tim
Washington Costa Pereira Correia	Tim
Ugo Silva Dias	UnB

Relatório de Teste Laboratorial de Interferência do LTE na faixa de 700 MHz no ISDB-T

(2014)

SUMÁRIO

Página

1	INTRODUÇÃO.....	5
	1.1 Objetivo	5
	1.2 Escopo.....	5
	1.3 Definições, Acrônimos e Abreviações	5
	1.4 Referências Bibliográficas	6
2	METODOLOGIA.....	9
	2.1 Método de Avaliação	9
	2.2 Setup de Testes	9
	2.3 Geração de sinais	12
	2.3.1 Sinal desejado TV Digital	12
	2.3.2 Sinal interferente LTE.....	14
	2.4 Sistemas de medição.....	27
	2.5 Receptores utilizados	29
	2.6 Cenário de Testes.....	29
	2.7 Procedimento de Medição	33
	2.7.1 Limiar de Recepção dos receptores.....	33
	2.7.2 Determinação de receptor <i>Can-Tuner</i>	33
	2.7.3 ACLR da geração LTE.....	34
	2.7.4 Nível Max do LTE	34
	2.7.5 Limiar de Visibilidade de Canal Adjacente 51 e Frequência Imagem 38 e 48.....	35
	2.7.6 Relação de Proteção Co-Canal.....	36
3	RESULTADOS	38
	3.1 Apresentação dos Resultados	38
	3.2 Curvas C x I.....	38
	3.2.1 TVD no Canal 51 – Downlink	39
	3.2.2 TVD no Canal 48 - Downlink.....	41

3.2.3	TVD no Canal 51 – Uplink	42
3.2.4	TVD no Canal 38 - Uplink.....	44
3.3	Curvas Oth	45
3.3.1	Oth - Downlink	45
3.3.2	Oth - Uplink	46
3.4	Curvas ACS (Seletividade de Canal Adjacente)	47
3.4.1	ACS - Downlink.....	48
3.4.2	ACS - Uplink	49
3.5	Relação de Proteção - Downlink	50
3.6	Relação de Proteção - Uplink	51
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	52
4.1	Correção estimada de PR para valores de ACLR normativo	52
4.2	Robustez dos receptores	56
4.3	Técnica de Mitigação com Filtro Passa Baixa.....	57
5	COMENTÁRIOS FINAIS	64
Anexo 1 Componentes do Setup.....		65
A.1.1.	Amplificador de RF (Fonte de alimentação)	65
A.1.2.	Filtro LTE	66
A.1.3.	Atenuador.....	67
A.1.4.	Combinador 50 Ω	67
A.1.5.	Adaptador de 75/50 Ω	69
A.1.6.	Divisor 75 Ω	69
A.1.7.	Cabos 50 Ω e 75 Ω	69
Anexo 2 Características do Filtro Passa Baixa		70
A.2.1.	Retardo de Grupo.....	70
A.2.2.	Fase	70
A.2.3.	Resposta em Frequência	71
A.2.4.	Perda de Retorno.....	71
Anexo 3 Efeito da inserção do filtro na medida de MER (<i>Modulation Error Ratio</i>).....		72
A.3.1.	MER sem Filtro	72
A.3.2.	MER com Filtro	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

Identificação e avaliação das possíveis interferências mútuas entre sistemas IMT operando na Faixa de 700 MHz, utilizando tecnologia LTE, com a canalização e demais características técnicas estabelecidas pela Resolução nº 625/2013, e sistemas digitais de radiodifusão de sons e imagens (TV Digital) operando nos canais de 14 a 51, utilizando o padrão ISDB-T.

A análise dos resultados deverá permitir a elaboração de Regulamento contra interferências prejudiciais, visando garantir o funcionamento dos Sistemas IMT operando na faixa de 700 MHz e dos sistemas digitais de radiodifusão de sons e imagens (TV Digital) operando nos canais de 14 a 51, utilizando o padrão ISDB-T.

1.2 Escopo

Testes laboratoriais em ambiente confinado, no laboratório do Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL, em Santa Rita do Sapucaí/MG.

Os testes visaram identificar condições que viabilizam a convivência entre os sistemas e possíveis situações críticas, através da avaliação da Relação de Proteção (PR) de canal adjacente e canal imagem, Relação de Proteção de Co-canal (PR0), Oth (Saturação), ACLR (*Adjacent Channel Leakage Ratio*) e ACS (*Adjacent Channel Selectivity*). Onde, a partir de tais valores (ACS e ACLR), pode-se calcular a melhoria requerida em relação à seletividade dos receptores de TV Digital e às emissões indesejáveis das Estações Rádio Base e Terminais Móveis do LTE. Adicionalmente, foi avaliado o efeito da utilização de filtro passa baixa na entrada do receptor de TVD.

Nos testes foram avaliados dois cenários básicos de possibilidade de interferência mútua, quais sejam:

- Interferência das transmissões do eNodeB LTE nos receptores de TVD fixos e móveis;
- Interferência dos terminais LTE nos receptores de TVD fixos e móveis;

1.3 Definições, Acrônimos e Abreviações

- I. Relação de Proteção (*Protection Ratio* - PR): É definida como o mínimo valor da relação sinal-interferência a partir do qual uma determinada qualidade de recepção, em condições específicas, é alcançada. De forma geral, PR é especificada em função do espaçamento de frequências entre o sinal desejável e o sinal interferente.
- II. Limiar de Saturação do Receptor (*Receiver front-end overload threshold* - O_{th}): É a potência, expressa em dBm, a partir da qual ocorre a saturação do receptor de TV, onde este perde a capacidade de discriminar o sinal interferente do sinal desejado.
- III. Sintonizadores tipo “*Can tuners*”: São os receptores de TVD que possuem sintonizadores super-heteródinos tradicionais, formados por componentes discretos dentro de um encapsulamento de metal para minimizar as interferências externas.
- IV. Sintonizadores tipo “*Silicon tuners*”: São os receptores de TVD que possuem sintonizadores baseados em circuitos integrados, conectados a uma placa principal. Esses circuitos integrados podem ter uma cobertura metálica para proteção contra interferências.

- V. Interferências: Neste trabalho o termo “interferências” deve ser interpretado como “interferências prejudiciais”, ou seja, aquela que degrada, obstrui ou interrompe um serviço de radiocomunicação (UIT)
- VI. ACLR (*Adjacent Channel Leakage Ratio -ACLR*): é uma medida de desempenho de um transmissor relacionada à capacidade de supressão de energia no canal adjacente. O ACLR é definido como a razão, em dB, da potência média do sinal gerado integrada na sua faixa designada, para a potência média de emissões no canal adjacente.
- VII. ACS (*Adjacent Channel Selectivity - ACS*): é uma medida de desempenho do receptor relacionada a sua capacidade de receber um sinal em seu canal consignado, dada a presença de outro sinal em um canal adjacente. O ACS é definido como a relação entre a atenuação do filtro de recepção na frequência do canal desejado e a atenuação do filtro de recepção na frequência do canal adjacente.

1.4 Referências Bibliográficas

- Lei nº 9.472, de 16.07.1997 - “Lei Geral de Telecomunicações – LGT”
- Decreto nº 5.820, de 29.06.2006 - Dispõe sobre a implantação do SBTVD-T, estabelece diretrizes para a transição do sistema de transmissão analógica para o sistema de transmissão digital do serviço de radiodifusão de sons e imagens e do serviço de retransmissão de televisão, e dá outras providências.
- Portaria 14 de 06.02.2013 - Estabelece diretrizes para a aceleração do acesso ao Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre – SBTVD-T e para a ampliação da disponibilidade de espectro de radiofrequência
- Anexo à Resolução nº 498, de 27 de março de 2008 – Norma para Certificação e Homologação de Transmissores e Retransmissores para o Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre.
- Anexo à Resolução nº 583, de 27 de março de 2012 - Alteração do regulamento técnico para a prestação dos serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão, aprovado pela resolução nº 284, de 7 de dezembro de 2001, alterado pela resolução nº 398, de 7 de abril de 2005.
- Anexo à Resolução nº 625, de 11 de novembro de 2013 - Aprova a Atribuição, a Destinação e o Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências na Faixa de 698 MHz a 806 MHz
- Norma ABNT 15604 – Televisão Digital Terrestre - Receptores
- Norma ABNT 15601 – Televisão Digital Terrestre – Sistema de Transmissão
- *Recommendation ITU-R BT.1368-10: Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands*
- *Recommendation ITU-R M.1036-4: Frequency Arrangements for implementation of the terrestrial component of International Mobile Telecommunications (IMT) in the bands identified for IMT in the Radio Regulations (RR).*

- *Report ITU-R BT.2035: Guidelines and techniques for the evaluation of digital terrestrial television broadcasting systems.*
- *Report ITU-R BT.2215-3: Measurements of protection ratios and overload thresholds for broadcast TV receivers.*
- *Report ITU-R BT.2247-2: Field measurement and analysis of compatibility between DTTB and IMT BT Series Broadcasting service (television).*
- *Annex 6 to Joint Task Group 5-6 Chairman’s Report – Methodologies (Including Interference Objectives) for Sharing Studies between the Mobile Service, on the one Hand, and the Terrestrial Broadcasting, on the other Hand, in the Band 790-862 MHz.*
- *3GPP TS 36.141 V9.9.0 (2011-09) - 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) conformance testing (Release 9).*
- *3GPP TS 36.104 V11.1.0 (2012-07) - 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 11).*
- *3GPP TS 36.521-1 V10.4.0 (2012-12) - 3rd Generation Partnership Project; Technical specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA).*
- *User Equipment (UE) conformance specification Radio transmission and reception Part 1: Conformance Testing; (Release 10)*
- *3GPP TS 36.101 (V11.1.0) (2012-07) - 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception.*
- *3GPP TR 36. 820 (V11.2.0) (2013-01) - 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; LTE for 700 MHz digital dividend.*
- *European Radiocommunications Committee: A Comparison of the Minimum Coupling Loss Method, Enhanced Minimum Coupling Loss Method, And the Monte-Carlo Simulation.*
- *Application Note – IMA176_3e Rohde & Schwarz: Coexistence Digital TV and LTE.*
- *APT Report: Implementation Issues Associated with Use of the band 698-806 MHz by Mobile Services.*
- *Nota Técnica - Avaliação de Convivência entre o Long Term Evolution (LTE) e o serviço de radiodifusão digital (TVD) na Faixa de 700 MHz. Relatório dos testes realizados no Centro de Comunicações e Guerra Eletrônica do Exército - CCOMGEX Anatel, 29/04/2013.*
- *Relatório de Teste para Determinação da Relação de Proteção e Limiar de Bloqueio dos Receptores de Televisão Digital Terrestre ISDB-TB com a Introdução do Serviço Móvel na Faixa de 700 MHz. Laboratório de Pesquisas em TV Digital da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, de 04 de novembro de 2013.*
- *Considerações da SET sobre os testes de interferência do sinal LTE na recepção de TV Digital na faixa de UHF – Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão – 10/02/2014.*
- *Relatório Técnico - Convivência do LTE com a TV Digital Terrestre: consolidação de Testes Laboratoriais e Benchmarking Internacional - Fundação CPqD Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Telecomunicações.*

- Relatório Preliminar do GT-700 MHz “Uso da Faixa de Radiofrequências de 698 MHz a 806 MHz – Anatel – 03/10/2012.
- Relatório de Testes - Resultados dos Testes Laboratoriais sobre Convivência LTE e TVD em 700 MHz realizados no Laboratório CertLab – Anatel, de 20 de Junho de 2013.
- Report for GSMA on the Coexistence of ISDB-T and LTE - Advanced Topographic Development & Images Limited - ATDI, de 15 de Janeiro de 2014.
- Apresentação em 23 de abril de 2014 do “Relatório Preliminar sobre os Testes de Convivência entre TV Digital e SMP na faixa de 700 MHz” elaborado pelo Centro de Estudos em Telecomunicações (CETUC), da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

2 METODOLOGIA

2.1 Método de Avaliação

O ponto de falha que estabelece a relação de proteção é determinado subjetivamente através da avaliação de qualidade da imagem. Não devem ser observados erros durante a observação da imagem num intervalo de 60 segundos. A condição limite ocorre quando não se observa erro na imagem nos primeiros 60 segundos. Essa condição limite é definida como *Quasi Error Free* (QEF).

Nas presentes medições a aplicação do método QEF é realizada pela variação do nível de sinal interferente, enquanto se observa na tela dos receptores em teste. Partindo da condição de recepção normal, o nível do sinal interferente é aumentado até o ponto onde se observa defeitos ou artefatos na imagem observada. O ponto onde começa a ocorrer artefatos na imagem é também denominado de TOV – *Threshold of Visibility* – Limiar de Visibilidade.

O nível de sinal de TVD ou o nível de sinal interferente (depende da medição que está sendo realizada) é então variado em torno desta condição, em passo de 1 dB através do atenuador variável, aplicando-se o método QEF repete-se o processo até atingir a condição limite, e os resultados são anotados.

Os sinais, interferido e interferente, simulam condições estáticas em meio confinado desconsiderando o desvanecimento de multipercurso.

2.2 Setup de Testes

Os testes foram realizados em bancada, com propagação de sinais em meio confinado, em ambiente controlado. O laboratório localizado na sala II-21, piso superior do Prédio 2, do INATEL, em Santa Rita do Sapucaí, é apresentado na *Figura 1*.



Figura 1 – Laboratório de TVD x LTE - INATEL

Para realização dos testes os vários dispositivos e cabos foram arranjados conforme o Diagrama em Bloco apresentado na *Figura 2*.

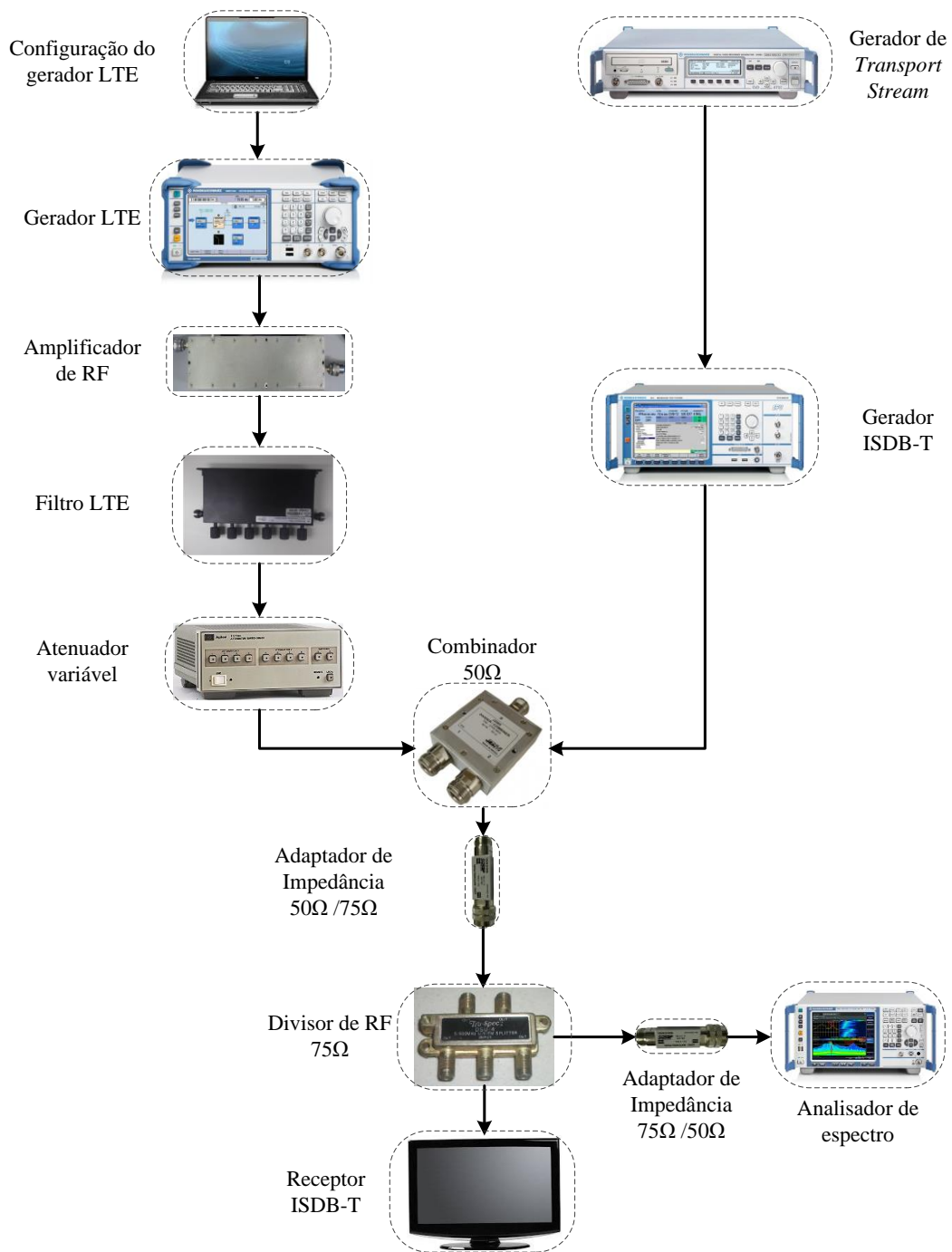


Figura 2 – Diagrama em Bloco do setup de teste

A *Tabela 1* relaciona os vários equipamentos e dispositivos utilizados no setup de teste:

FUNÇÃO	FABRICANTE	MODELO / Nº DE SÉRIE	OBS:
<i>Digital Broadcast Signal Analyzer</i> – Analisador de Sinais de TV Digital	Anritsu	MS8901A / 6200504961	Inatel
<i>Signal Analyzer</i> - Analisador de Sinais	Agilent	N9020A MXA / MY53280058	Inatel
<i>Network Analyzer</i> – Analisador de rede, para caracterização do <i>setup</i> .	Agilent	E5071C ENA / MY46315261	Inatel
<i>Digital Video Recorder Generator</i> - Fonte dos <i>Transport Streams</i> usados nos ensaios	Rohde&Schwarz	DVRG / 100194	Inatel
<i>Laboratory DC Power Supply</i> – Fonte de alimentação de 12V das ventoinhas do amplificador de potência de RF	GW	GPC-3030 / 7640635	Inatel
<i>Multi Range DC Power Supply</i> – Fonte de alimentação de 28V do amplificador de potência de RF	GW-Instek	PSW 80-40.5 / EL142380	Inatel
<i>Divider/Combiner</i> – Combinador dos sinais de TVD e LTE	JBM	J2065 / 5802	Inatel
<i>50/75Ω Matching Pads</i> – Adaptador de 50 para 75 Ω	JBM	J2042 / 1561	Inatel
Divisor de 4 Saídas 75Ω	Tru-Spec	DSV-4G	Inatel
Cabos Coaxiais 50Ω N-N	Huber+Suhner	Sucoflex 104PE / 34043; 34045; 34048; 34049; 34051; 34052; 34053	Inatel
Cabos coaxiais 75Ω F-F	JBM	J2051 / 5760; 5762; 5750; 5758	Inatel
<i>Type N DC Block</i> – Bloqueador de tensão contínua	INMET	8046	Inatel
Cabo HDMI	---	---	Inatel
Cabo de áudio e vídeo RCA	---	---	Inatel
Amplificador de Potência de RF para o sinal LTE	Hitachi - Linear	4734 / 0448/12	Hitachi - Linear
<i>Vector Signal Generator</i> – Gerador de Sinais LTE	Rohde&Schwarz	SMBV100A / 255080	Certlab
<i>Attenuator/Switch Driver</i> – Controlador dos Atenuadores	HP	11713A / 2335A02599	Certlab
<i>Attenuator/110dB</i> – Atenuador de 110dB	HP	8496H / 2816A10123	Certlab
<i>Attenuator/11dB</i> – Atenuador de 11dB	HP	8494H / 2814A04850	Certlab
<i>Bandpass Filter</i> – Filtro passa faixas para o sinal LTE	Wainwright	WBCGV640/840-30/40 / 1	Qualcomm/Certlab
<i>Minimum Loss Pads</i> – Adaptador de 50 para 75 Ω	INMET	9088-50/75	Certlab
<i>Real Time Spectrum Analyzer</i> - Analisador de Espectro em Tempo Real	Rohde&Schwarz	FSVR30 / 101110-cs	Anatel
<i>Broadcast Test System</i> – Gerador de Sinais de TV	Rohde&Schwarz	SFU / 101355	CPqD
Filtro Passa Baixas com corte em 698 MHz	Proeletronic	Filtro LTE 698 MHz	Proeletronic

Tabela 1 – Relação dos equipamentos utilizados no setup

2.3 Geração de sinais

2.3.1 Sinal desejado TV Digital

O padrão de TV Digital Brasileiro utiliza a tecnologia ISDB-T segundo norma ABNT NBR 15601. A *Tabela 2* apresenta os parâmetros dos sinais gerados para realização dos testes:

Camada	A	B	B'
NÚMERO DE SEGMENTOS	1	12	12
MODULAÇÃO	QPSK	64QAM	16QAM
FEC	2/3	3/4	3/4
TIME INTERLEAVING	4	2	2
LARGURA DO CANAL	5,572421 MHz		
RECEPÇÃO PARCIAL	Sim		
MODO	MODE 3 (8k)		
INTERVALO DE GUARDA	1/8		

Tabela 2 – Características do sinal de TV usado nos testes laboratoriais

Para geração dos sinais de TV Digital padrão ISDB-T foi utilizado o gerador de sinais de TV modelo SFU da Rohde & Schwarz em conjunto com o gerador e gravador de vídeo digital modelo DVRG utilizados como *Transport Stream*. As *Figura 3* e *Figura 4* apresentam as telas de configuração do gerador SFU.

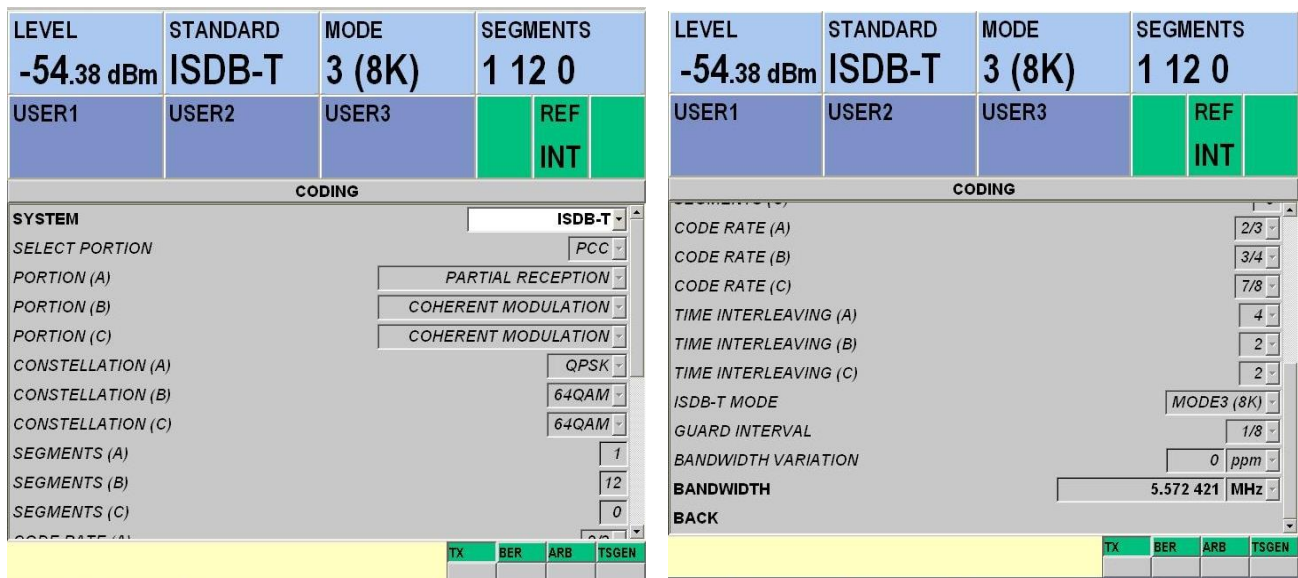


Figura 3 – Tela de configuração de sinal ISDB-T 64QAM

LEVEL	STANDARD	MODE	SEGMENTS
-54.38 dBm	ISDB-T	3 (8K)	1 12 0
USER1	USER2	USER3	REF INT

LEVEL	STANDARD	MODE	SEGMENTS
-54.38 dBm	ISDB-T	3 (8K)	1 12 0
USER1	USER2	USER3	REF INT

CODING			
SYSTEM	ISDB-T		
SELECT PORTION	PCC		
PORTION (A)	PARTIAL RECEPTION		
PORTION (B)	COHERENT MODULATION		
PORTION (C)	COHERENT MODULATION		
CONSTITUTION (A)	QPSK		
CONSTITUTION (B)	16QAM		
CONSTITUTION (C)	64QAM		
SEGMENTS (A)	1		
SEGMENTS (B)	12		
SEGMENTS (C)	0		
CODE RATE (A)	2/3		
TX	BER	ARB	TSGEN

CODING			
SEGMENTS (C)	0		
CODE RATE (A)	2/3		
CODE RATE (B)	3/4		
CODE RATE (C)	7/8		
TIME INTERLEAVING (A)	4		
TIME INTERLEAVING (B)	2		
TIME INTERLEAVING (C)	2		
ISDB-T MODE	MODE3 (8K)		
GUARD INTERVAL	1/8		
BANDWIDTH VARIATION	0 ppm		
BANDWIDTH	5.572 421 MHz		
BACK			
TX	BER	ARB	TSGEN

Figura 4 – Tela de configuração de sinal ISDB-T 16QAM

A fim de caracterizar os sinais gerados as Figura 5 e Figura 6 apresentam as medições realização com analisador vetorial.

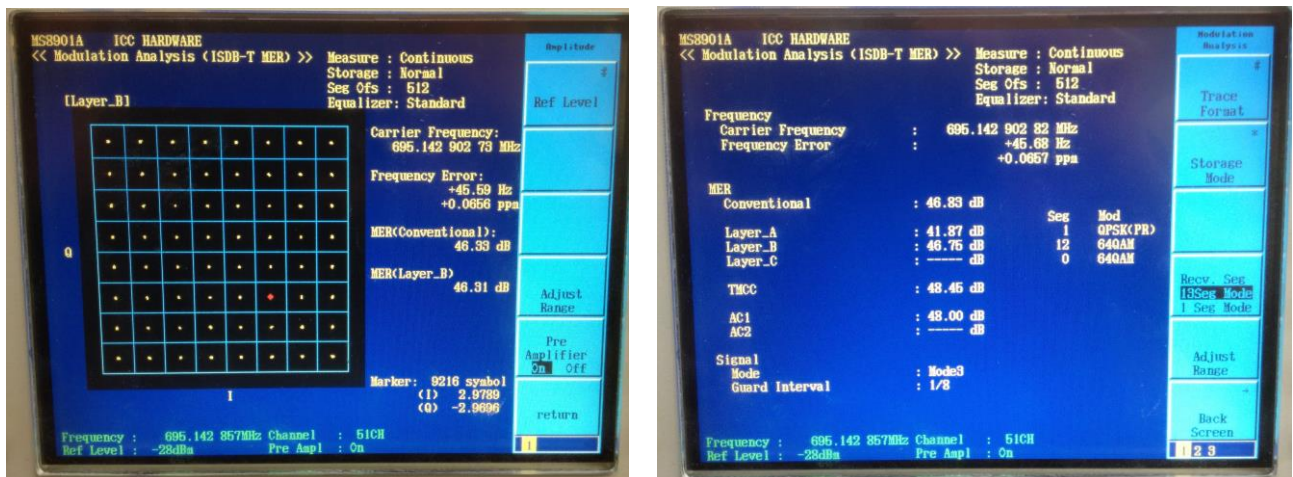


Figura 5 – Caracterização de sinais ISDB-T 64QAM

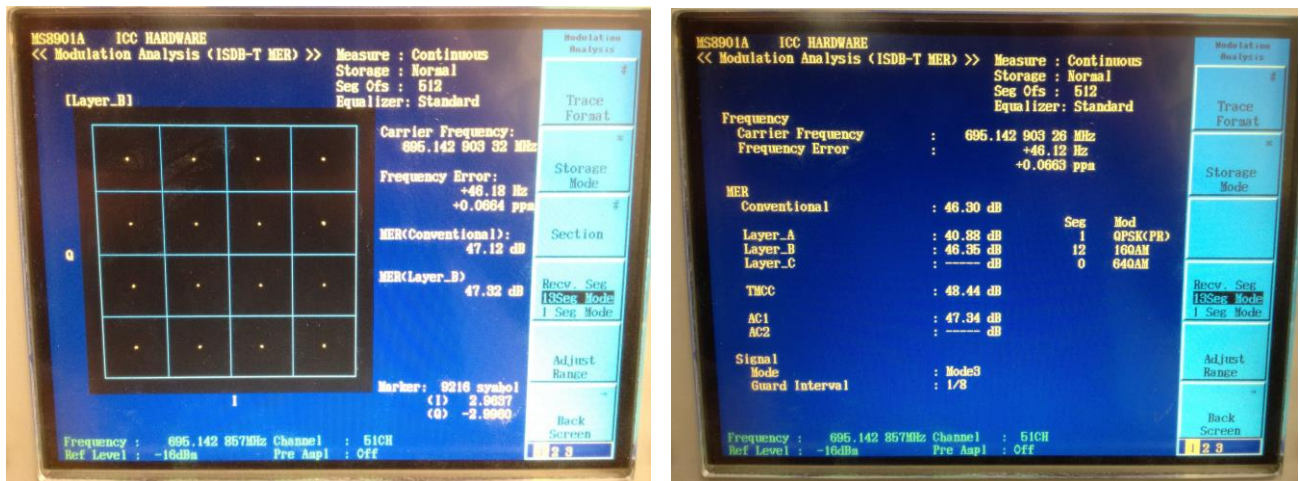


Figura 6 – Caracterização de sinais ISDB-T 16QAM

Os sinais foram gerados em níveis variados com o objetivo de cobrir a faixa dinâmica dos receptores.

INTERFERÊNCIA CANAL / FREQ. [MHz]	NÍVEL [dBm]
Canal Imagem - Uplink CANAL 38 – 617,142857	-74, -70, -60, -50, -40, -30 e -20
Canal Imagem - Downlink CANAL 48 – 677,142857	
Canal Adjacente CANAL 51 – 695,142857	

Tabela 3 – Características dos sinais gerados

2.3.2 Sinal interferente LTE

Os sinais interferentes seguem o padrão estabelecido pelo 3GPP para a tecnologia LTE empregando a técnica de FDD. Para sinais de uplink, ou seja, transmissão do terminal móvel, o padrão para geração de sinais foi o da especificação técnica 3GPP TS 36.521. Para sinais de downlink, ou seja, transmissão da estação rádio base, o padrão para geração de sinais foi o da especificação técnica 3GPP TS 36.141.

Para a geração do sinal LTE interferente foi utilizado o gerador vetorial arbitrário SMBV100A da Rohde & Schwarz conforme apresentado na *Figura 7*.



Figura 7 – Gerador Arbitrário Vetorial SMBV100A

Para controle do gerador foi utilizado o software da Rohde & Schwarz WinIQSIM2 conforme apresentado na Figura 8.

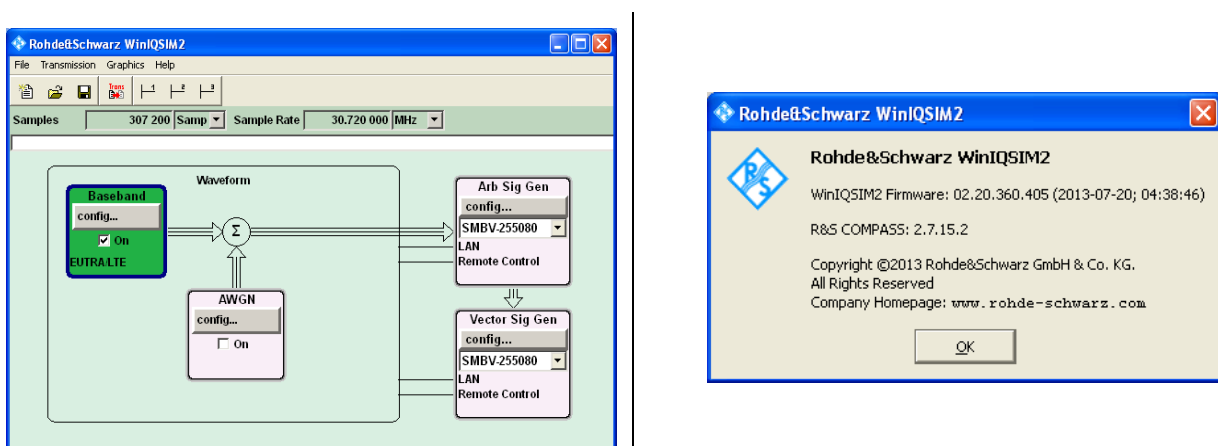


Figura 8 – Tela do software WinIQSIM2

A partir da configuração da banda base era possível selecionar a tecnologia para qual se deseja gerar o sinal, bem como a direção do link.

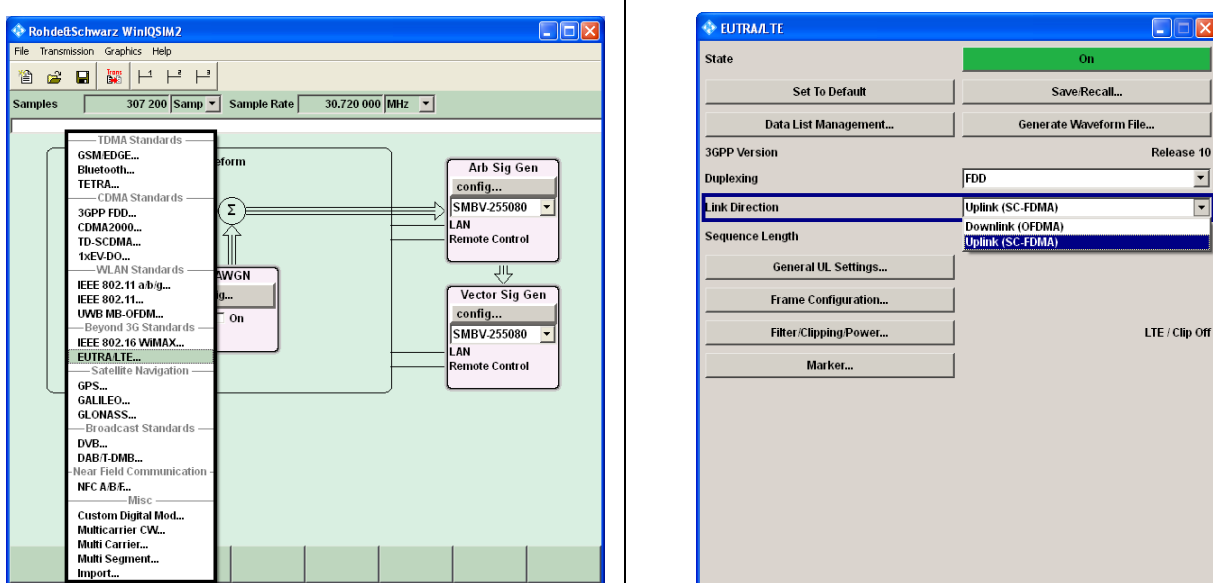


Figura 9 – Tela do software WinIQSIM2 seleção da tecnologia e direção do link

2.3.2.1 Sinal de Uplink

Os sinais de uplink foram gerados de acordo com anexo A.2.2.1.2 da norma ETSI TS 36.521 V10.4.0, para as larguras de faixa de 5 MHz, 10 MHz e 20 MHz, conforme *Tabela 4*:

Parameter	Unit	Value					
		1.4	3	5	10	15	20
Channel bandwidth	MHz	1.4	3	5	10	15	20
Allocated resource blocks		6	15	25	50	75	100
DFT-OFDM Symbols per Sub-Frame		12	12	12	12	12	12
Modulation		16QAM	16QAM	16QAM	16QAM	16QAM	16QAM
Target Coding rate		3/4	1/2	1/3	3/4	1/2	1/3
Payload size	Bits	2600	4264	4968	21384	21384	19848
Transport block CRC	Bits	24	24	24	24	24	24
Number of code blocks per Sub-Frame (Note 1)		1	1	1	4	4	4
Total number of bits per Sub-Frame	Bits	3456	8640	14400	28800	43200	57600
Total symbols per Sub-Frame		864	2160	3600	7200	10800	14400
UE Category		≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 2	≥ 2	≥ 2

Note 1: If more than one Code Block is present, an additional CRC sequence of L = 24 Bits is attached to each Code Block (otherwise L = 0 Bit)

Tabela 4 – Características do Sinal de Uplink.

Através do software, a partir da seleção da direção do link é possível configurar a largura do canal, conforme *Figura 10*.

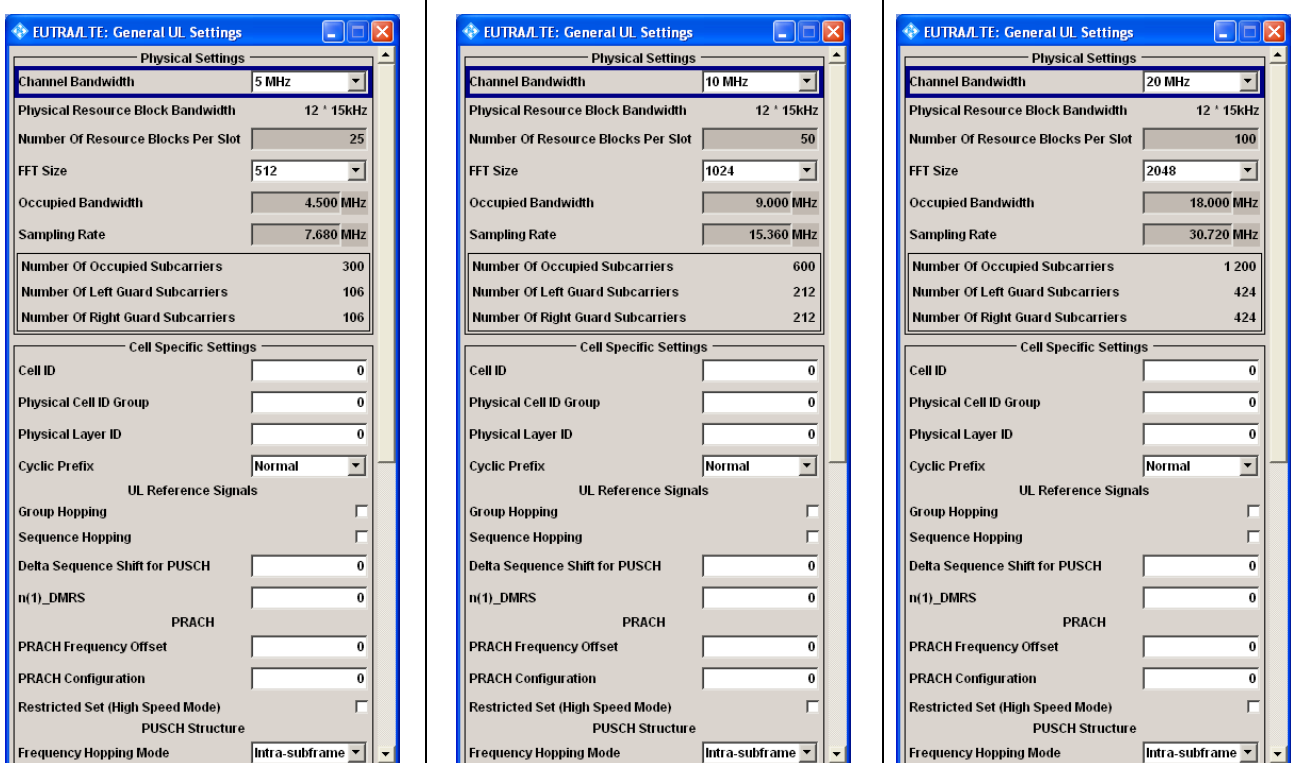


Figura 10 – Tela do software WinIQSIM2 seleção da largura de banda

Na opção Configuração do Frame é possível selecionar os terminais alocando RB e atribuindo frames para cada um deles. Na *Figura 11* é possível verificar para o UE1 os parâmetros atribuídos para uma banda de canal de 20 MHz.

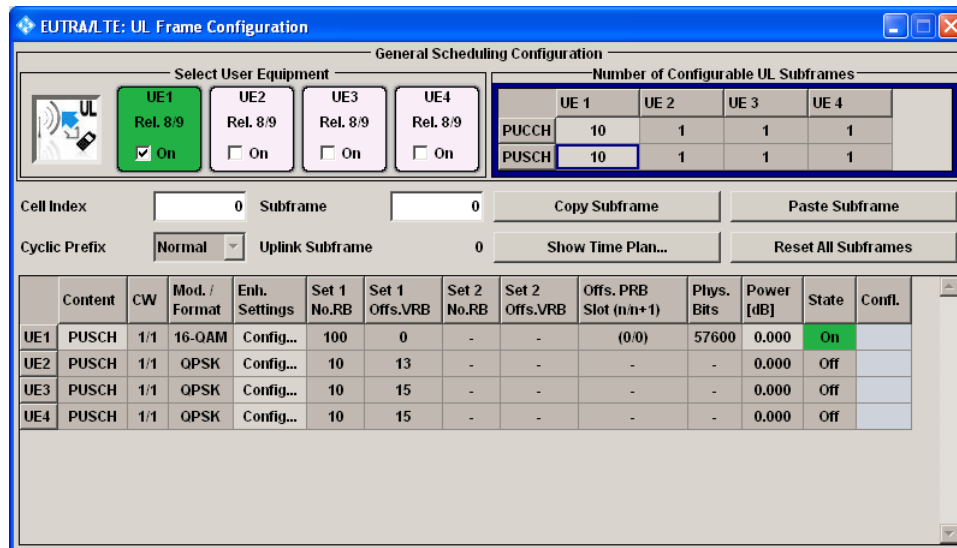


Figura 11 – Configuração do software para simulação terminal de usuário

Para simulação de carregamento de 100%, selecionamos 10 subframes a serem configurados e ligamos todos eles. A Figura 12 apresenta a configuração dos subframes, ressaltamos que todos os RB foram alocados.

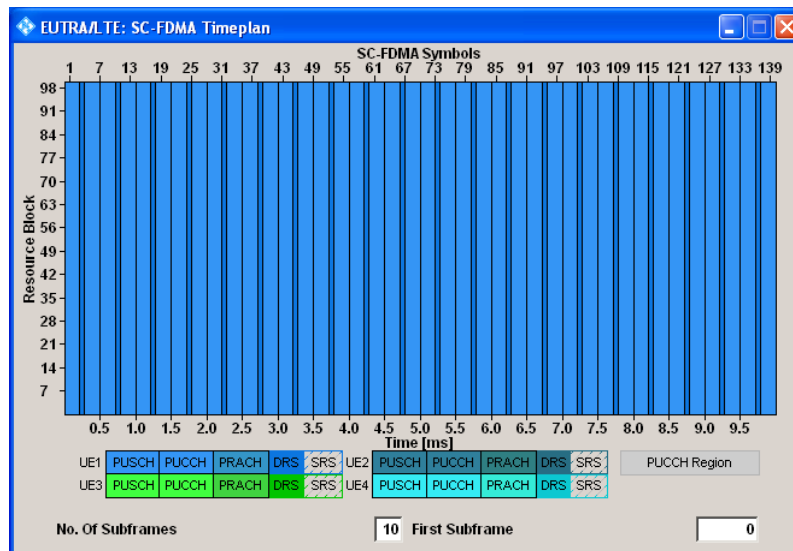


Figura 12 – Time Plan para simulação de 100% de carregamento

O software possibilita a visualização de um gráfico na saída da banda base para visualização do sinal gerado.

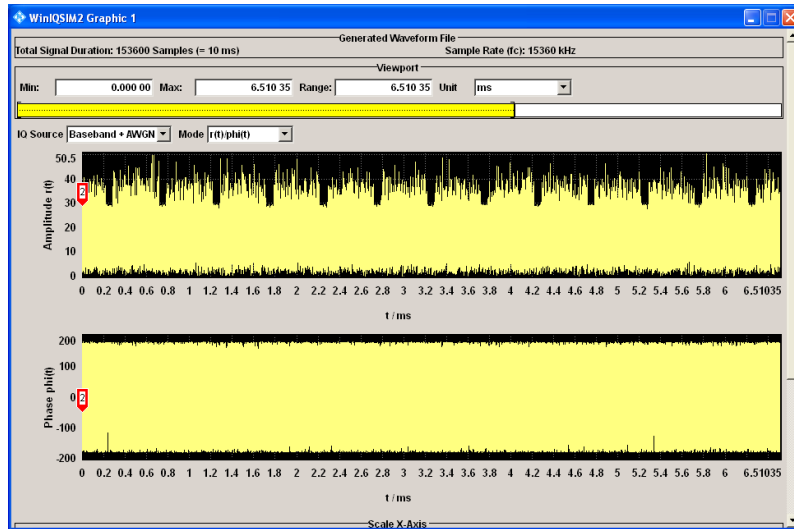


Figura 13 – Gráfico $I/Q(t)$ gerado pelo software

Para ilustrar o comportamento espectral a Figura 14 apresenta a medida com analisador em tempo real no modo persistência.

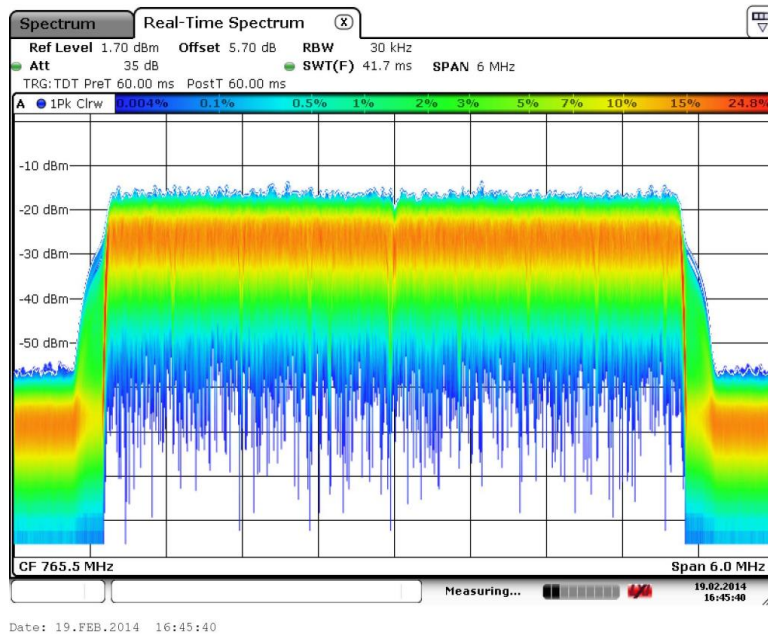


Figura 14 – Espectro para o sinal com 5 MHz e 100% de carregamento.

Para simulação de carregamento de 10%, selecionou-se 10 subframes a serem configurados e ligou-se apenas o Subframe 0 e mantendo desligados os outros de 1 a 9. A Figura 15 apresenta a configuração dos subframes. Cabe ressaltar que todos os RB foram alocados e apenas o subframe foi ligado.

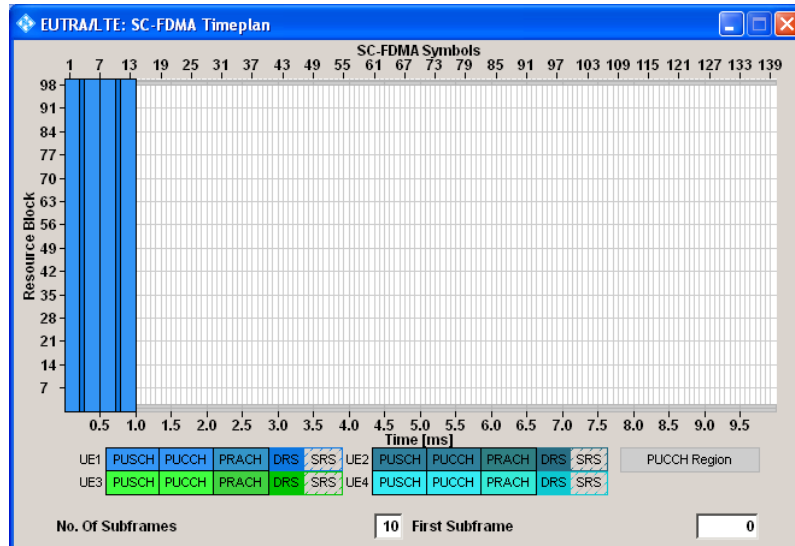


Figura 15 – Time Plan para simulação de 10% de carregamento

O software possibilita a visualização de um gráfico na saída da banda base para visualização do sinal gerado.

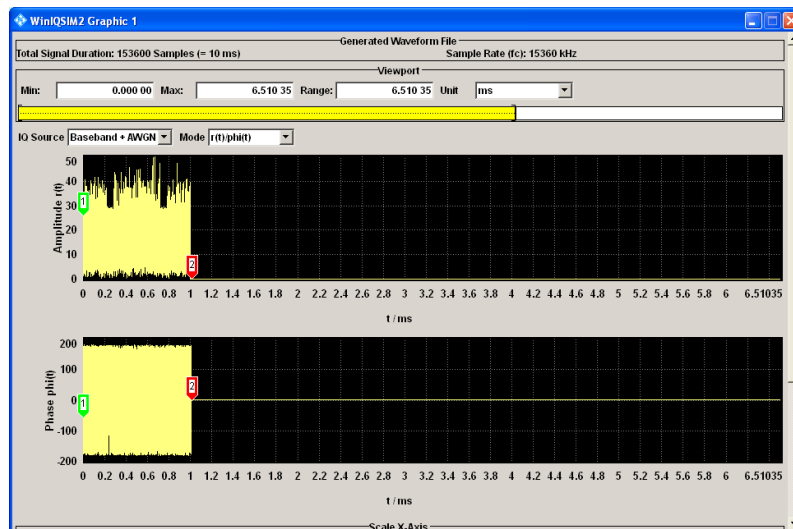


Figura 16 – Gráfico $I/Q(t)$ gerado pelo software

Para ilustrar o comportamento espectral a *Figura 17* apresenta a medida com analisador em tempo real no modo persistência.

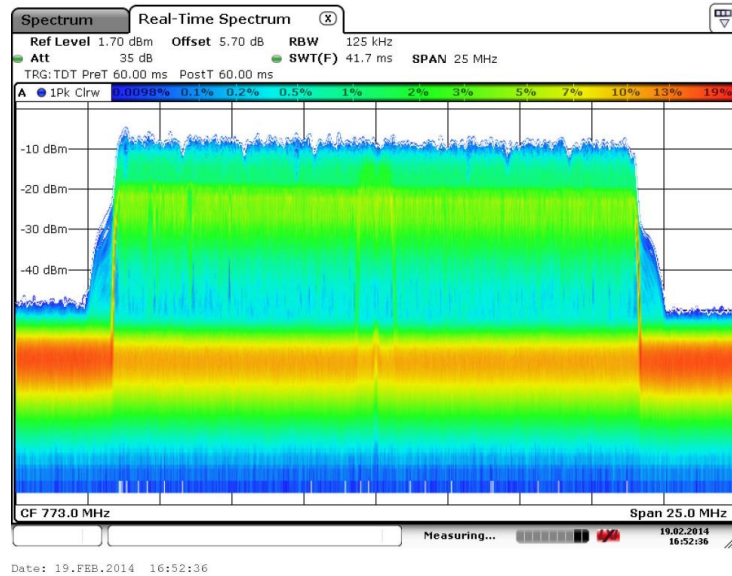


Figura 17 – Espectro para o sinal com 20 MHz e 10% de carregamento.

2.3.2.2 Sinal de Downlink

Os sinais de downlink foram gerados de acordo o modo de teste, E-TM3.1 definido na tabela 6.1.1.4.1 da norma ETSI TS 136.141 V10.1.0, para as larguras de faixa de 5 MHz, 10 MHz e 20 MHz, conforme *Tabela 5*:

Table 6.1.1.4-1: Physical channel parameters of E-TM3.1

Parameter	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Reference, Synchronisation Signals						
RS boosting, $P_B = E_B/E_A$	1	1	1	1	1	1
Synchronisation signal EPRE / E_{RS} [dB]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Reserved EPRE / E_{RS} [dB]	-inf	-inf	-inf	-inf	-inf	-inf
PBCH						
PBCH EPRE / E_{RS} [dB]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Reserved EPRE / E_{RS} [dB]	-inf	-inf	-inf	-inf	-inf	-inf
PCFICH						
# of symbols used for control channels	2	1	1	1	1	1
PCFICH EPRE / E_{RS} [dB]	3.222	0	0	0	0	0
PHICH						
# of PHICH groups	1	1	1	2	2	3
# of PHICH per group	2	2	2	2	2	2
PHICH BPSK symbol power / E_{RS} [dB]	-3.010	-3.010	-3.010	-3.010	-3.010	-3.010
PHICH group EPRE / E_{RS} [dB]	0	0	0	0	0	0
PDCCH						
# of available REGs	23	23	43	90	140	187
# of PDCCH	2	2	2	5	7	10
# of CCEs per PDCCH	1	1	2	2	2	2
# of REGs per CCE	9	9	9	9	9	9
# of REGs allocated to PDCCH	18	18	36	90	126	180
# of <NIL> REGs added for padding	5	5	7	0	14	7
PDCCH REG EPRE / E_{RS} [dB]	0.792	2.290	1.880	1.065	1.488	1.195
<NIL> REG EPRE / E_{RS} [dB]	-inf	-inf	-inf	-inf	-inf	-inf
PDSCH						
# of 64QAM PDSCH PRBs within a slot for which EVM is measured	6	15	25	50	75	100
PRB $P_A = E_A/E_{RS}$ [dB]	0	0	0	0	0	0
# of PDSCH PRBs within a slot for which EVM is not measured (used for power balancing only)	0	0	0	0	0	0
PRB $P_A = E_A/E_{RS}$ [dB]	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Tabela 5 – Características do Sinal de Downlink.

A seleção do modo de teste é vinculada a largura do canal a ser simulado, conforme *Figura 18*.

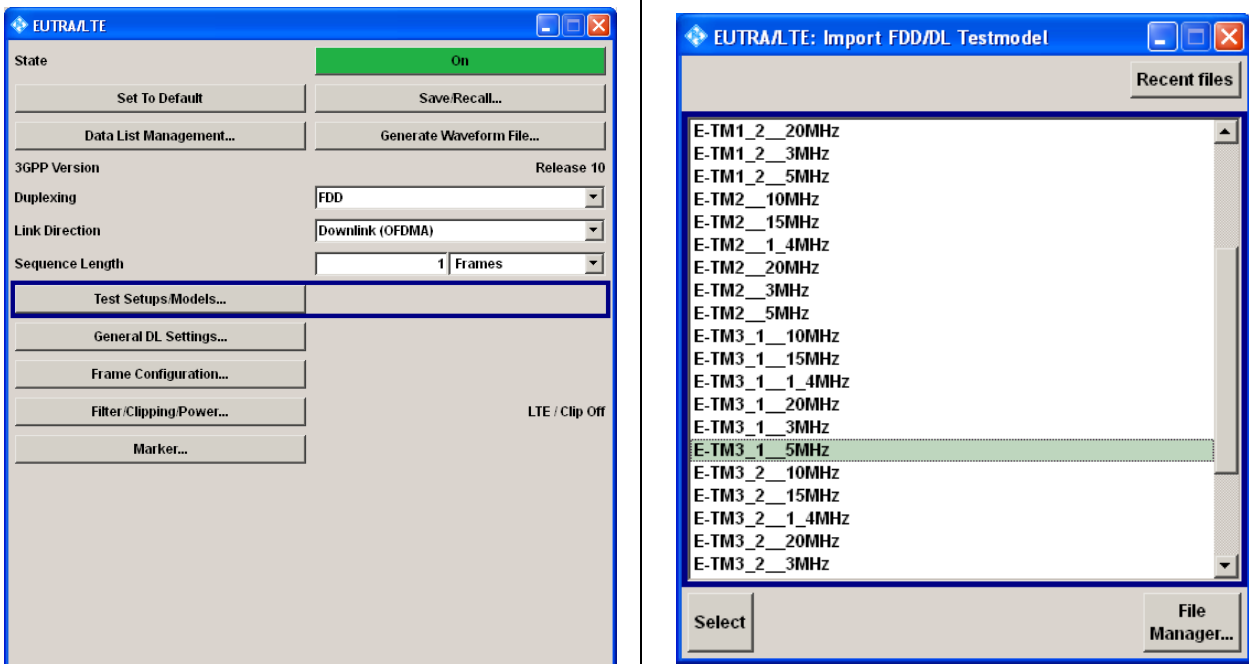


Figura 18 – Tela do software WinIQSIM2 seleção do modo de teste e largura de banda para downlink

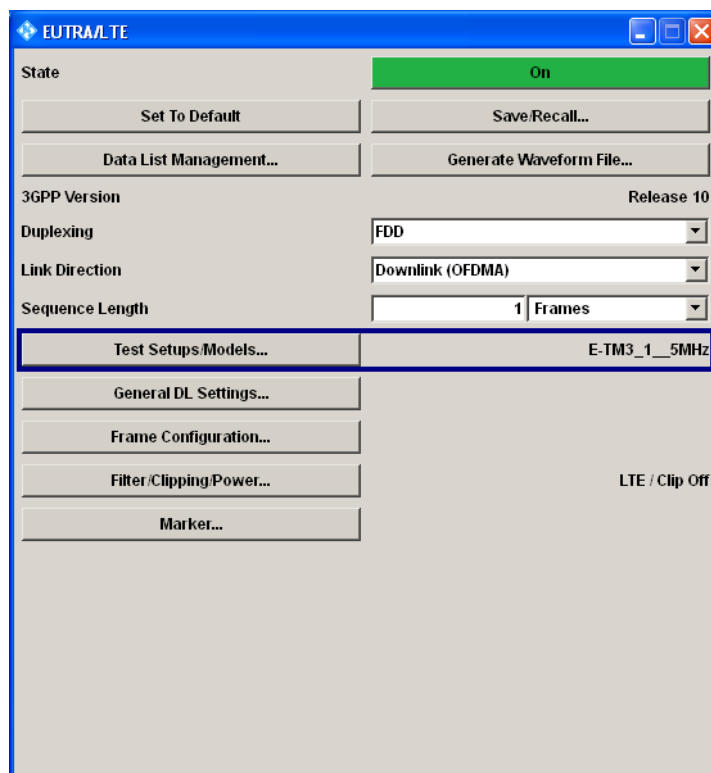


Figura 19 – Seleção no software para simulação de downlink de 5 MHz

Na opção Configuração do Frame é possível configurar os canais de dowlink possibilitando a simulação de carregamento Idle e 100%. Na *Figura 11* é possível verificar para o UE1 os parâmetros atribuídos para uma banda de canal de 20 MHz.

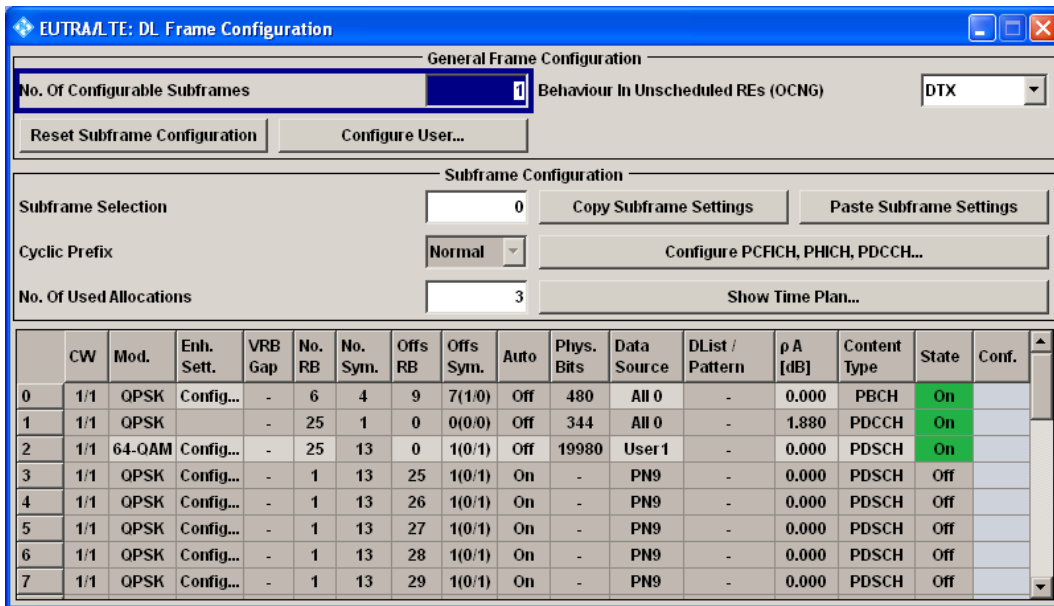


Figura 20 – Configuração do software para simulação da estação rádio base

Para simulação de carregamento de 100%, o canal PDSCH foi deixado ligado, simulando tráfego na rede. A *Figura 21* apresenta a configuração dos subframes. Cabe ressaltar que todos os RB foram alocados.

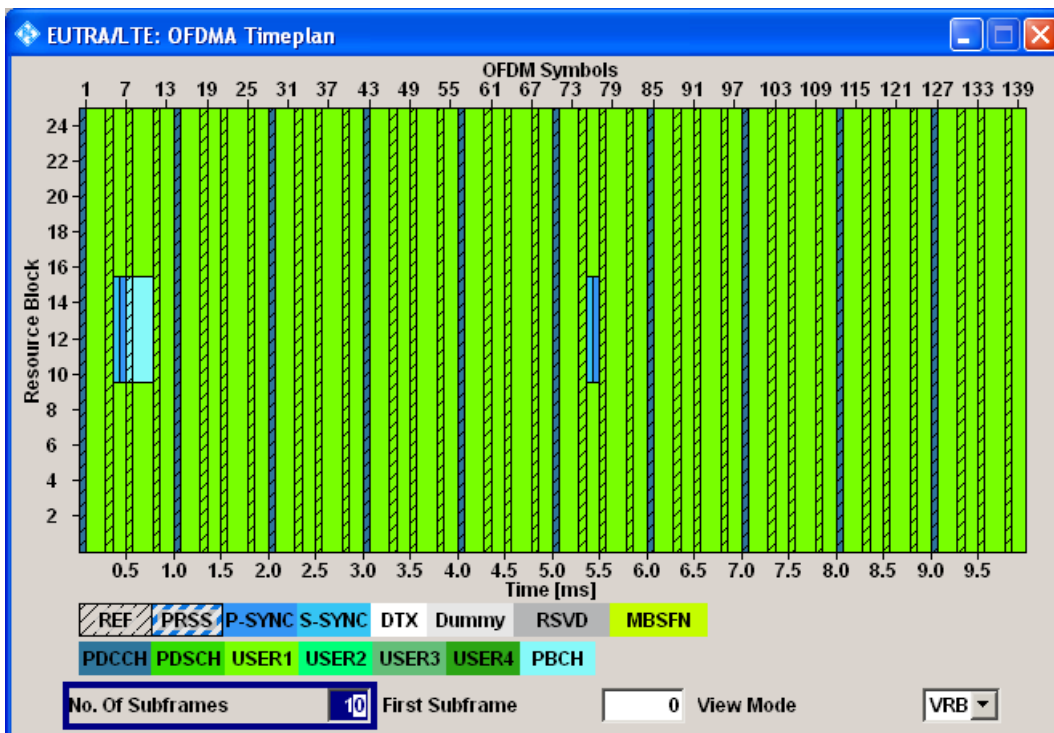


Figura 21 – Time Plan para simulação de 100% de carregamento

O software possibilita a visualização de um gráfico na saída da banda base para visualização do sinal gerado.

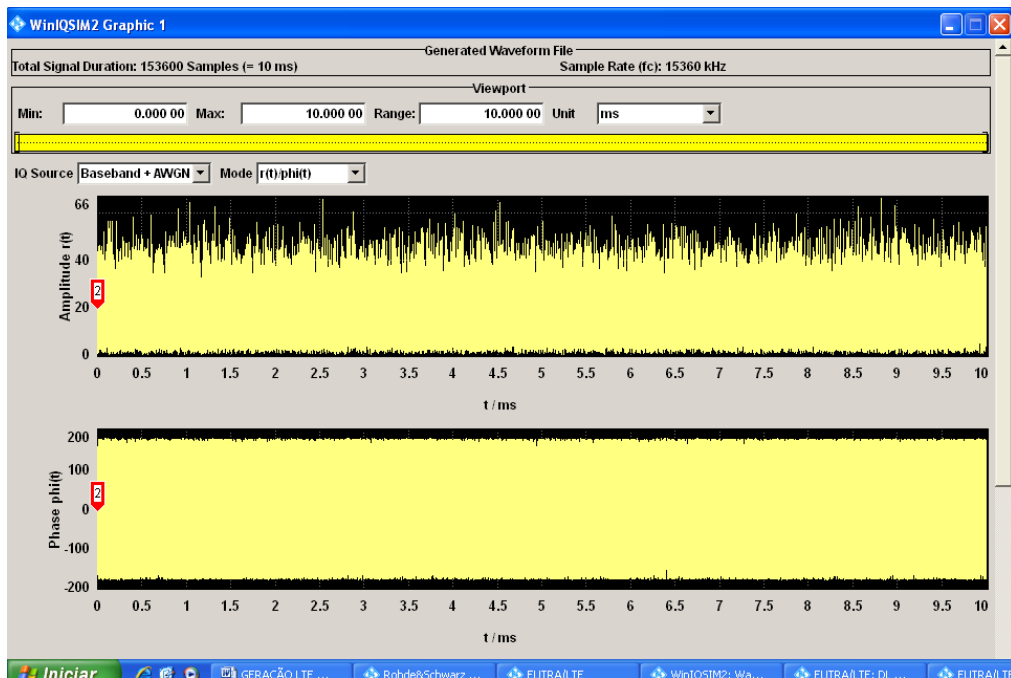


Figura 22 – Gráfico I/Q(t) gerado pelo software

Para ilustrar o comportamento espectral a Figura 23 apresenta a medida com analisador em tempo real no modo persistência.

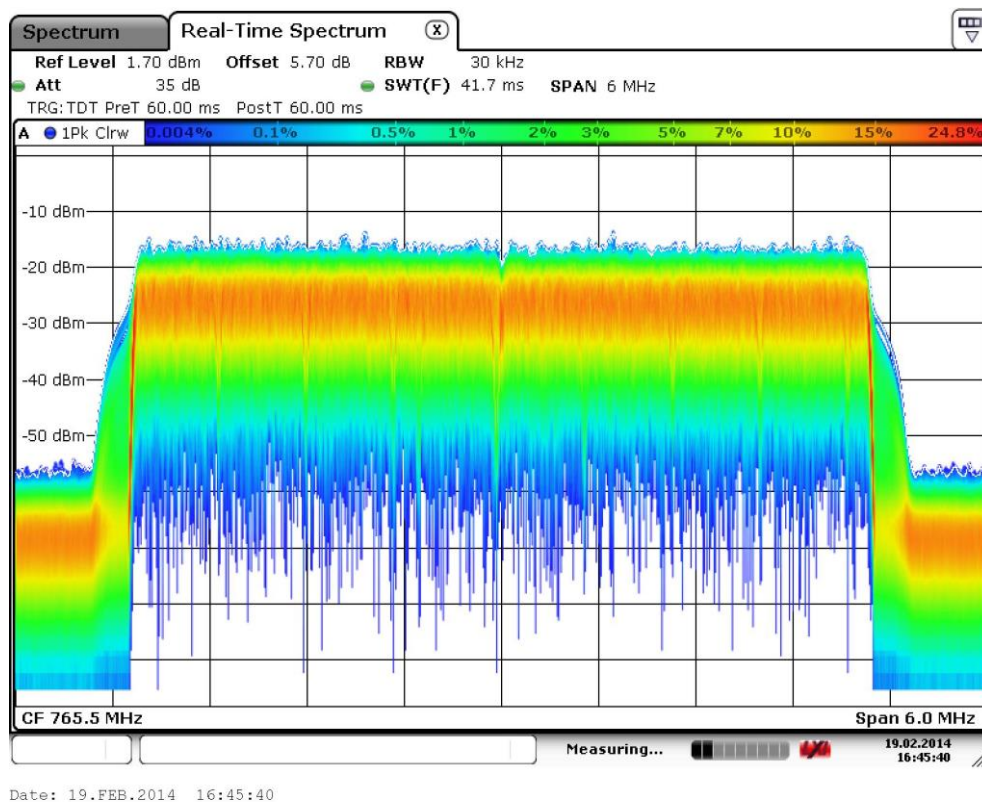


Figura 23 – Espectro para o sinal com 5 MHz e 100% de carregamento.

Para simulação de carregamento em Idle, o canal PDSCH foi desligado, deixando somente os canais PDCCH e PBCH ligados. A *Figura 24* apresenta a configuração dos canais para o modo idle.

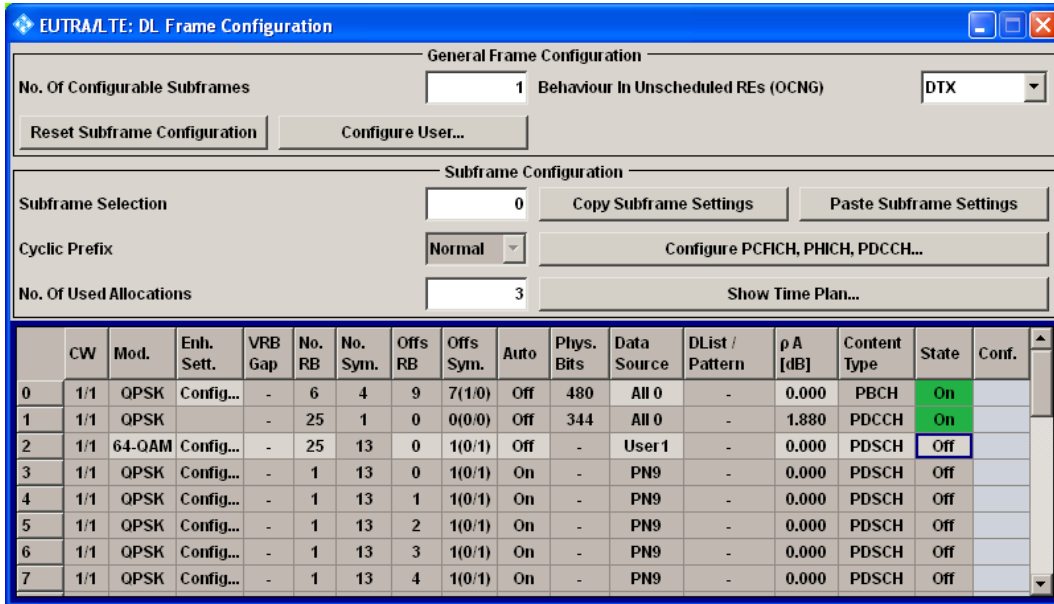


Figura 24 – Configuração do software para simulação da estação rádio base no modo idle

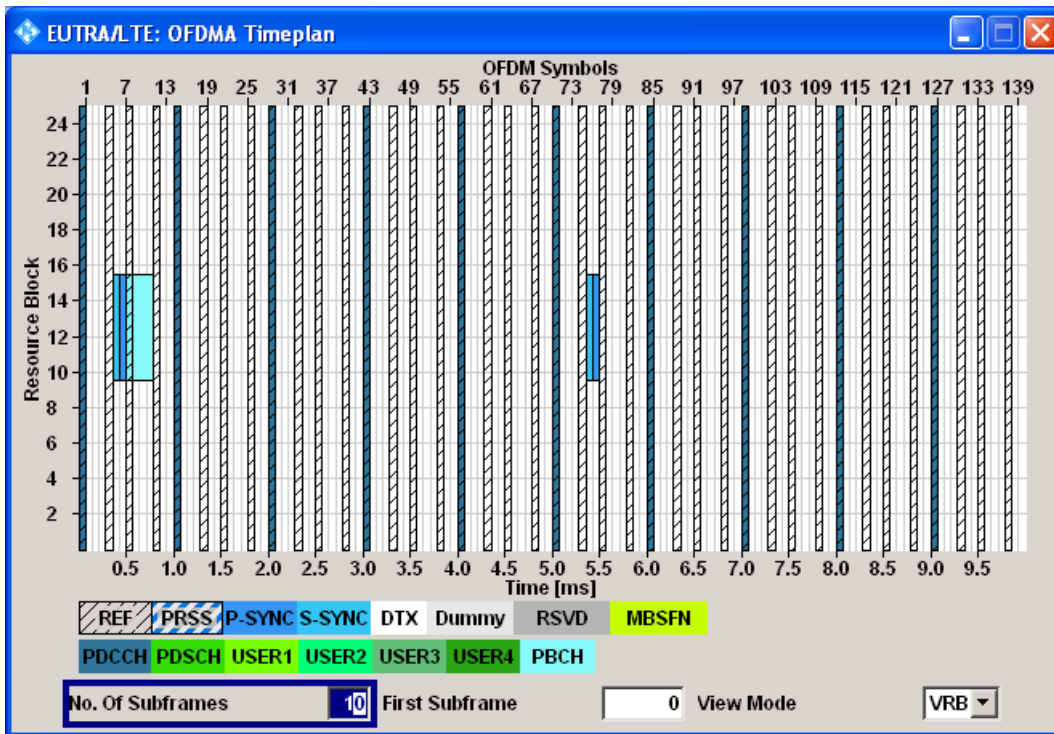


Figura 25 – Time Plan para simulação de Idle

O software possibilita a visualização de um gráfico na saída da banda base para visualização do sinal gerado.

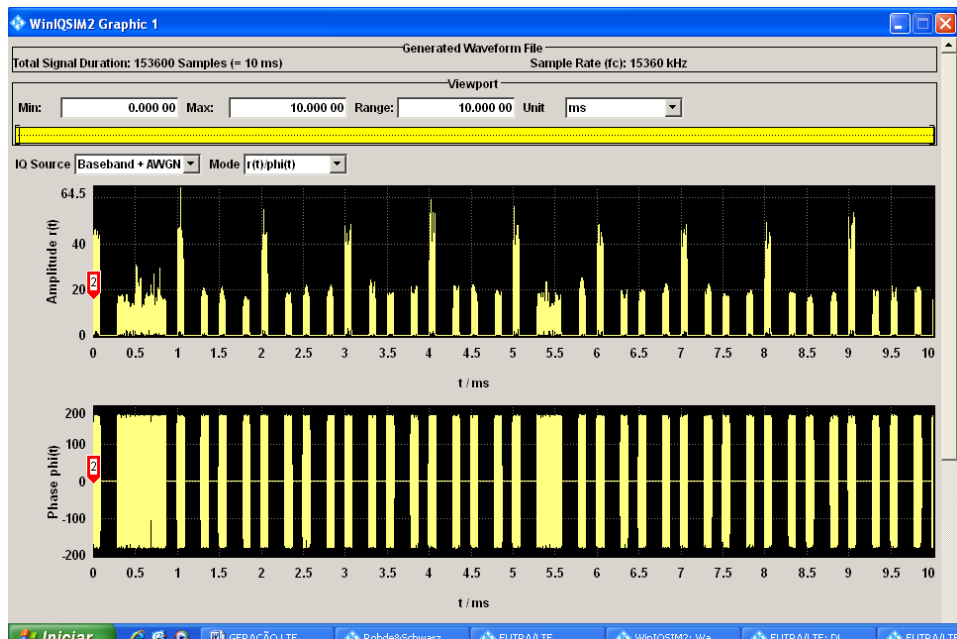


Figura 26 – Gráfico $I/Q(t)$ gerado pelo software

Para ilustrar o comportamento temporal a Figura 27 apresenta a medida com analisador em tempo real com span zero.

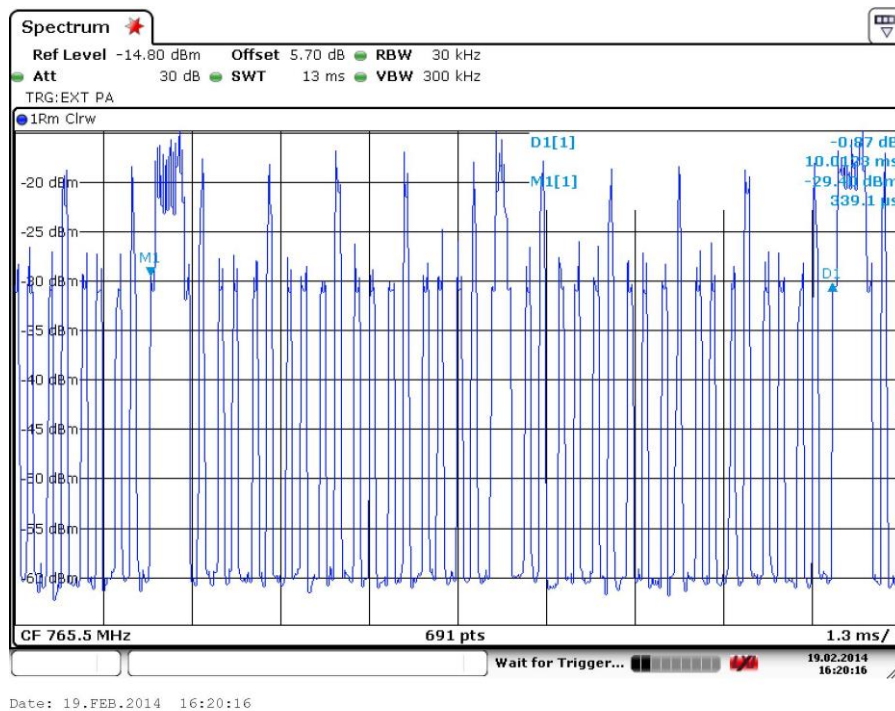


Figura 27 – Distribuição temporal do sinal em modo Idle.

Para ilustrar o comportamento espectral a *Figura 28* apresenta a medida com analisador em tempo real no modo persistência.

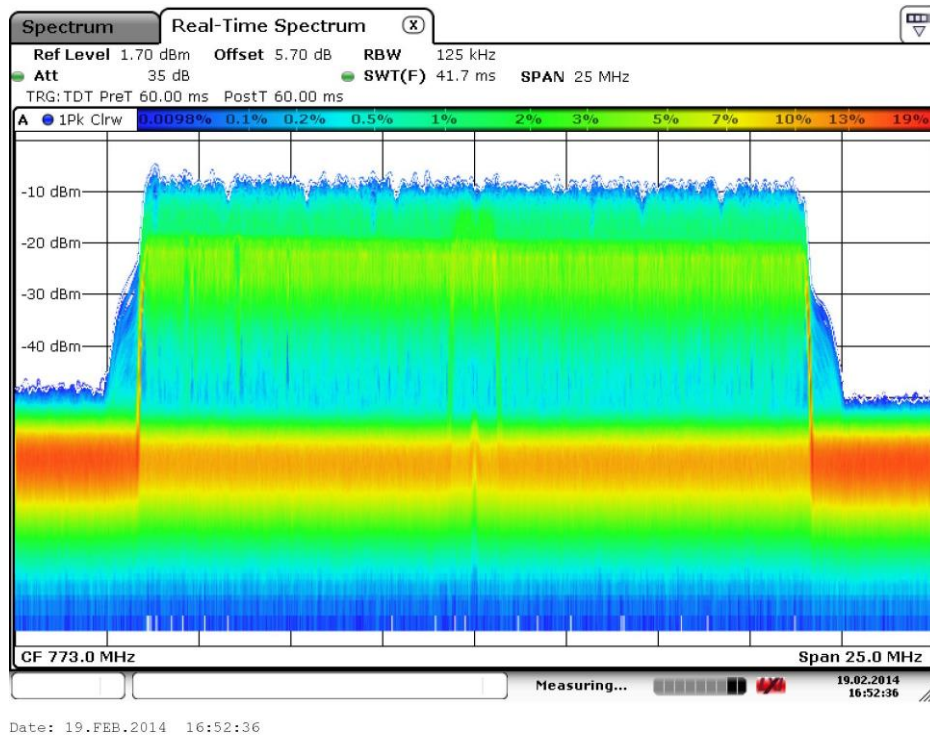


Figura 28 – Espectro para o sinal com 20 MHz e modo Idle.

Para carga das configurações no gerador é feita uma transmissão da forma de onda conforme *Figura 29*.

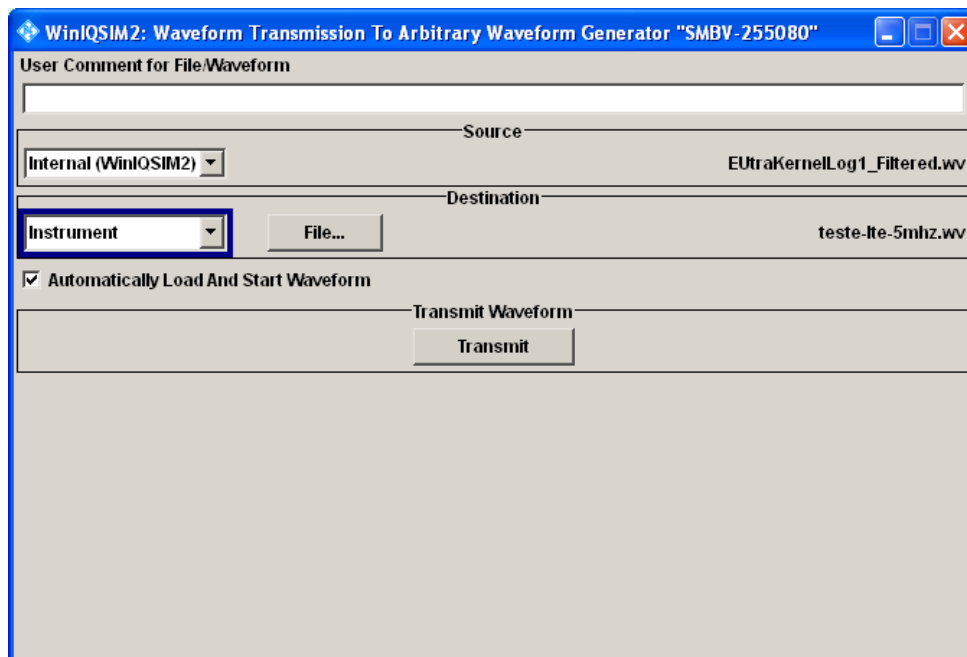


Figura 29 – Tela para carga da forma de onda no gerador.

A configuração da frequência do canal é feita diretamente na tela do gerador, conforme *Figura 30*.

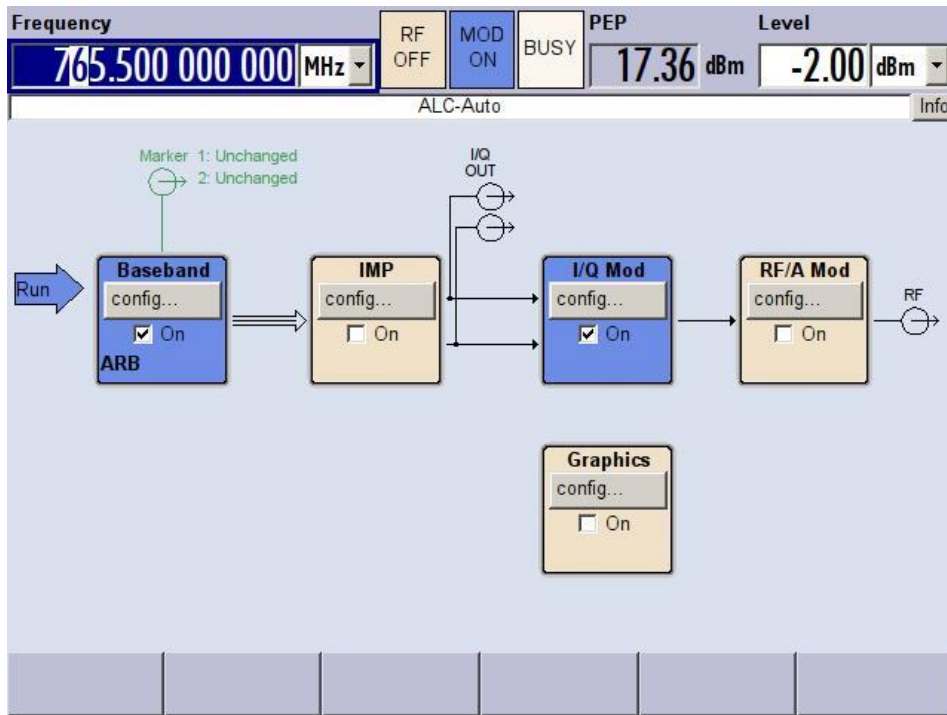


Figura 30 – Tela do gerador com campo para configurar a frequência.

2.4 Sistemas de medição

As medições de potência de canal e ACLR foram realizadas utilizando o Analisador de Espectro de Tempo Real FVSR da Rohde & Schwarz. A seguir são apresentadas as configurações utilizadas para as várias medições realizadas.

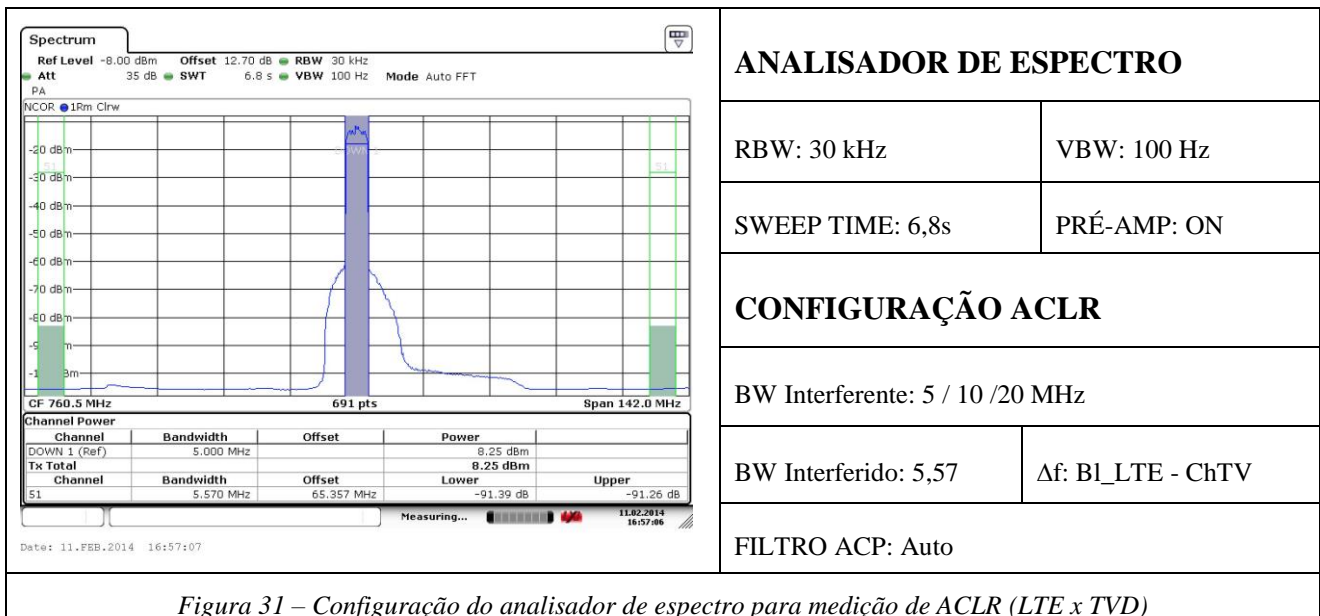
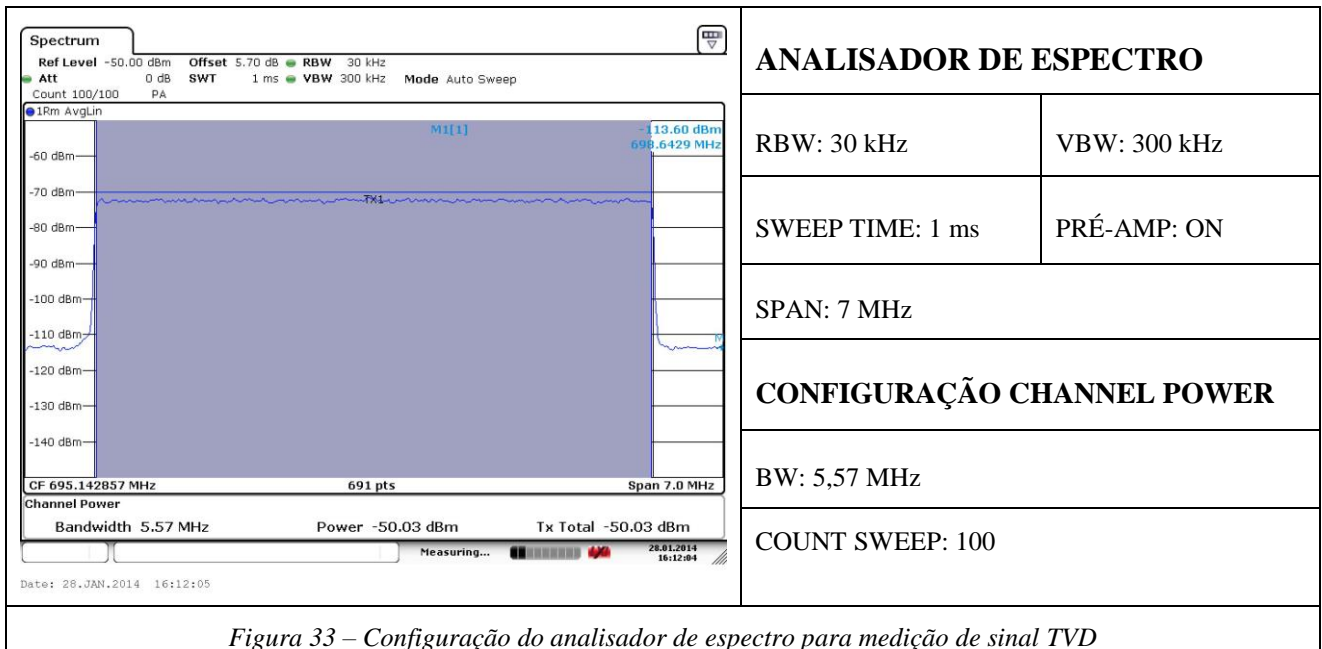
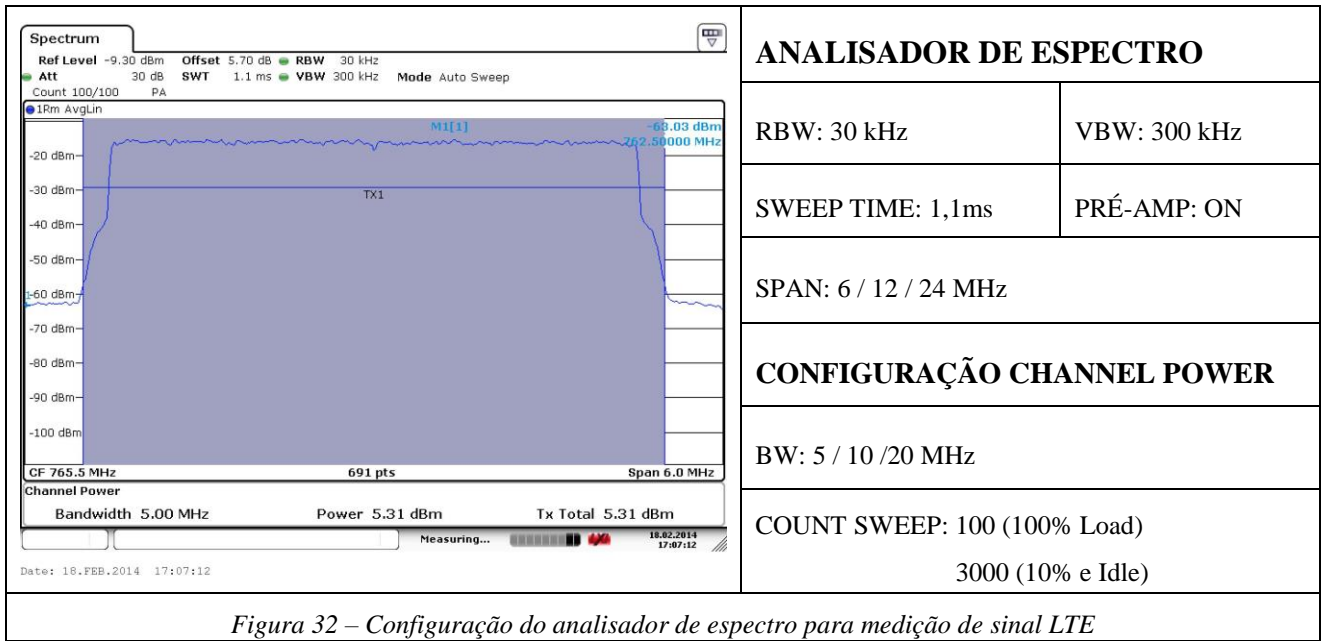


Figura 31 – Configuração do analisador de espectro para medição de ACLR (LTE x TVD)



2.5 Receptores utilizados

Para realização dos testes foram utilizados 5 receptores, sendo 4 com a tecnologia *Silicon Tuner* e 1 *Can Tuner*. Um dos receptores *Silicon Tuner* apresenta tecnologia *One-seg*. A *Tabela 6* apresenta as características dos receptores:

Receptor	Rx1	Rx2	Rx3	Rx4	Rx5
Sintonizador	Silicon	Silicon	Silicon	Can	Silicon
Sensibilidade	64QAM -83dBm	64QAM -83dBm	64QAM -81dBm	64QAM -77dBm	QPSK -94 dBm
	16QAM -87dBm	16QAM -87dBm	16QAM -85dBm	16QAM -82dBm	
Receptor	iDTV	STB	STB	STB	Portátil
Ano	2009	2014	2013	2009	2010
Interface	-	HDMI	A/V	HDMI	A/V

Tabela 6 – Identificação de receptores

2.6 Cenário de Testes

Os testes objetivaram avaliar a interferência entre o sistema LTE e o SBTVD, considerando a interferência de downlink (ERB - Terminal), e interferência de uplink (Terminal - ERB). Os testes simulam o sinal eventualmente interferente LTE no conector do receptor de ISDB-T, permitindo que estes dados sejam extrapolados para a condição de recepção com antena interna ou externa. A *Figura 35* apresenta a condição típica da ocorrência das interferências.

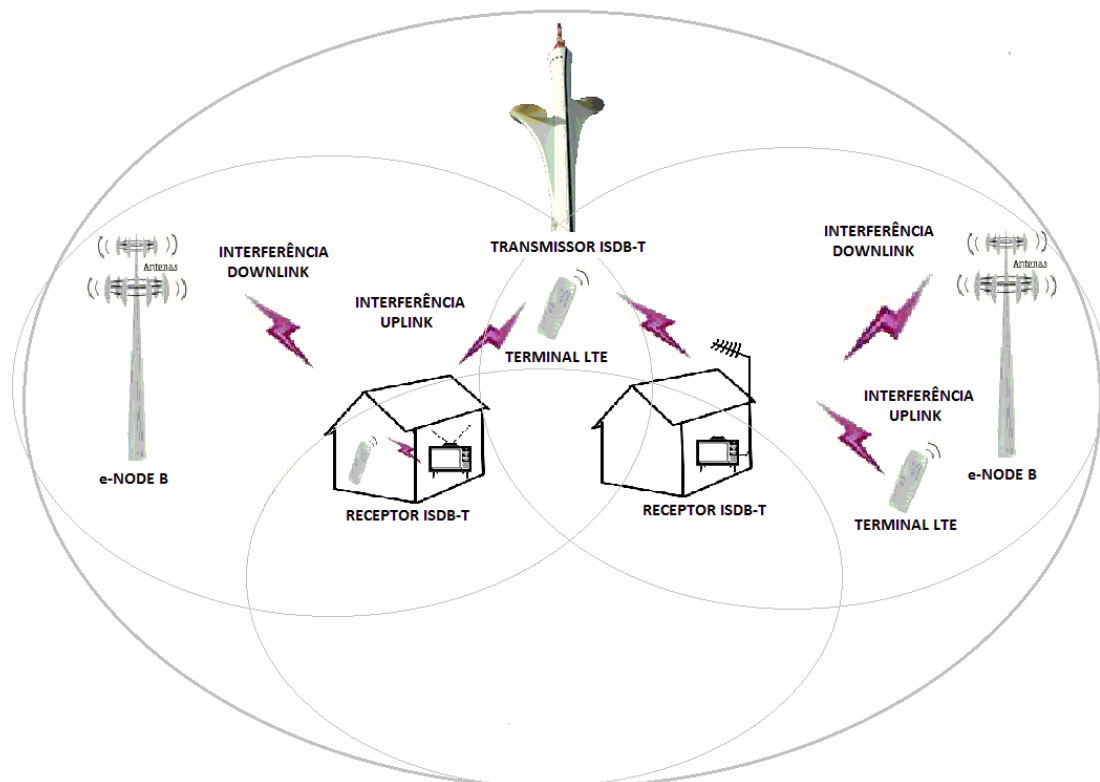


Figura 34 – Condição típica de interferência de LTE na Recepção ISDB-T

Considerando o arranjo de frequências definido pelo Anexo à Resolução 625/2013 para a utilização da faixa de 700 MHz para o SMP e a canalização do Sistema Brasileiro de Televisão Digital definido pelo Anexo à Resolução 583/2012, apresentamos a seguir o arranjo de frequência adotado para a realização dos testes de interferência de canal adjacente e frequência imagem.

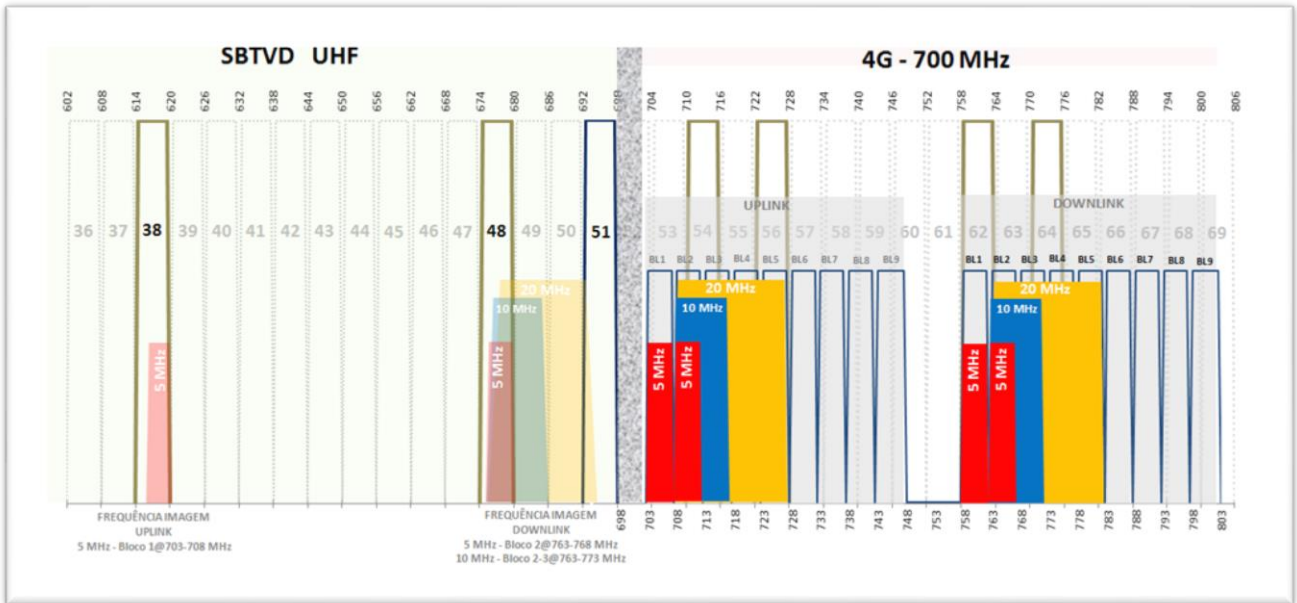


Figura 35 – Arranjo de canais utilizados para os testes de canal adjacente e canal imagem

A *Tabela 7* apresenta o arranjo dos canais utilizados nos testes de interferência, bem como a largura de canal e deslocamento de frequência.

SINAL INTERFERIDO	SINAL INTERFERENTE	Δf Central [MHz]	Δf Borda [MHz]	
Frequência Imagem CANAL 38 @617,142856 MHz (614 à 620 MHz)	UPLINK	BL1 (5MHz) @705,5 MHz (703-708)	88,35714	83
		BL2 (5MHz) @710,5 MHz (708-713)	93,35714	88
		BL2-3 (10MHz) @713 MHz (708-718)	95,85714	88
		BL2-5 (20MHz) @718 MHz (708-728)	100,85714	88
Canal Adjacente CANAL 51 @695,142856 MHz (692 à 698 MHz)		BL1 (5MHz) @705,5 MHz (703-708)	10,35714	5
		BL2 (5MHz) @710,5 MHz (708-713)	15,35714	10
		BL2-3 (10MHz) @713 MHz (708-718)	17,85714	10
		BL2-5 (20MHz) @718 MHz (708-728)	22,85714	10
Frequência Imagem CANAL 48 @677,142856 MHz (674 à 680 MHz)	DOWNLINK	BL1 (5MHz) @760,5 MHz (758-763)	83,35714	78
		BL2 (5MHz) @765,5 MHz (763-768)	88,35714	83
		BL2-3 (10MHz) @768 MHz (763-773)	90,85714	83
		BL2-5 (20MHz) @768 MHz (763-783)	95,85714	83
Canal Adjacente CANAL 51 @695,142856 MHz (692 à 698 MHz)		BL1 (5MHz) @760,5 MHz (758-763)	65,35714	60
		BL2 (5MHz) @765,5 MHz (763-768)	70,35714	65
		BL2-3 (10MHz) @768 MHz (763-773)	72,85714	65
		BL2-5 (20MHz) @768 MHz (763-783)	77,85714	65

Tabela 7 – Arranjo dos canais, larguras e deslocamentos

Para avaliação de interferência de co-canal foi adotado o arranjo apresentado na *Figura 36* e *Tabela 8*.

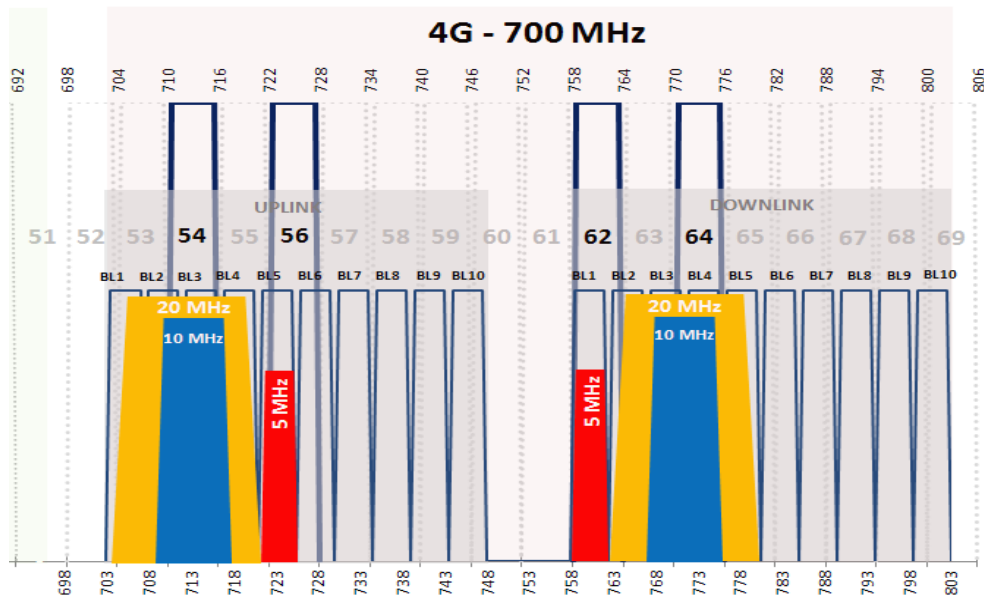


Figura 36 – Arranjo de canais utilizados para os testes co-canal

SINAL INTERFERIDO	SINAL INTERFERENTE	
CANAL 56 @725,142856 MHz (722 à 728 MHz)	UPLINK	BL5 (5MHz) @725,5 MHz (723-728)
CANAL 54 @713,142856 MHz (710 à 716 MHz)		BL2-3 (10MHz) @713 MHz (708-718) BL2-5 (20MHz) @713 MHz (703-723)
CANAL 62 @761,142856 MHz (758 à 764 MHz)	DOWNLINK	BL1 (5MHz) @760,5 MHz (758-763)
CANAL 64 @773,142856 MHz (770 à 776 MHz)		BL3-4 (10MHz) @773 MHz (768-778) BL2-5 (20MHz) @773 MHz (763-783)

Tabela 8 – Arranjo dos canais para testes de co-canal

2.7 Procedimento de Medição

2.7.1 Limiar de Recepção dos receptores

A fim de garantir o atendimento ao requisito normativo foi avaliado qual o nível mínimo de sinal de TVD recebido pelos receptores na condição de QEF, ou seja, Limiar de Recepção. Para tal foi adotado o seguinte procedimento:

- a) Foi ajustado o sinal de TVD para o canal 51 com nível de -74 dBm e modulação 64QAM;
- b) Foi ligado o sinal de TVD conforme configurado;
- c) Foi conferido o vídeo sendo exibido pelos receptores;
- d) O nível do sinal de TVD foi reduzido até que houvesse falha visível no vídeo, a partir desse ponto o nível foi aumentado até a estabilização da qualidade da imagem, sendo observada por 1 minuto.
- e) O nível foi conferido pelo analisador de espectro no modo de medição de potência de canal de TVD “Canal 51” e a tela foi salva;
- f) Os itens de a) à e) são repetidos para a modulação 16QAM;
- g) Os itens de a) à f) são repetidos para todos os receptores compatíveis com as modulações anteriores;
- h) Os itens a) à e) são repetidos para a modulação QPSK para o receptor *One-Seg*.

2.7.2 Determinação de receptor *Can-Tuner*

Os receptores *can tuner* apresentam degradações mais significativas para os canais imagens devido à arquitetura de conversão de frequência super-heteródina tradicional, com FI de 44 MHz. As mesmas degradações não são percebidas nos receptores *silicon tuner*, pois possuem características diferenciadas no circuito eletrônico de recepção, inclusive os sintonizadores mais atuais aplicam recepção homódina, sendo totalmente imunes ao canal imagem.

A determinação se um receptor utiliza a tecnologia *can tuner* é comprovada, além da visualização dos componentes discretos, pela geração de sinais na frequência imagem e observação da degradação. Considerando a FI de 44 MHz pode-se generalizar considerando que qualquer sinal com frequência igual à soma da frequência do canal de TV mais 88 MHz é uma “imagem” do canal de TV em questão. Dessa forma, como no arranjo de frequências considerado para a operação LTE na faixa de 700 MHz os sinais de *uplink* ocupam de 703 a 748 MHz e os sinais de *downlink* ocupam de 758 a 803 MHz, haverá possibilidade de interferência por frequência imagem do uplink nos canais de 38 a 45 e, do *downlink*, nos canais de 47 a 51.

Considerando os blocos iniciais da faixa LTE, bloco 1 uplink, 703 a 708 MHz e bloco 2 downlink, 763 à 768 MHz, tem-se respectivamente os canais imagem 38@617,15 MHz (*Cima* = 705,5 – 88) e 48@677,15 MHz (*Cima* = 760,5 – 88).

A seguir é detalhado o procedimento para determinação do receptor *can tuner*.

- a) Foi ajustado o sinal de TVD para o canal 38.
- b) Foi ajustado o sinal LTE para o bloco 1 do uplink, com 100% de carregamento.
- c) Ajustou-se o sinal de TVD para que a potência na entrada de sinal do receptor de TV fosse igual a -74 dBm.
- d) Diminuindo a atenuação do caminho de geração de LTE aumentou-se o nível do sinal interferente em passos de 1 dB, até observar a degradação na qualidade da imagem reproduzida.
- e) O item a) à d) foi repetido para o sinal de TVD no canal 48 com o sinal LTE ajustado para o bloco 2 do downlink.

2.7.3 ACLR da geração LTE

Avaliou-se o parâmetro ACLR (*Adjacent Channel Leakage Ratio*) do sistema de transmissão LTE, comparando as potências de LTE dos blocos 1 (5 MHz), 2 (5 MHz), 2 e 3 (10 MHz) e 2 a 5 (20 MHz), uplink e downlink, em todas as condições de carregamento utilizadas, com a potência das emissões indesejáveis sobre os canais de TV utilizados (38, 48 e 51).

Para realização da avaliação de LTE foi utilizada a função de medição de ACLR do analisador de espectro, conforme apresentado na Figura 36.

Com o objetivo de padronizar as medições a partir de uma referência foi utilizado o mesmo setup da figura 36.

- Foi ajustado o sinal LTE para o bloco 1 do uplink, com 100% de carregamento.
- O setup de medição de ACLR no analisador foi selecionado através da função “recall”.
- Os atenuadores foram zerados a fim de gerar a máxima potência de sinal LTE.
- Após a medição realizada pela espectro a tela foi salva através da função “screen shot”

Considerando que os geradores utilizados em bancada, utilizados conjuntamente com filtros, fornecem sinais de alta qualidade, com baixos níveis de emissões fora de faixa e de espúrios, isto é, bons níveis de ACLR, teremos valores para estes acima de 70 dB, para canais adjacentes. Esses níveis podem ser encontrados em equipamentos comerciais, porém são melhores do que os níveis definidos por regulamentação.

2.7.4 Nível Max do LTE

Considerando a necessidade de se traçar as curvas de respostas C x I e correlacioná-las com os resultados constantes do Relatório ITU-R BT.2215, o sistema de geração LTE foi configurado para gerar níveis da ordem de 10 dBm. Por outro lado, com o propósito de se garantir a qualidade desta geração foi realizada avaliação paramétrica do sistema de geração LTE. Considerando o setup apresentado na figura 2, foi utilizado um filtro passa faixa e um amplificador de RF, com o objetivo de melhorar a resposta do sistema de geração. Dessa forma o nível a ser configurado no gerador de LTE para a máxima geração era de -2 dBm, alcançando-se níveis da ordem de 8 dBm. A partir do nível máximo do gerador foram realizadas medições espectrais de harmônicos, ACLR e nível máximo de LTE.

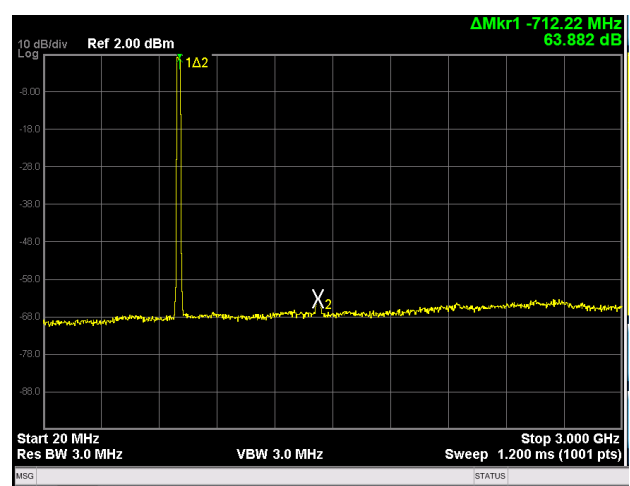
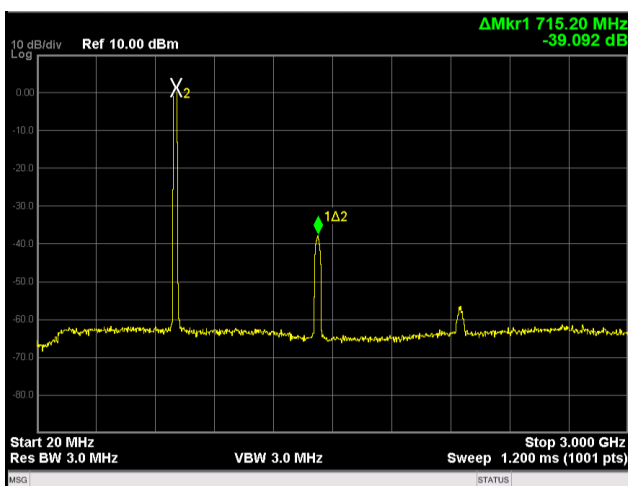


Figura 37 – Resposta do filtro para redução de harmônicos de geração de LTE



Figura 38 – Nível máximo de geração LTE – Uplink e Downlink

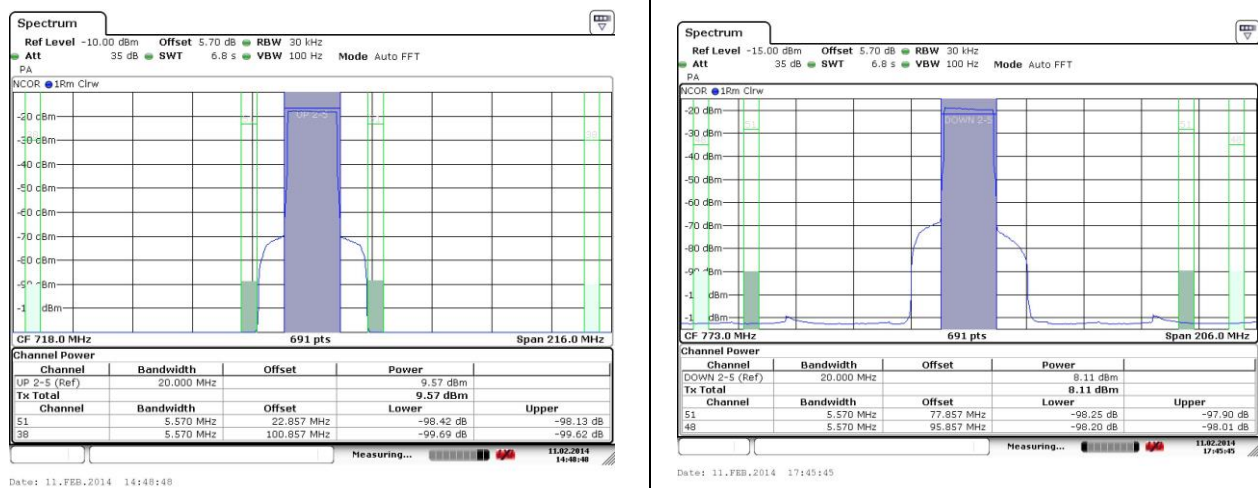


Figura 39 – ACLR LTE-TVD – Uplink e Downlink

2.7.5 Limiar de Visibilidade de Canal Adjacente 51 e Frequência Imagem 38 e 48

- Foi ajustado o sinal de TVD para o canal 51 com nível de -74 dBm e modulação 64QAM;
- Foi ligado o sinal de TVD conforme configurado;
- Foi conferido o vídeo sendo executado pelos receptores;
- O nível foi conferido pelo analisador de espectro no modo de medição de potência de canal de TVD “Canal 51”
- Foi ajustado o sinal LTE para o Bloco 1 do uplink (705,5 MHz), potência máxima (-2 dBm no gerador), com 100% de carregamento, todos os subframes ligados.
- Os atenuadores foram configurados para a máxima atenuação.

- g) O sinal LTE foi ligado.
- h) O nível do sinal LTE foi ajustado (reduzindo a atenuação) até que houvesse falha visível no vídeo, a partir desse ponto a atenuação era aumentada em 1 dB e a imagem era observada por 1 minuto.
- i) O sinal de TVD era então desligado.
- j) O sinal de LTE era medido através da medição de LTE, pré configurada no analisador “Bloco 1).
- k) Os itens de a) à j) foram retidos para o nível de -70, -60, -50, -40, -30, -20 dBm para o ajuste do sinal de TV.
- l) Os itens de a) à k) foram repetidos para a modulação 16QAM e QPSK, esta última apenas para o receptor one-seg.
- m) Os itens de a) à l) foram repetidos para o carregamento de 10% (1 Subframe Ligado e os outros 9 desligados) do item e);
- n) Os itens de a) à m) foram repetidos para os blocos 2, 2-3 e 2-5 do uplink;
- o) Após ajuste do filtro passa faixa LTE para o downlink os itens de a) à n) foram repetidos para LTE downlink.
- p) O procedimento foi repetido em todos os receptores de TV (silicon tuners com canal 51 e can tuners com canal 38 no caso de interferência de uplink e 48 no caso de interferência de downlink) e também conforme a variação dos parâmetros de entrada:

A *Tabela 9* apresenta um resumo das medições realizadas:

SINAL INTERFERENTE			RECEPTOR	SINAL INTERFERIDO		
LINK	CARGA	BLOCO		CANAL	MODULAÇÃO	NÍVEL
UPLINK	10% e 100%	BL1 (5MHz)	RX3	38	16QAM 64QAM QPSK	-74
		BL2 (5MHz)	RX3	51		-70
		BL2-3 (10MHz)	RX1 RX2 RX4			-60
		BL2-5 (20MHz)	RX5			-50
						-40
						-30
						-20
DOWNLINK	Idle e 100%	BL1 (5MHz)	RX3	48	16QAM 64QAM QPSK	-74
		BL2 (5MHz)	RX3	51		-70
		BL2-3 (10MHz)	RX1 RX2 RX4			-60
		BL2-5 (20MHz)	RX5			-50
						-40
						-30
						-20

Tabela 9 – Medidas realizadas para o Canal Adjacente e Canal Imagem

2.7.6 Relação de Proteção Co-Canal

O procedimento anterior aplicado à avaliação da relação de proteção de canal adjacente foi repetido para avaliação de relação de proteção co-canal. Nesse caso, considerou-se apenas o sinal

de TV a -60 dBm (não existe Oth co-canal). Foi utilizada a seguinte combinação de canais de TV e blocos LTE: bloco 5 (5 MHz) do uplink com canal 56, blocos 2 e 3 (10 MHz) do uplink com canal 54, blocos 1 a 4 (20 MHz) do uplink com canal 54, bloco 6 (5 MHz) do downlink com canal 66, blocos 3 e 4 (10 MHz) com canal 64 e blocos 2 a 5 (20 MHz) com canal 64. Considerou-se os mesmos carregamentos utilizados anteriormente.

3 RESULTADOS

3.1 Apresentação dos Resultados

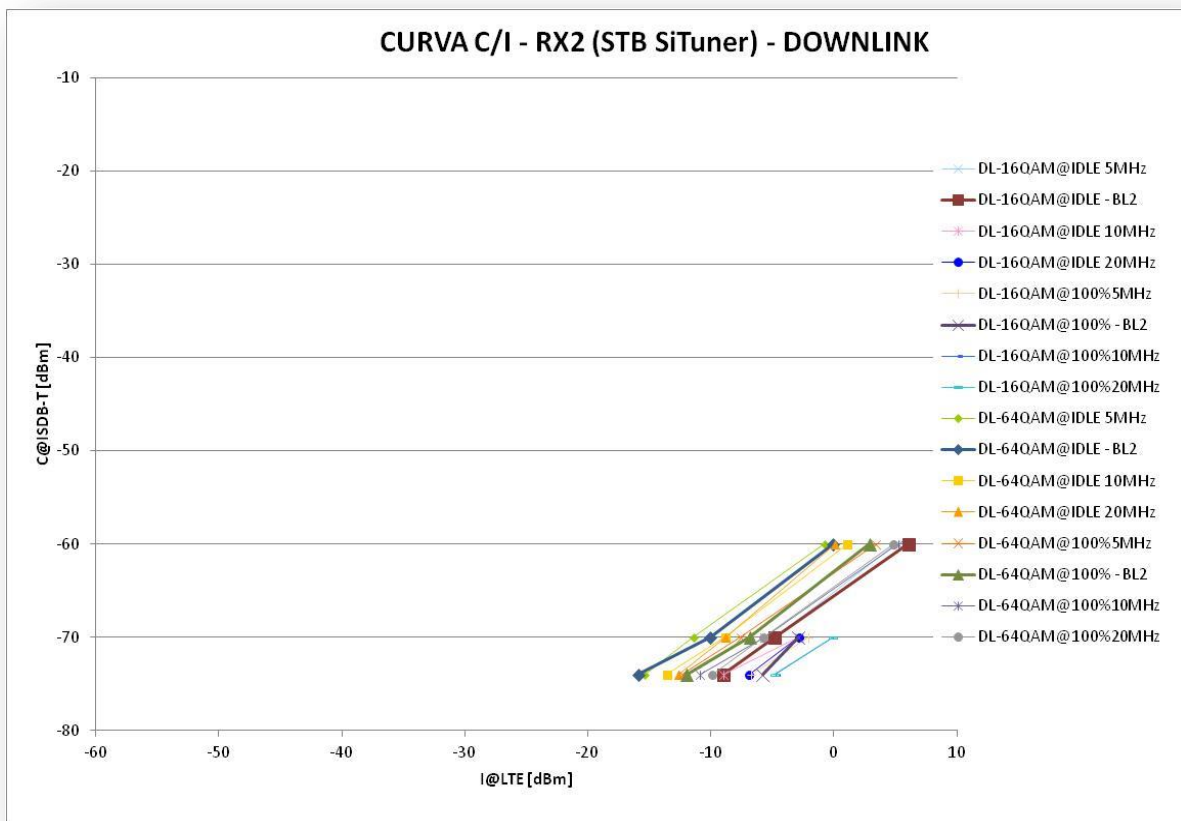
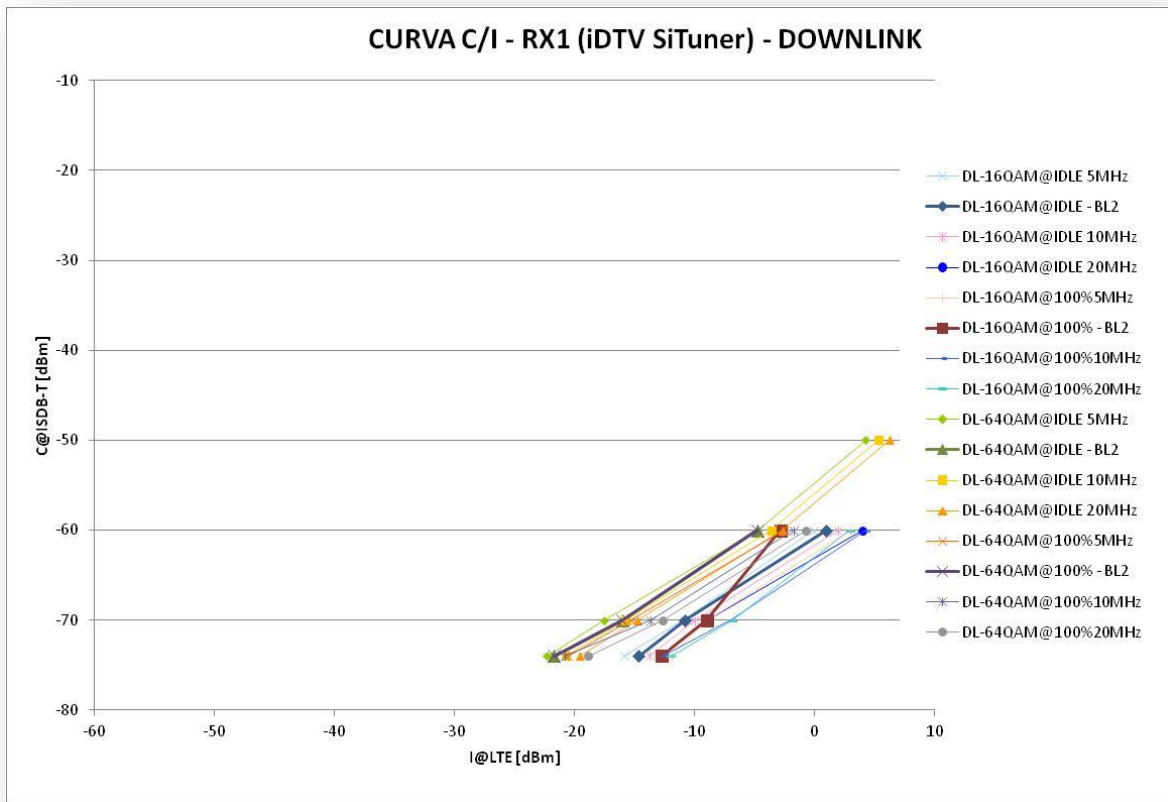
Os resultados são apresentados considerando as variáveis relevantes dos testes, como interferência de *downlink*, interferência de *uplink*, carregamento do sinal LTE, largura do sinal LTE, modulação do sinal de TV e receptor de TV. Os tipos de interferência prejudicial dos transmissores LTE operando na faixa de 698 MHz a 806 MHz na recepção do SBTVD tratados neste relatório são os seguintes:

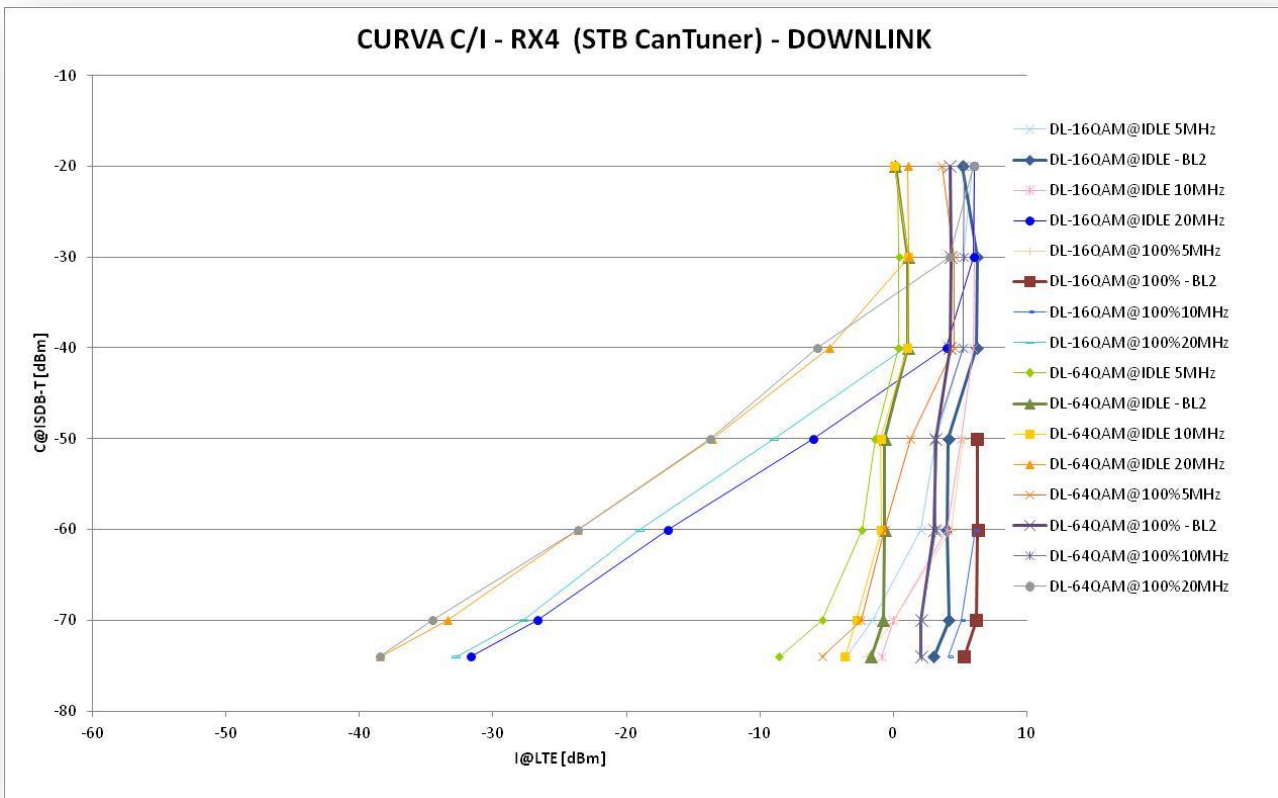
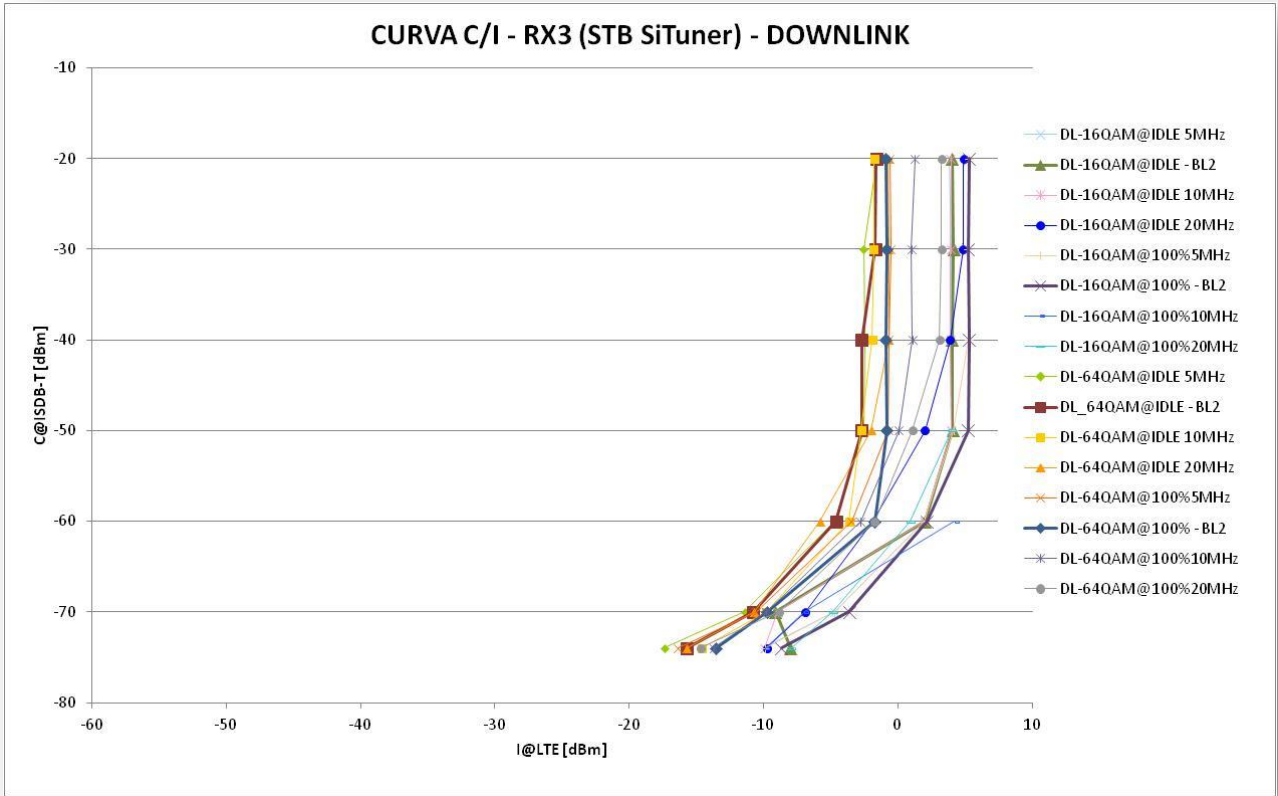
- I. Saturação da recepção: este tipo de interferência ocorre quando o nível do sinal interferente, gerado pelos transmissores dos sistemas de radiocomunicação operando na faixa de 698 MHz a 806 MHz é superior ao limiar de saturação do sistema de recepção de TV (receptor ou amplificador), impedindo-o de decodificar corretamente o sinal desejado;
- II. Degradação da recepção de TV devida ao comportamento instável do Controle Automático de Ganho (CAG) do receptor: este tipo de degradação pode ocorrer em alguns tipos de receptores pela característica do seu circuito de CAG, na presença de rápidas variações do nível do sinal dos sistemas de radiocomunicação operando na faixa de 698 MHz a 806 MHz;
- III. Interferência do Canal Imagem: este tipo de interferência ocorre principalmente em receptores de TV que utilizam sintonizadores super-heteródinos tradicionais (*can tuner*), e pode ocorrer quando a frequência do sinal indesejado é transladada para o estágio de FI do receptor. Também há casos desse fenômeno ocorrer em receptores com tecnologia mais atual (*silicon tuner*);
- IV. Interferência por Emissões Indesejáveis: este tipo de interferência é decorrente de emissões indesejáveis, na faixa de recepção do SBTVD, geradas pelos transmissores dos sistemas de radiocomunicação operando na faixa de 698 MHz a 806 MHz.
- V. Interferência por Limitação de Seletividade: este tipo de interferência é decorrente da limitação de desempenho da filtragem do receptor interferido em suprimir a energia recebida na faixa adjacente.

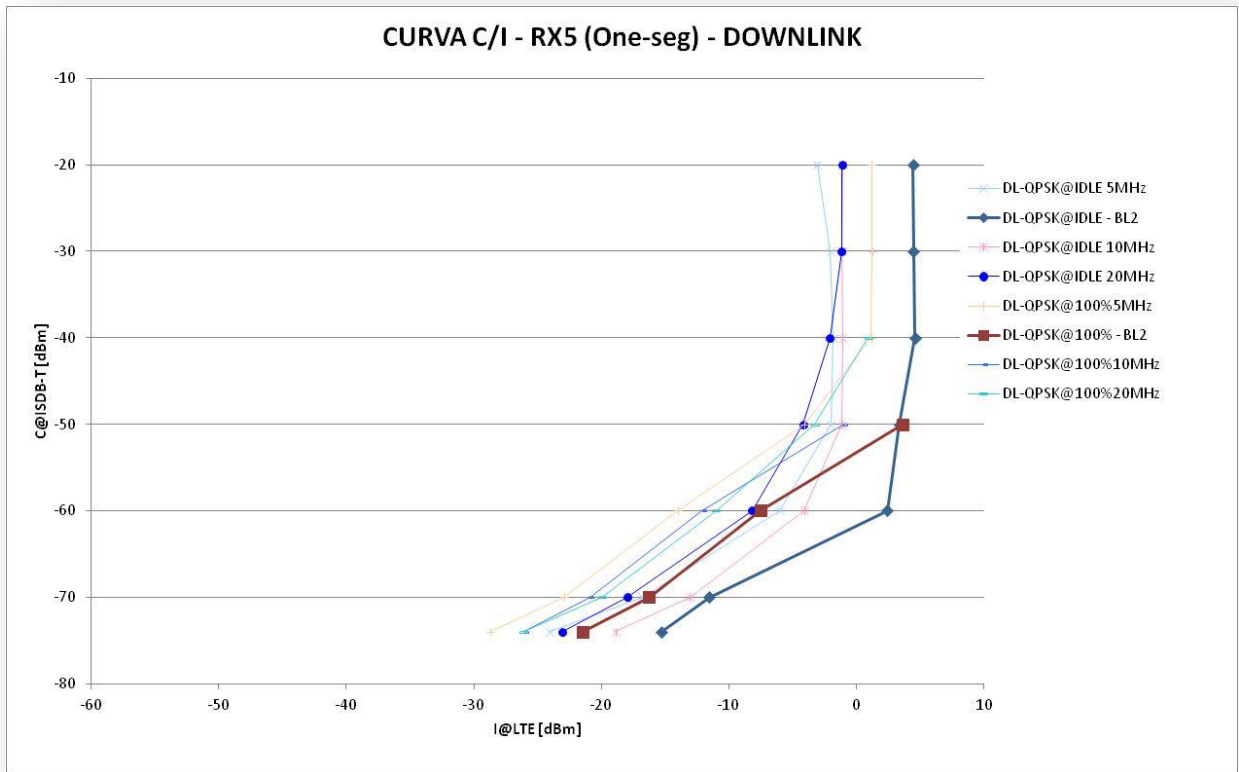
3.2 Curvas C x I

Através da curva C x I é possível avaliar o comportamento dos diferentes receptores destacando a diferença de resposta quanto ao carregamento do Sinal LTE, 10% ou 100%, bem como o esquema de modulação empregada no sistema.

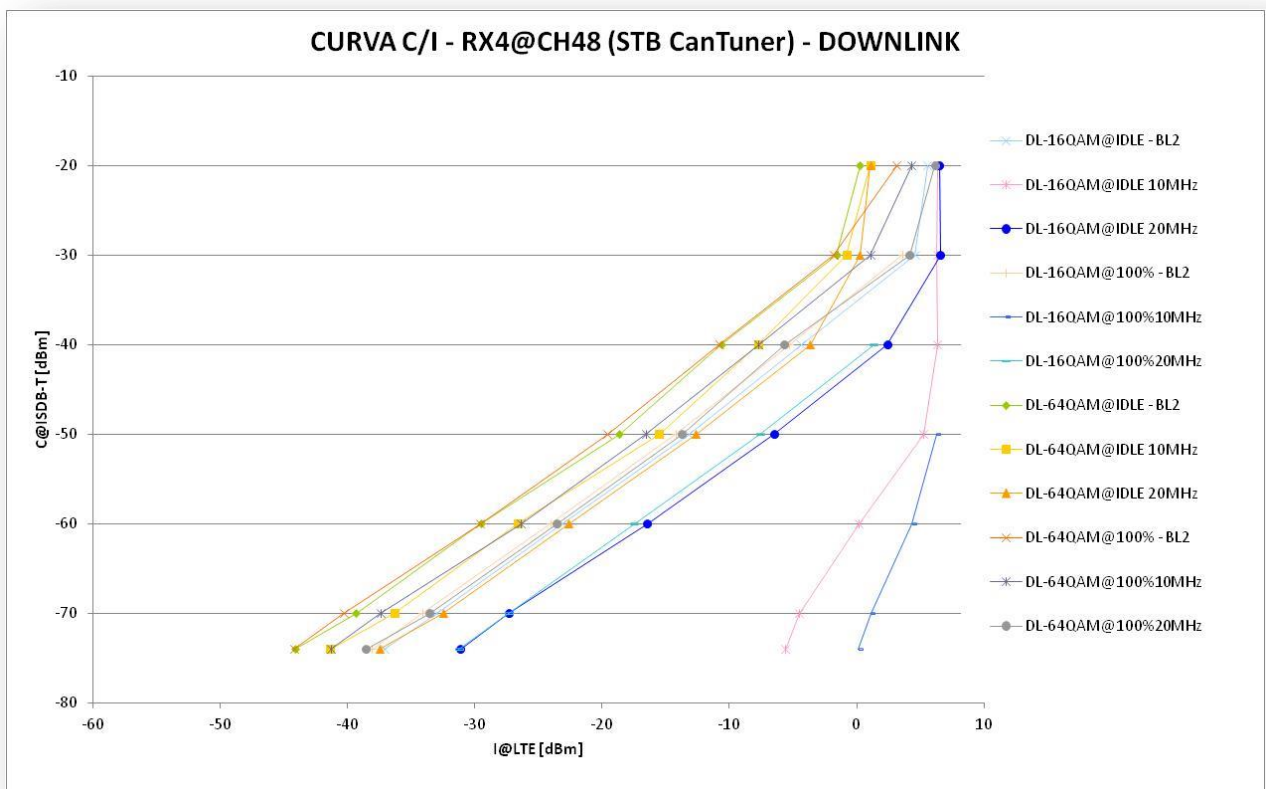
3.2.1 TVD no Canal 51 – Downlink



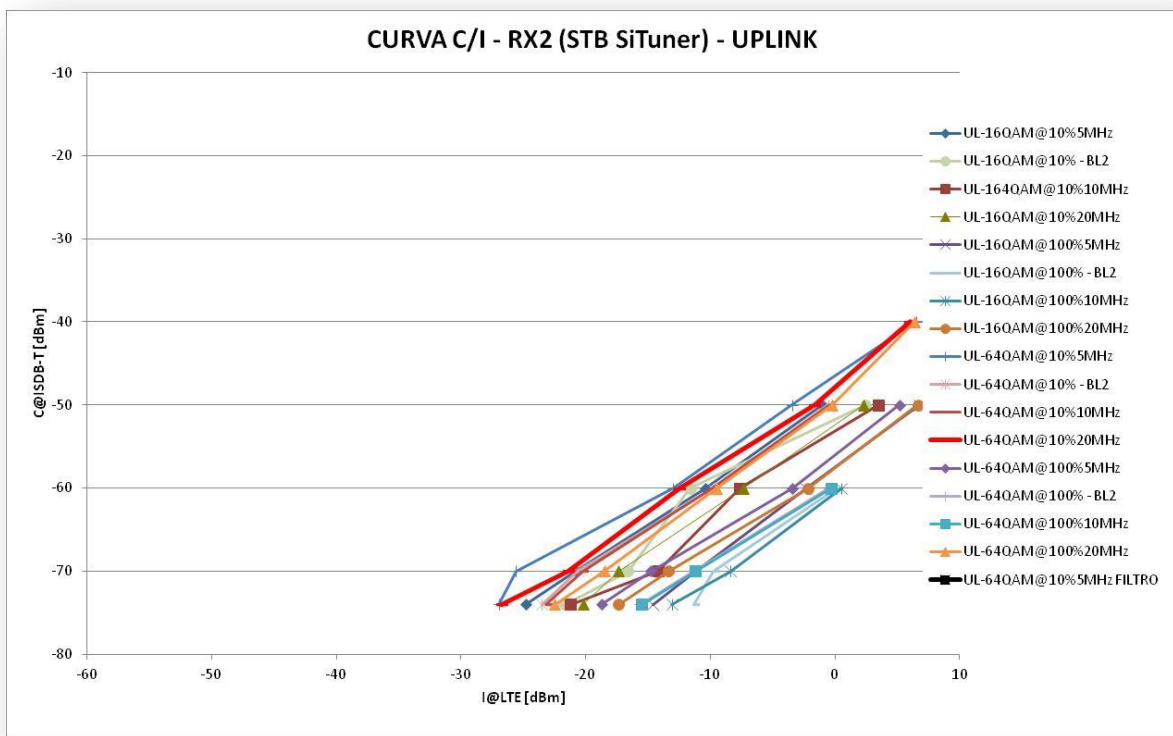
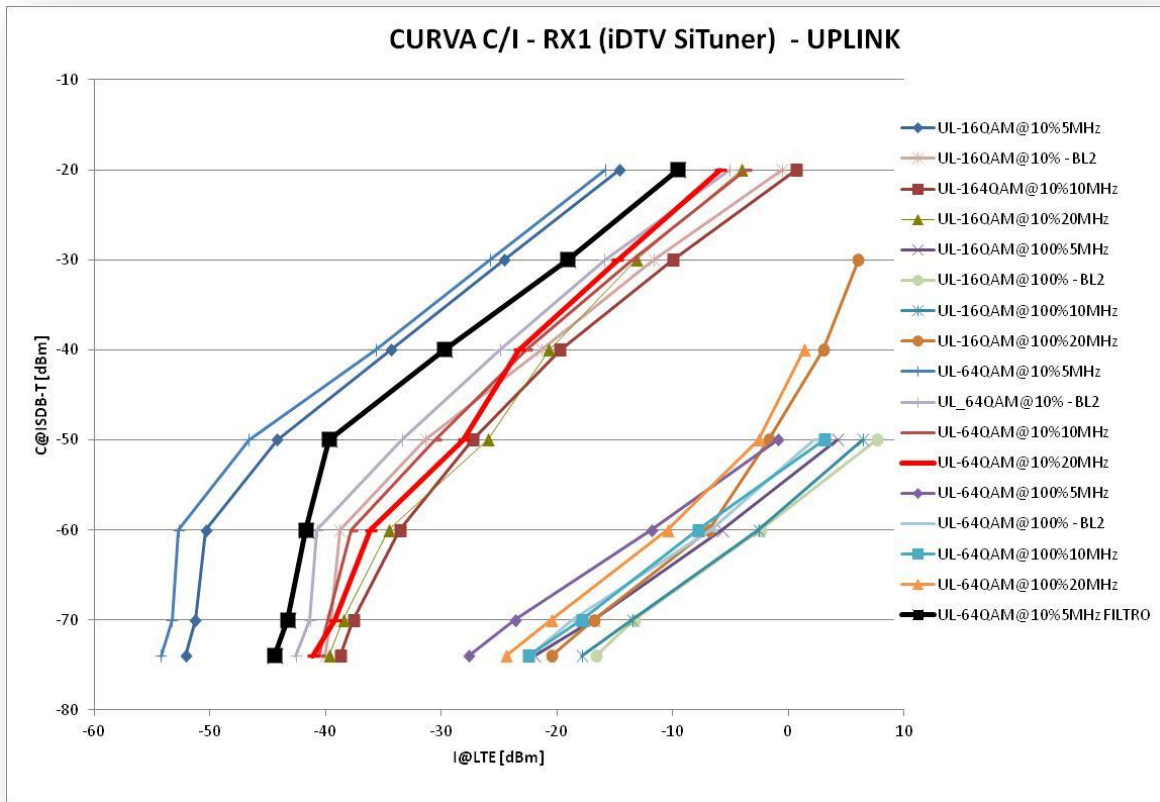


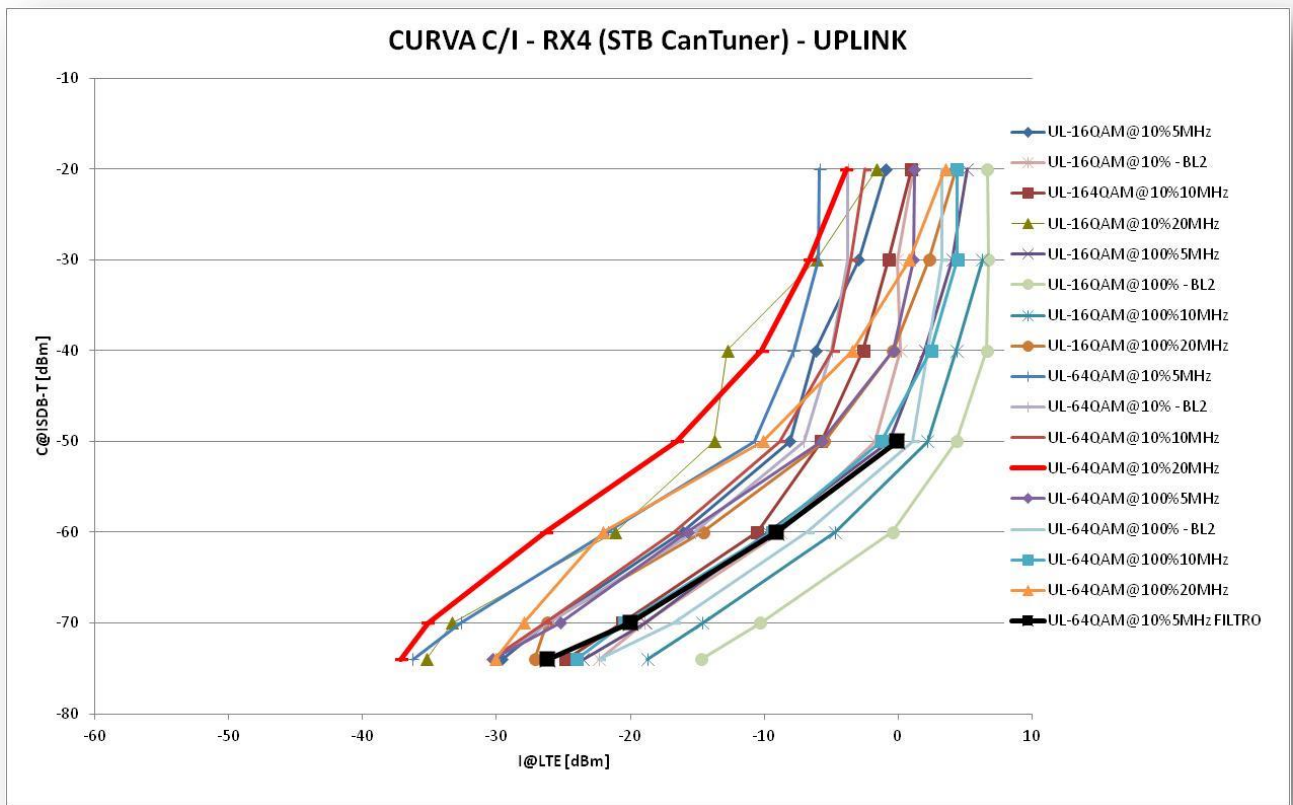
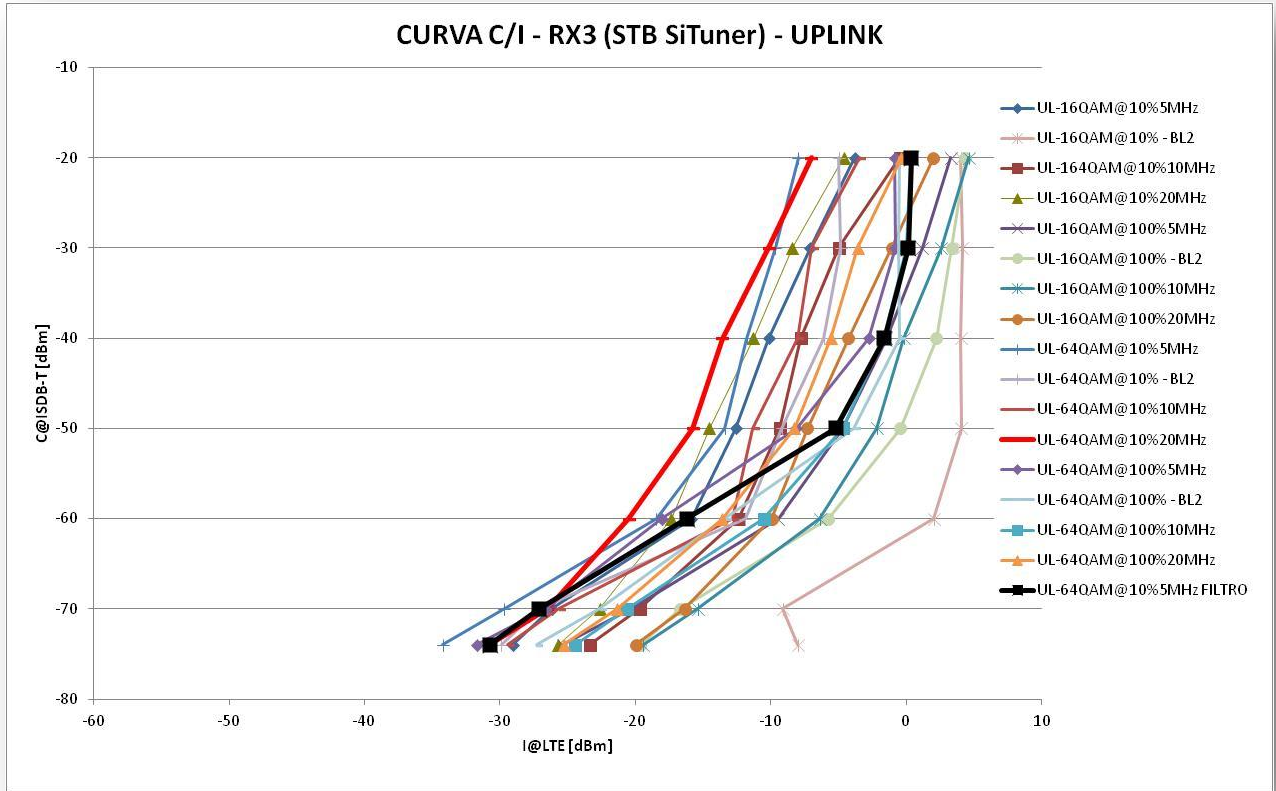


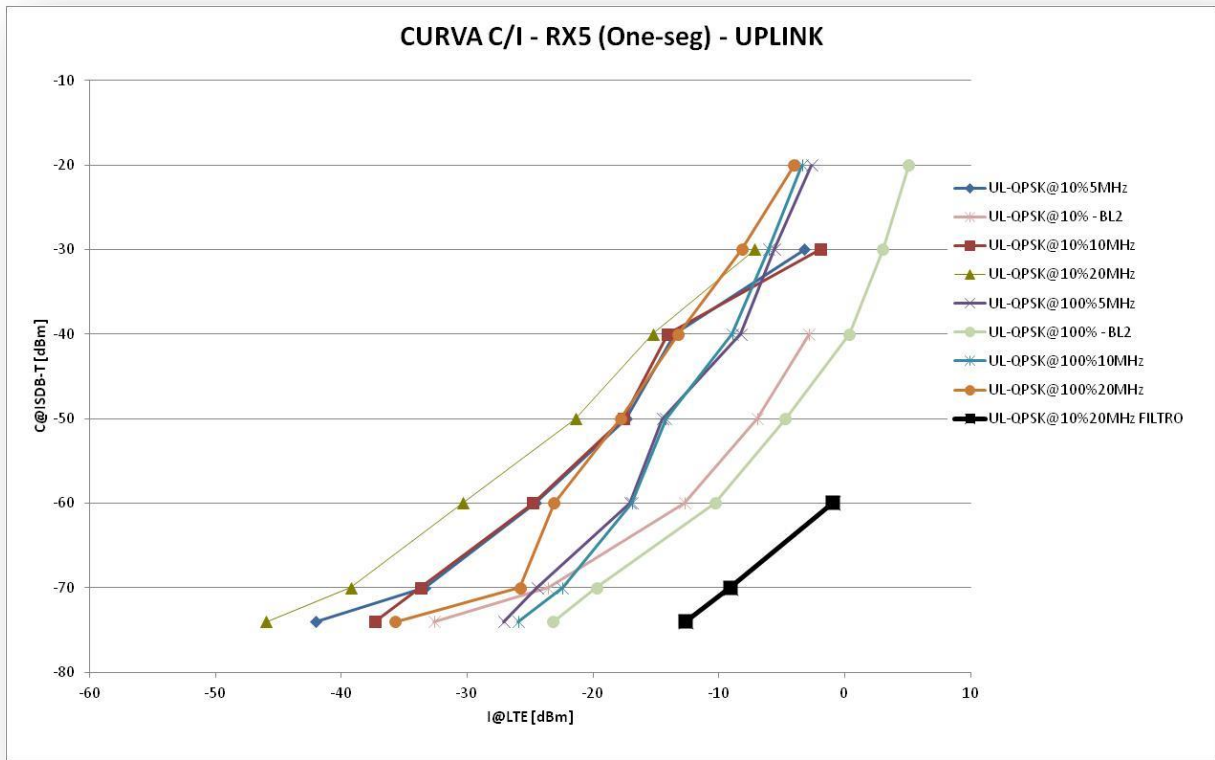
3.2.2 TVD no Canal 48 - Downlink



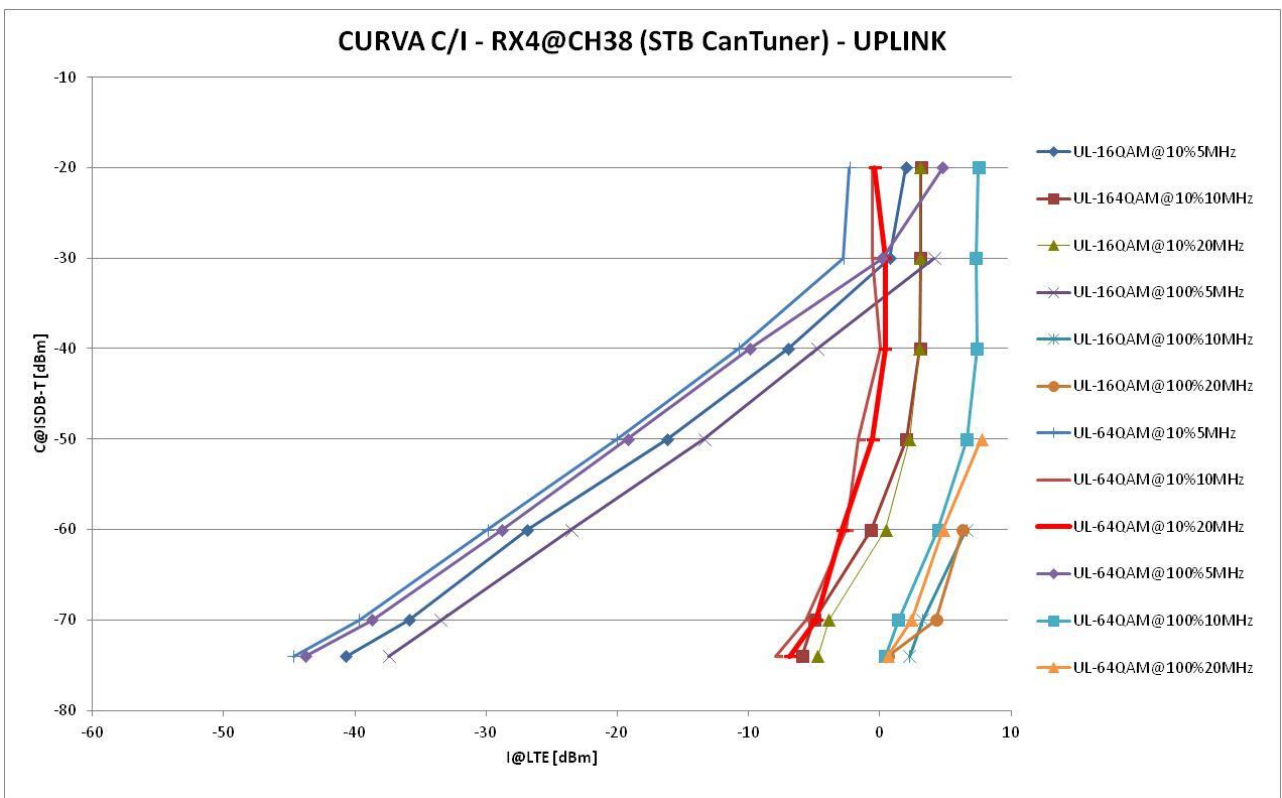
3.2.3 TVD no Canal 51 – Uplink







3.2.4 TVD no Canal 38 - Uplink



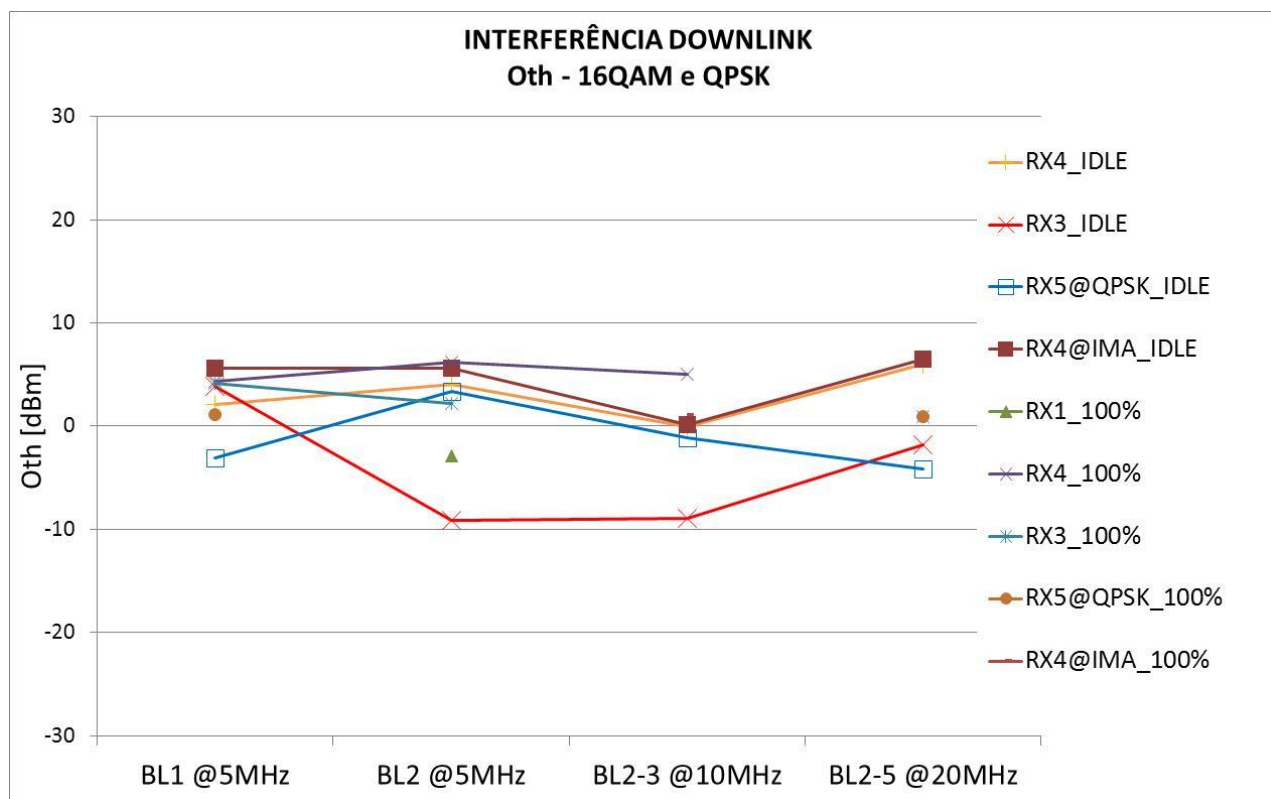
3.3 Curvas Oth

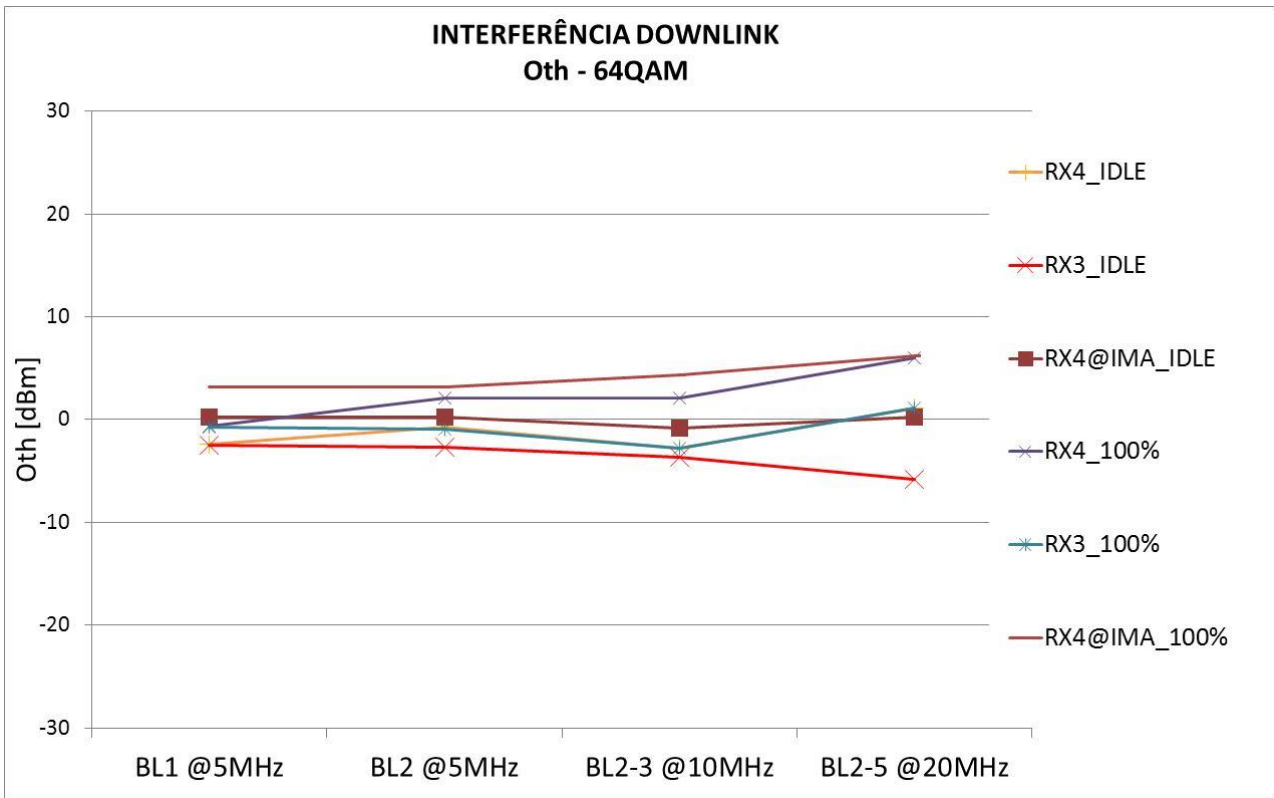
O Oth é o nível do sinal interferente expresso em dBm, acima do qual o receptor começa a perder a habilidade de se proteger contra sinais interferente que operam nas frequências diferentes do sinal desejado. Acima do Oth o receptor se comporta de forma não linear.

O valor de Oth foi obtido através do nível do sinal LTE interferente em que o PR desse canal deteriora em 3 dB ou mais a medida em que o sinal desejado de TV Digital é majorado. Considerou-se que um desvio de 1dB não seria adequado em função de variações devido a imprecisões contidas nas medições.

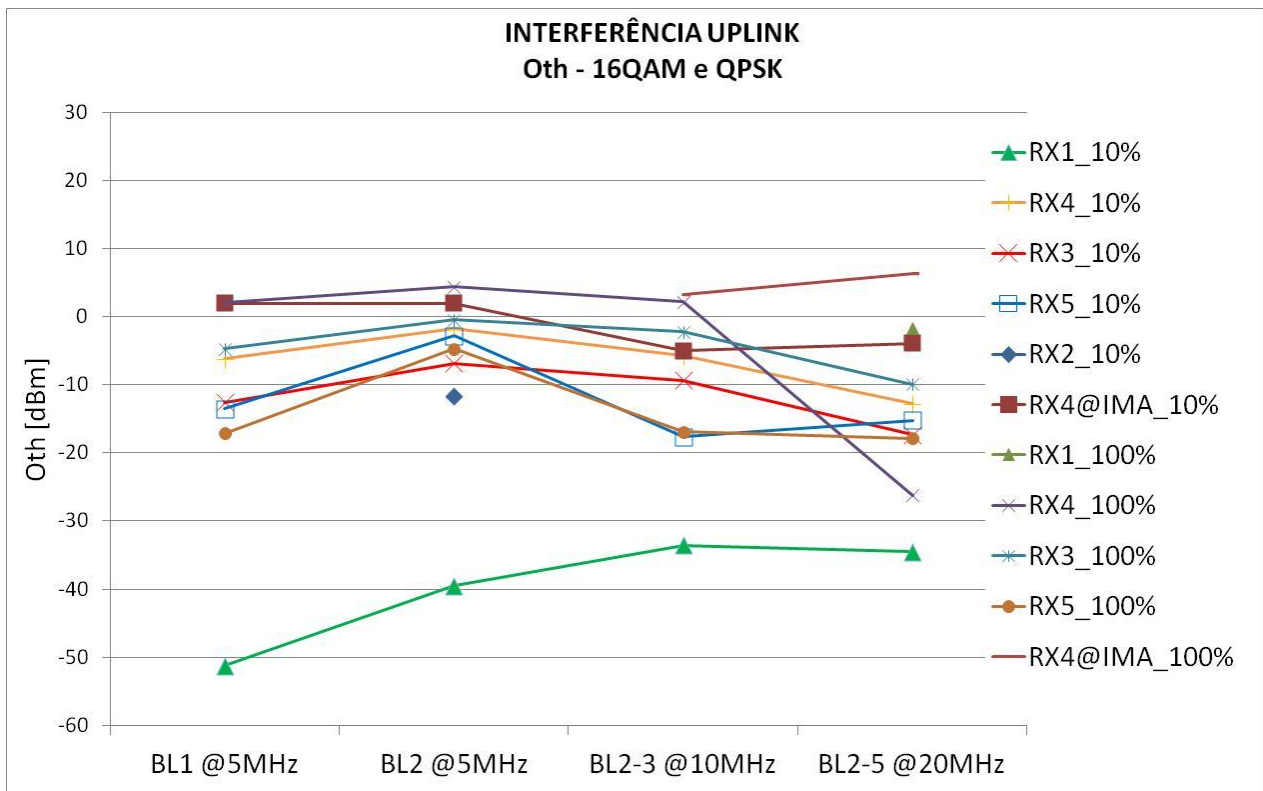
Obs.: Para os receptores que não constam nos gráficos, na condição do setup de teste, não foi possível observar o limiar de Saturação Oth.

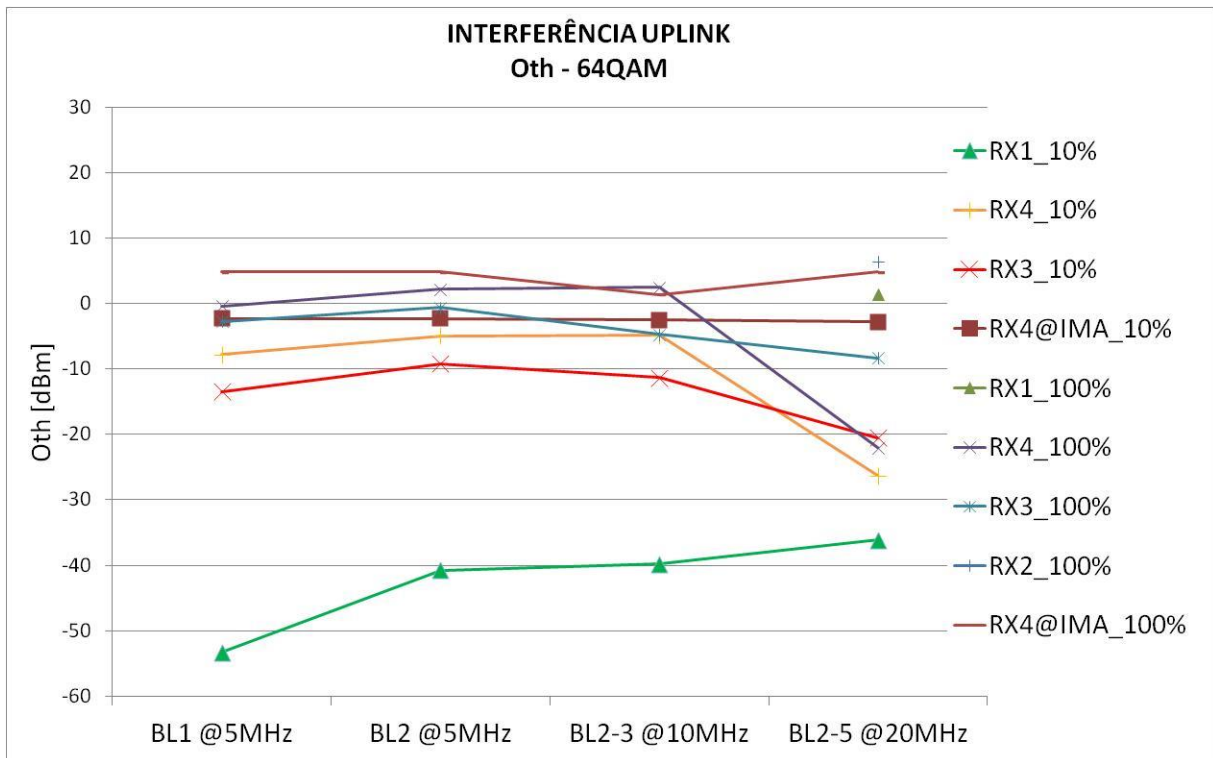
3.3.1 Oth - Downlink





3.3.2 Oth - Uplink





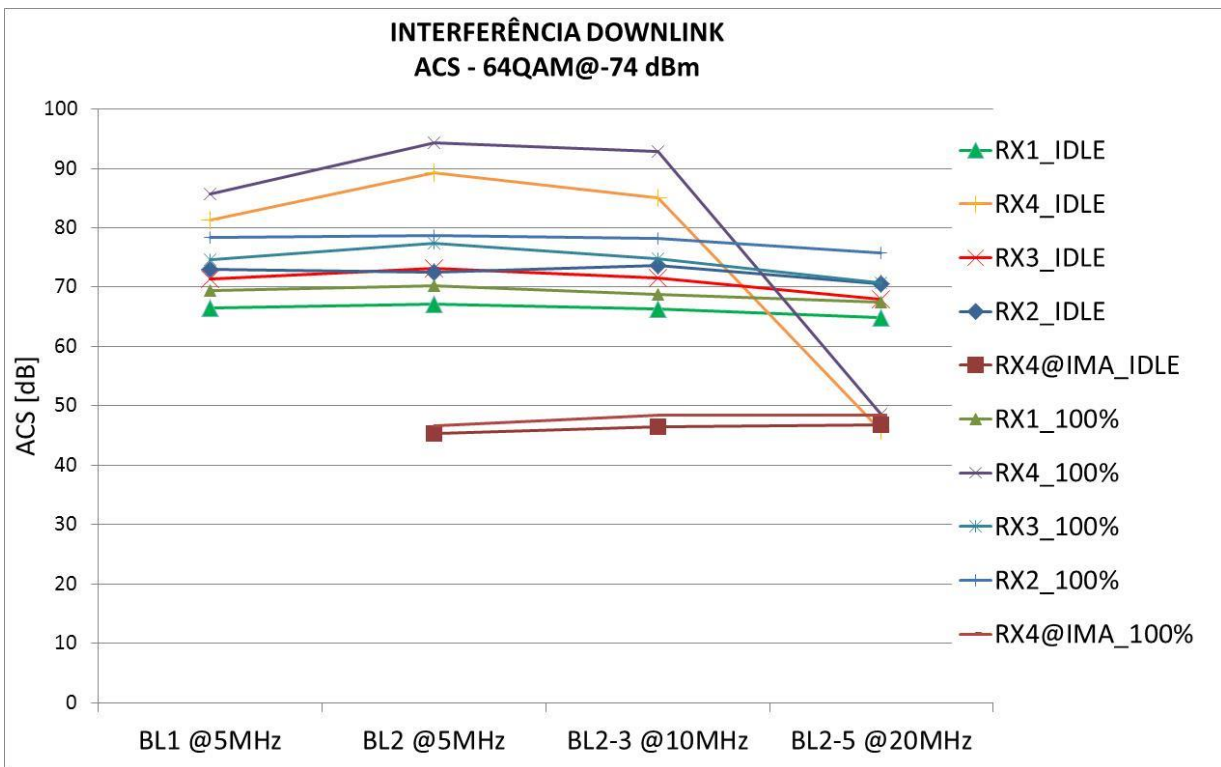
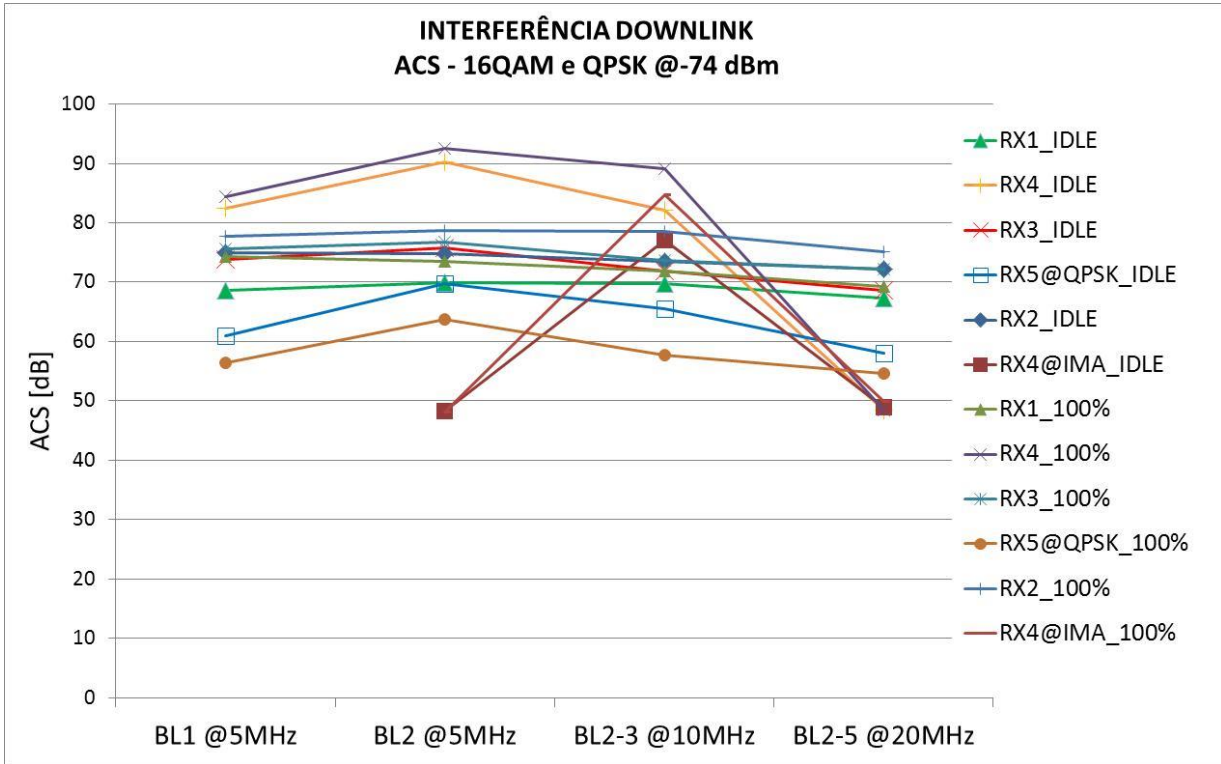
3.4 Curvas ACS (Seletividade de Canal Adjacente)

A Seletividade de Canal Adjacente (ACS) é um índice relativo à capacidade do receptor de receber a energia do canal e rejeitar interferências provenientes de frequências adjacentes.

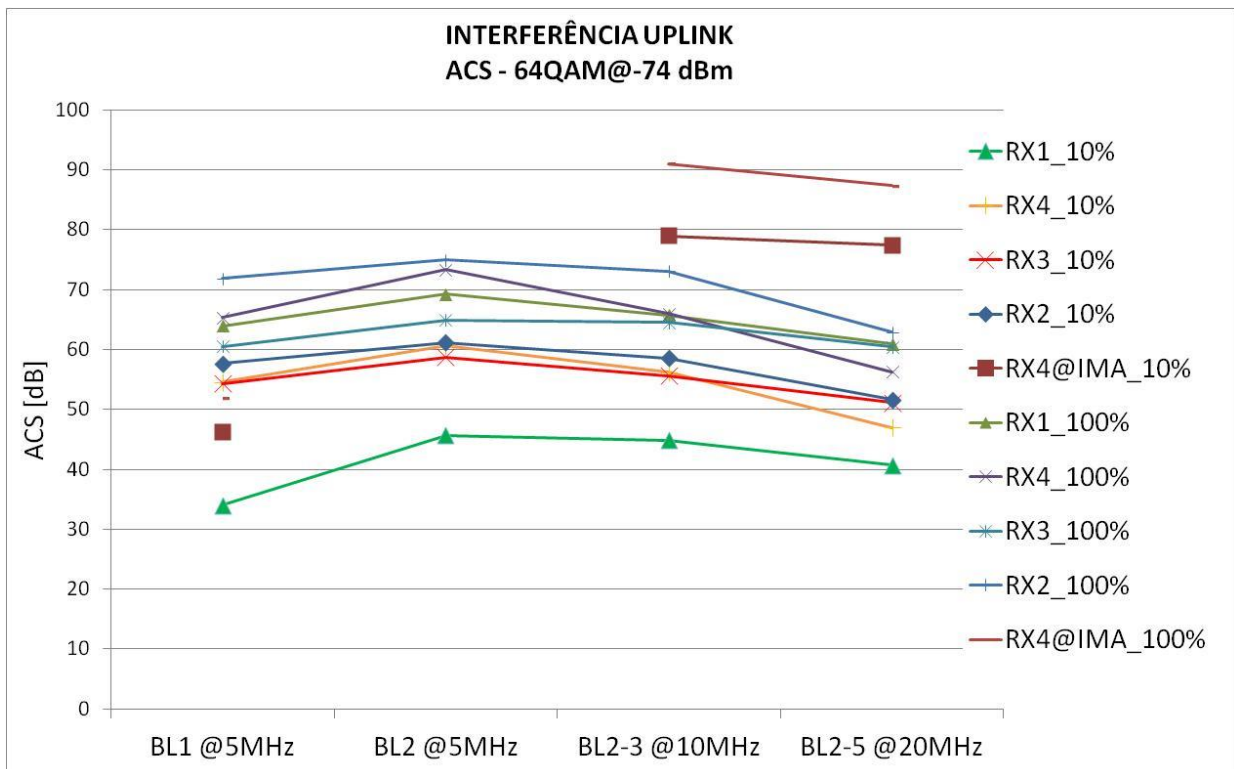
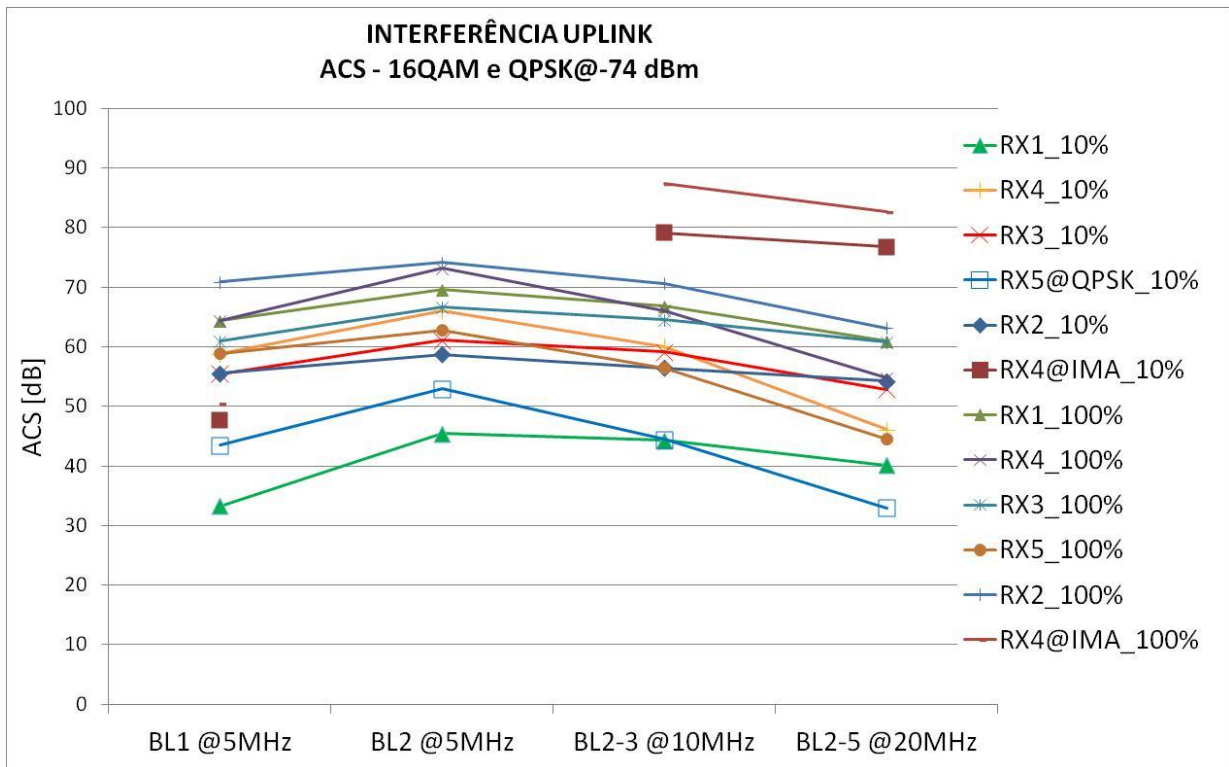
O valor de ACS foi calculado de acordo com a equação [1] conforme Anexo 2 da Recomendação ITU-R 1368-10, considerando as medidas de PR (Relação de Proteção), PR_0 (Relação de Proteção de Co-canal) e ACLR (Relação de vazamento de Canal Adjacente).

$$ACS = -10 \log \left(10^{-\left(\frac{PR_0 - PR}{10}\right)} - 10^{-\frac{ACLR}{10}} \right) \quad (1)$$

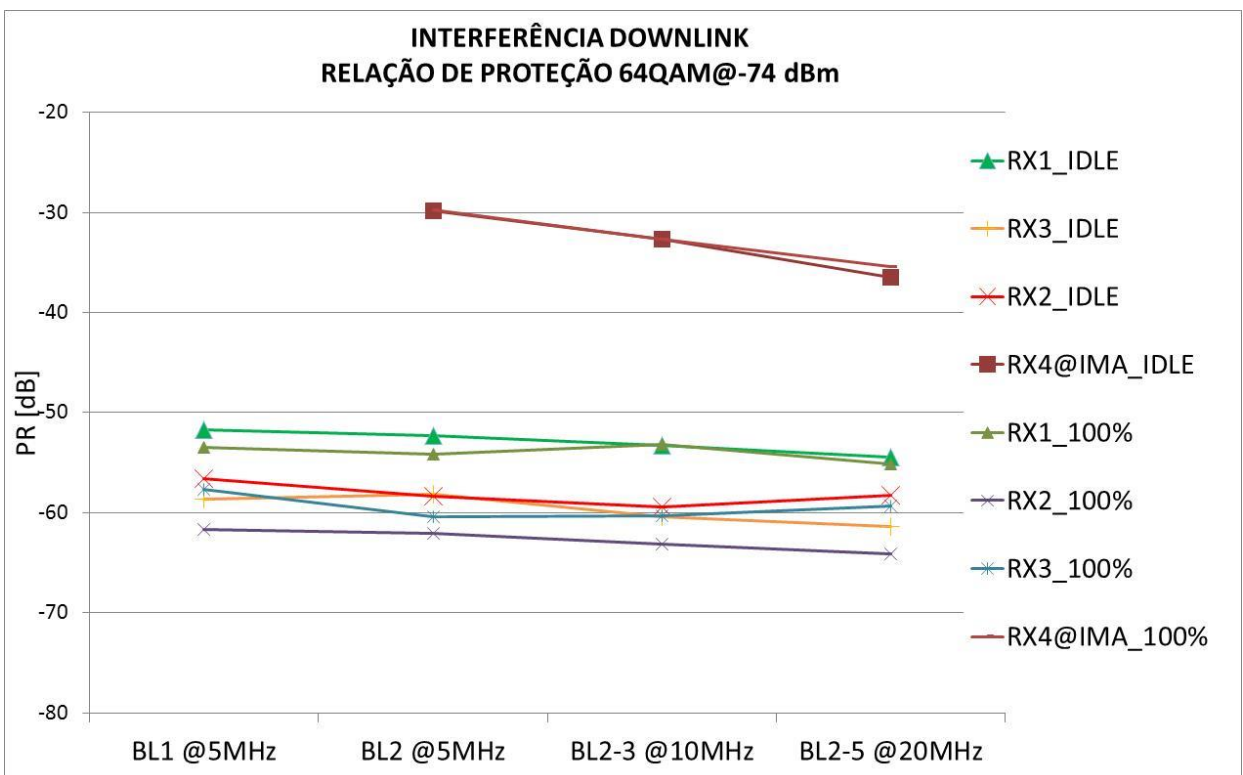
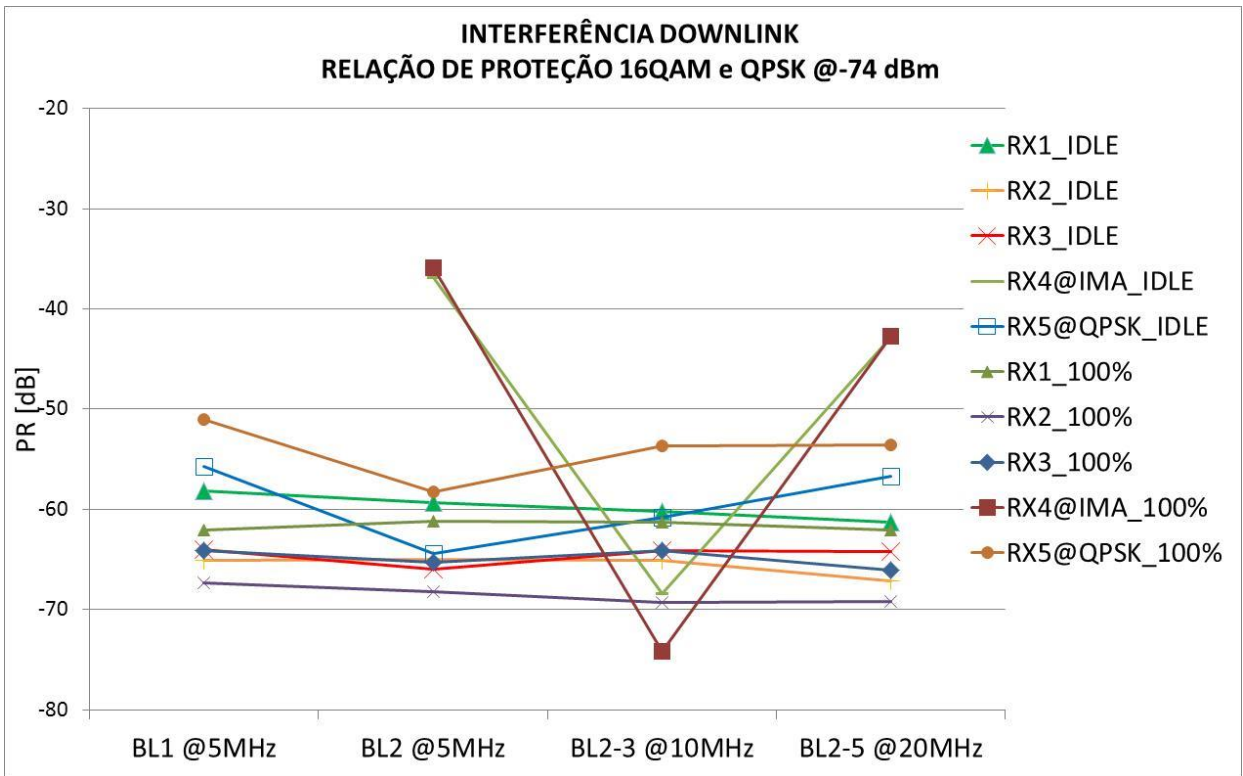
3.4.1 ACS - Downlink



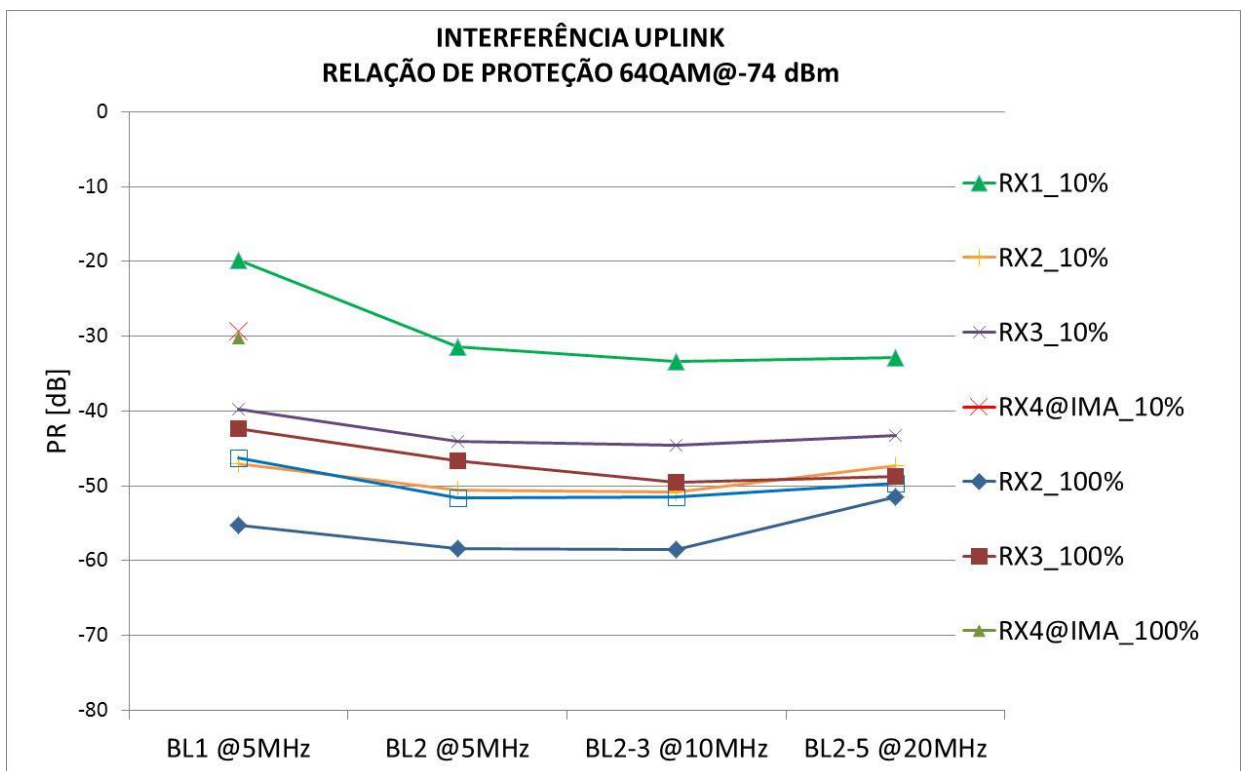
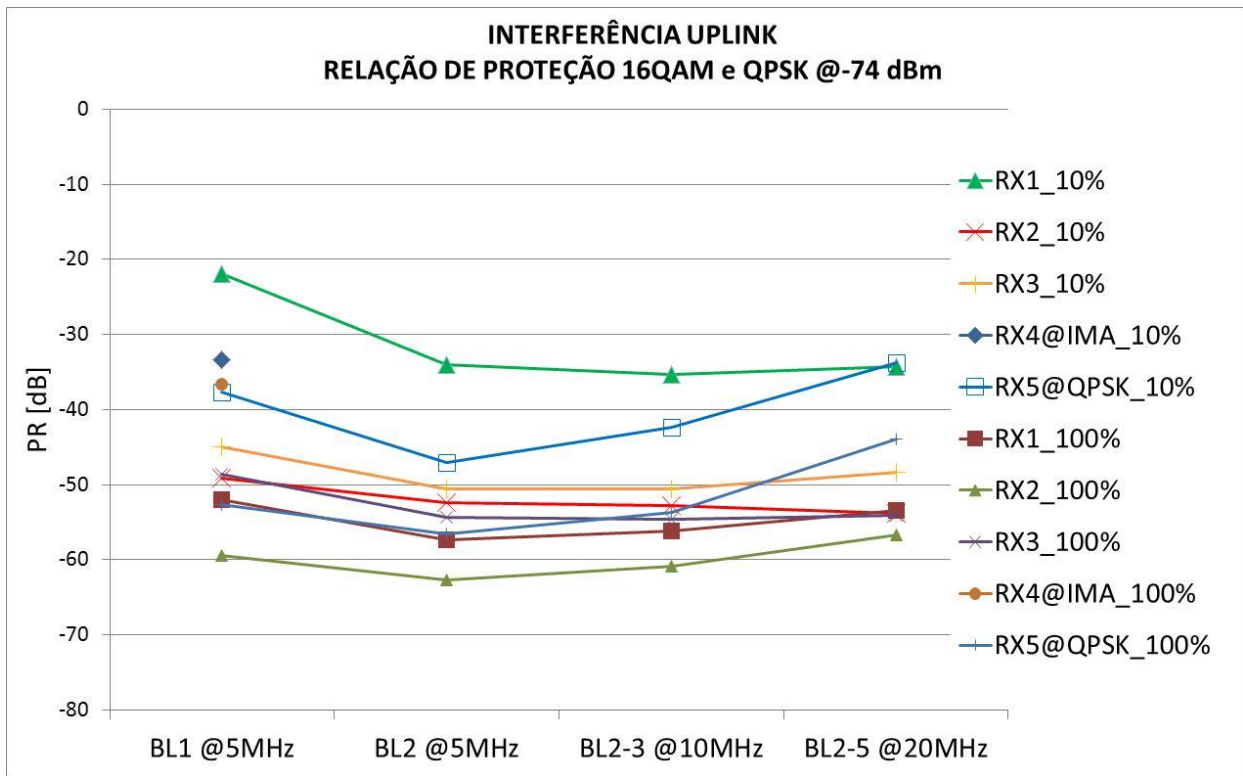
3.4.2 ACS - Uplink



3.5 Relação de Proteção - Downlink



3.6 Relação de Proteção - Uplink



4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Correção estimada de PR para valores de ACLR normativo

Os valores de relação de proteção são função da ACS do receptor de TV digital e do ACLR dos emissores LTE. O ACS e o ACLR são, em geral, considerados juntos, pois os efeitos coexistem.

A Relação de Proteção é calculada conforme documentado no anexo 6A/041 do relatório ITU-R BT.2215.

A Relação de Proteção final é encontrado a partir de 2 passos:

- Para a frequência de deslocamento Δf , a Seletividade de Canal Adjacente (ACS) do receptor de ISDB-T é calculada a partir da: Relação de Proteção de deslocamento ($PR_{\Delta f}$), Relação de Proteção Co-canal (PR_0) e o ACLR do gerador de sinal.

$$ACS(\Delta f) = -10 \log \left(10^{-\left(\frac{PR_0 - PR(\Delta f)}{10}\right)} - 10^{-\frac{ACLR}{10}} \right) \quad (2)$$

- O valor de ACS é usado para determinar a relação de proteção de canal adjacente para um transceptor interferente, o qual pode ter diferentes característica de ACLR. A Relação de Proteção final ($PR'_{\Delta f}$) é uma função de ACS e o ACLR' do transceptor no deslocamento de frequência (Δf).

$$PR'(\Delta f) = PR_0 + 10 \log \left(10^{-\frac{ACS}{10}} + 10^{-\frac{ACLR'}{10}} \right) \quad (3)$$

Considerando os valores normativos de ACLR calculados a partir da Resolução nº 625 e os valores calculados de ACS a partir das medições em laboratório, apresentamos na Tabela 10 um resumo de valores da correção de PR'.

Esses valores de PR apresentados na Tabela 10 foram obtidos considerando a média dos valores medidos para os Blocos 2, 2-3 e 2-5. Para o caso do canal 51 (*full-seg*), foi feita a média para os 4 Receptores (3 *Si-Tuner* e 1 *Can-Tuner*), enquanto na avaliação do canal imagem foi considerado o valor medido para *Can-Tuner*, e o valor para o *One-seg* foi considerado o resultado do único dispositivo.

LINK	BLOCO	CANAL	RECEPTOR	MOD	PR [dB]	PR0 [dB]	ACS [dB]	ACLR' [dB]	PR' [dB]
DOWNLINK - IDLE	BLOCO 1 5 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-62 (-65 a -58)	10 (10 a 11)	72 (69 a 75)	64,2	-52 (-54 a -52)
				64QAM	-56 (-59 a -52)	15 (14 a 15)	70 (66 a 73)	64,2	-48 (-49 a -47)
			RX Can Tuner	16QAM	-70	11	82	64,2	-53
				64QAM	-65	15	81	64,2	-49
			RX One-Seg	QPSK	-56	5	61	64,2	-54
	BLOCO 2 5 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-63 (-66 a -59)	10 (10 a 11)	73 (70 a 76)	64,2	-54 (-54 a -53)
				64QAM	-56 (-58 a -52)	14 a 15	71 (67-73)	64,2	-49 a -48 (-49)
			RX Can Tuner	16QAM	-77	11	90	64,2	-53
				64QAM	-72	15	89	64,2	-49
		RX One-Seg	QPSK	-64	5	70	64,2	-58	
		48	RX Can Tuner	16QAM	-37	11	48	64,2	-37
				64QAM	-30	15	45	64,2	-30
	BLOCO 2-3 10 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-63 (-65 a -60)	9 (8 a 9)	72 (70 a 73)	64,2	-55 (-56 a -54)
				64QAM	-58 (-60 a -53)	13 (12 a 13)	71 (66 a 74)	64,2	-50 (-51 a -49)
			RX Can Tuner	16QAM	-73	9	82	64,2	-56
				64QAM	-70	14	85	64,2	-50
			RX One-Seg	QPSK	-61	5	65	64,2	-57
		48	RX Can Tuner	16QAM	-68	9	77	64,2	-55
				64QAM	-33	14	46	64,2	-33
	BLOCO 2-5 20 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-64 (-67 a -61)	5 (4 a 6)	69 (67 a 72)	64,2	-58 (-59 a -56)
				64QAM	-58 (-61 a -54)	10 (9 a 10)	68 (65 a 71)	64,2	-53 (-54 a -51)
			RX Can Tuner	16QAM	-42	6	48	64,2	-42
				64QAM	-36	10	46	64,2	-35
			RX One-Seg	QPSK	-57	1	58	64,2	-56
		48	RX Can Tuner	16QAM	-43	6	49	64,2	-46
				64QAM	-37	10	47	64,2	-36

LINK	BLOCO	CANAL	RECEPTOR	MOD	PR [dB]	PR0 [dB]	ACS [dB]	ACLR' [dB]	PR' [dB]
DOWNLINK – 100%	BLOCO 1 5 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-64 (-67 a -62)	11 (10 a 12)	76 (74 a 78)	64,2	-53 (-54 a -52)
				64QAM	-58 (-62 a -53)	17 (16 a 17)	74 (69 a 78)	64,2	-47 (-47 a -47)
			RX Can Tuner	16QAM	-72	12	84	64,2	-52
				64QAM	-69	17	86	64,2	-47
			RX One-Seg	QPSK	-51	5	56	64,2	-54
	BLOCO 2 5 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-65 (-68 a -61)	11 (10 a 12)	76 (74 a 79)	64,2	-53 (-54 a -51)
				64QAM	-59 (-62 a -54)	17 (16 a 17)	75 (70 a 79)	64,2	-47 (-47 a -47)
			RX Can Tuner	16QAM	-79	12	93	64,2	-52
				64QAM	-76	17	94	64,2	-47
			RX One-Seg	QPSK	-58	5	64	64,2	-58
		48	RX Can Tuner	16QAM	-36	12	48	64,2	-37
				64QAM	-30	17	47	64,2	-30
	BLOCO 2-3 10 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-65 (-69 a -61)	10 (9 a 11)	75 (72 a 78)	64,2	-54 (-55 a -53)
				64QAM	-59 (-63 a -53)	15 (15 a 16)	74 (69 a 78)	64,2	-49 (-49 a -47)
			RX Can Tuner	16QAM	-78	10	89	64,2	-54
				64QAM	-76	16	93	64,2	-48
			RX One-Seg	QPSK	-54	4	58	64,2	-57
		48	RX Can Tuner	16QAM	-74	10	86	64,2	-55
				64QAM	-33	16	48	64,2	-33
	BLOCO 2-5 20 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-66 (-69 a -62)	6 (6 a 7)	72 (69 a 75)	64,2	-57 (-58 a -56)
				64QAM	-60 (-64 a -55)	12 (11 a 12)	71 (68 a 76)	64,2	-51 (-52 a -50)
			RX Can Tuner	16QAM	-41	7	48	64,2	-41
				64QAM	-36	13	49	64,2	-35
RX One-Seg			QPSK	-54	1	55	64,2	-56	
48		RX Can Tuner	16QAM	-43	7	50	64,2	-43	
			64QAM	-35	13	49	64,2	-35	

LINK	BLOCO	CANAL	RECEPTOR	MOD	PR [dB]	PR0 [dB]	ACS [dB]	ACLR' [dB]	PR' [dB]
UPLINK – 10%	BLOCO 1 5 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-39 (-49 a -22)	9 (6 a 11)	48 (33 a 56)	49,2	-34 (-42 a -22)
				64QAM	-36 (-47 a -20)	13 (11 a 15)	49 (34 a 58)	49,2	-30 (-38 a -20)
			RX Can Tuner	16QAM	-44	14	59	49,2	-34
				64QAM	-38	17	55	49,2	-31
		RX One-Seg	QPSK	-38	6	43	49,2	-37	
		38	RX Can Tuner	16QAM	-39	14	48	49,2	-31
	64QAM			-36	17	46	49,2	-28	
	BLOCO 2 5 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-46 (-52 a -34)	9 (6 a 11)	55 (45 a 61)	49,2	-38 (-42 a -32)
				64QAM	-42 (-51 a -31)	13 (11 a 15)	55 (46 a 61)	49,2	-34 (-38 a -30)
			RX Can Tuner	16QAM	-52	14	66	49,2	-35
				64QAM	-44	17	61	49,2	-32
			RX One-Seg	QPSK	-47	6	53	49,2	-42
	BLOCO 2-3 10 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-46 (-53 a -35)	7 (4 a 9)	53 (44 a 59)	49,2	-40 (-45 a -34)
				64QAM	-43 (-51 a -33)	10 (8 a 11)	53 (45 a 59)	49,2	-37 (-41 a -32)
			RX Can Tuner	16QAM	-49	11	60	49,2	-38
				64QAM	-44	13	56	49,2	-36
			RX One-Seg	QPSK	-42	2	44	49,2	-41
	BLOCO 2-5 20 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-45 (-54 a -34)	4 (0 a 6)	49 (40 a 54)	49,2	-41 (-48 a -34)
				64QAM	-41 (-47 a -33)	7 (4 a 8)	48 (41 a 52)	49,2	-38 (-43 a -32)
			RX Can Tuner	16QAM	-39	7	46	49,2	-37
				64QAM	-37	10	47	49,2	-35
			RX One-Seg	QPSK	-34	-1	33	49,2	-34

LINK	BLOCO	CANAL	RECEPTOR	MOD	PR [dB]	PR0 [dB]	ACS [dB]	ACLR' [dB]	PR' [dB]
UPLINK – 100%	BLOCO 1 5 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-53 (-59 a -49)	12 (11 a 12)	65 (61 a 71)	49,2	-37 (-38 a -37)
				64QAM	-48 (-55 a -42)	17 (17 a 18)	65 (61 a 72)	49,2	-32 (-33 a -31)
			RX Can Tuner	16QAM	-50	14	64	49,2	-35
				64QAM	-44	22	65	49,2	-27
		RX One-Seg	QPSK	-53	6	59	49,2	-42	
		38	RX Can Tuner	16QAM	-37	14	51	49,2	-33
				64QAM	-30	22	52	49,2	-26
		BLOCO 2 5 MHz	51	RX Si Tuner	16QAM	-58 (-63 a -54)	12 (11 a 12)	70 (67 a 74)	49,2
	64QAM				-52 (-58 a -47)	17 (17 a 18)	70 (65 a 75)	49,2	-32 (-33 a -31)
	RX Can Tuner			16QAM	-59	14	73	49,2	-35
				64QAM	-52	22	73	49,2	-28
	RX One-Seg			QPSK	-57	6	63	49,2	-43
	BLOCO 2-3 10 MHz			51	RX Si Tuner	16QAM	-57 (-61 a -55)	10 (10 a 11)	65 a 71 (67)
		64QAM	-53 (-59 a -50)			15 (14 a 15)	68 (65 a 73)	49,2	-35 (-35 a -34)
		RX Can Tuner	16QAM		-55	11	66	49,2	-38
			64QAM		-50	16	66	49,2	-33
		RX One-Seg	QPSK		-54	3	56	49,2	-46
		BLOCO 2-5 20 MHz	51		RX Si Tuner	16QAM	-55 (-57 a -53)	7 (6 a 7)	62 (61 a 63)
	64QAM			-50 (-52 a -49)		11 (11 a 12)	61 (60 a 63)	49,2	-37 (-38 a -37)
	RX Can Tuner			16QAM	-47	8	55	49,2	-40
				64QAM	-44	12	56	49,2	-36
	RX One-Seg			QPSK	-44	1	45	49,2	-43

Tabela 100 – Valores de Relação de Proteção Medidos e Corrigidos para ACLR da Resolução 625/2013

Notas :

1. O valor de ACLR' se refere ao estabelecido pela Resolução 625/2013.
2. Os valores ACS foram calculados através da equação (2).
3. Os valores de ACLR dos transmissores LTE reais devem, necessariamente, ser iguais ou maiores que os valores normativos utilizados na correção da PR.

4.2 Robustez dos receptores

Através das curvas C x I foi possível verificar uma maior robustez do receptor Rx2 tanto em relação à PR quanto ao Oth. Vale considerar que este é um receptor com tecnologia *Silicon*

Tuner, de fabricação mais recente, que prevê em seu projeto técnicas de mitigação de interferências, para facilitar a coexistência com o sistema LTE.

O problema do canal imagem ocorre em televisores que possuem sintonizadores super-heteródinos, principalmente os *can tuners*. Atualmente são fabricados somente televisores com sintonizadores de silício, com tendência a utilização de homodinagem, restringindo o problema de canal imagem ao legado de receptores super-heteródinos.

Alguns receptores, especialmente o Rx1, apresentaram maior sensibilidade ao comportamento pulsado do gerador LTE, quando se avaliava a interferência de *uplink* com 10% de carregamento. Nesse caso, os resultados mostraram um baixo impacto no PR com a alteração da hierarquia de modulação, provavelmente devido ao comportamento do controle automático de ganho do receptor.

4.3 Técnica de Mitigação com Filtro Passa Baixa

A técnica de mitigação avaliada nos testes em laboratório foi a utilização de filtro de RF passa baixa na entrada do receptor de TV. Foram feitos testes de limiar de visibilidade com a utilização do filtro, para alguns dos piores casos observados nos testes sem filtro.

A Figura 41 apresenta o filtro para rejeição dos sinais na faixa acima de 698 MHz utilizado nos testes.



Figura 40 – Filtro de RF

A *Figura* apresenta a curva de resposta do filtro de RF utilizado.

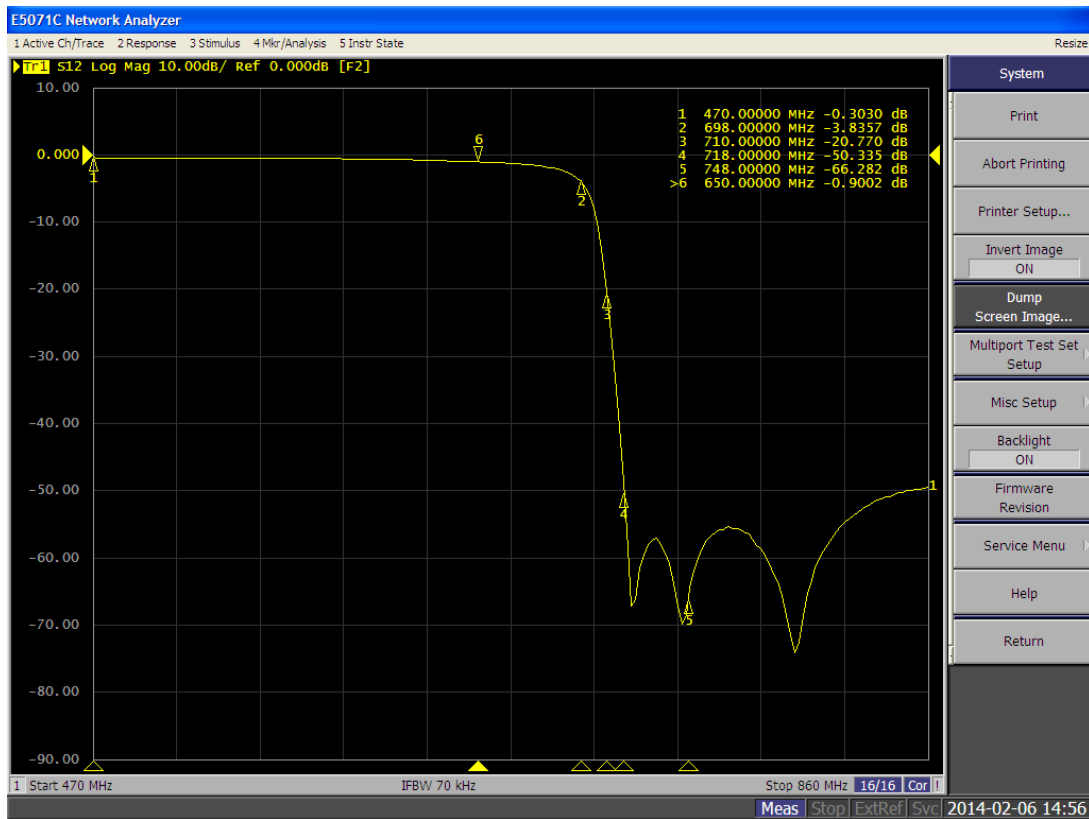


Figura 41 – Curva de resposta do filtro LTE – Proeletronic

No Anexo 2, estão apresentadas as características da amostra do filtro passa baixa utilizado nos testes, resumidas na Tabela 11 abaixo e no Anexo 3 é apresentado o resultado do efeito da inserção do filtro na medida de MER (*Modulation Error Ratio*)

Frequência	Atenuação(s21) dB	RL(s11) dB	Fase(s21) Graus
692	2,59	- 29,14	149,20°
695,14258	3,1	- 28,8	127,00°
698 MHz	3,87	- 27,74	102,50°
703 MHz	6,84	-20,79	47,00°
708 MHz	15,30	-14,62	-20,88°
713 MHz	30,42	-12,68	-62,03°
Acima de 718 MHz	> 50	< - 11,44	- 165° < Φ < 175°

Tabela 11: Resumo das características do filtro

5.3.1. Resultados da aplicação do filtro de rejeição do sinal LTE

Os resultados dos testes apresentados na Figura 43 mostram que, nas condições testadas para o downlink, com a utilização do filtro se chegou ao limite de potência do setup (8 dBm) sem

que tenha sido identificada interferência nos receptores, exceto no caso do teste de frequência imagem do Bloco 2 no qual o limiar de visibilidade foi atingido com 5,2 dBm.

Nas condições testadas para o *uplink*, o filtro na recepção de TV melhorou a relação de proteção e o limiar de saturação. Todavia, ainda foram observadas interferências. A Figura 42 ilustra as curvas *C/I* do *uplink* com e sem filtro.

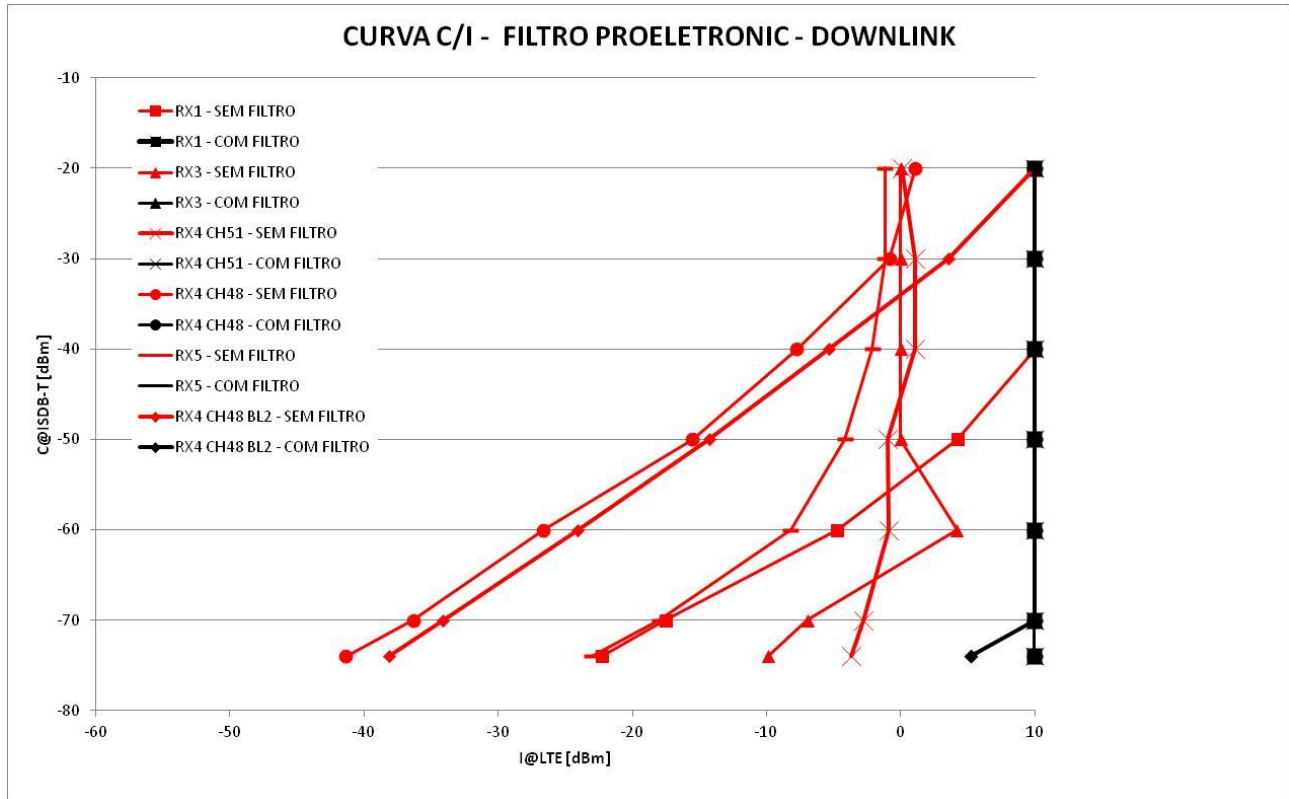


Figura 43 – Uso do filtro no *downlink*.

LINK	BLOCO	CANAL	RECEPTOR	MOD	(sem filtro)		(com filtro)	
					PR [dB]	Oth [dB]	PR [dB]	Oth [dB]
DOWNLINK - IDLE	BLOCO 1 5 MHz	51	Rx1 Si Tuner	64QAM	-52	NO	NO	NO
			Rx2 Si Tuner	64QAM	-57	-3	NO	NO
			Rx3 Si Tuner	64QAM	-59	NO	NO	NO
	BLOCO 2-3 10 MHz	51	Rx4 Can Tuner	64QAM	-70	-3	NO	NO
		48	Rx4 Can Tuner	64QAM	-33	-1	NO	NO
	BLOCO 2-5 20 MHz	51	Rx3 Si Tuner	64QAM	-61	NO	NO	NO
Rx5 One-Seg			QPSK	-57	-4	NO	NO	
DOWNLINK – 100%	BLOCO 1 5 MHz	51	Rx5 One-Seg	QPSK	-51	1	NO	NO
	BLOCO 2 5 MHz	48	Rx4 Can Tuner	64QAM	-30	3	-79	NO
	BLOCO 2-5 20 MHz	51	Rx4 Can Tuner	64QAM	-36	6	NO	NO
UPLINK – 10%	BLOCO 1 5 MHz	51	Rx1 Si Tuner	64QAM	-20	-53	-30	-42
			Rx2 Si Tuner	64QAM	-40	-13	-43	-2
		38	Rx4 Can Tuner	64QAM	-29	-2	-39	NO
	BLOCO 2-5 20 MHz	51	Rx4 Can Tuner	64QAM	-37	-26	-48	NO
			Rx5 One-Seg	QPSK	-34	-15	-67	NO

Tabela 12 - Valores de PR e Oth com e sem filtro

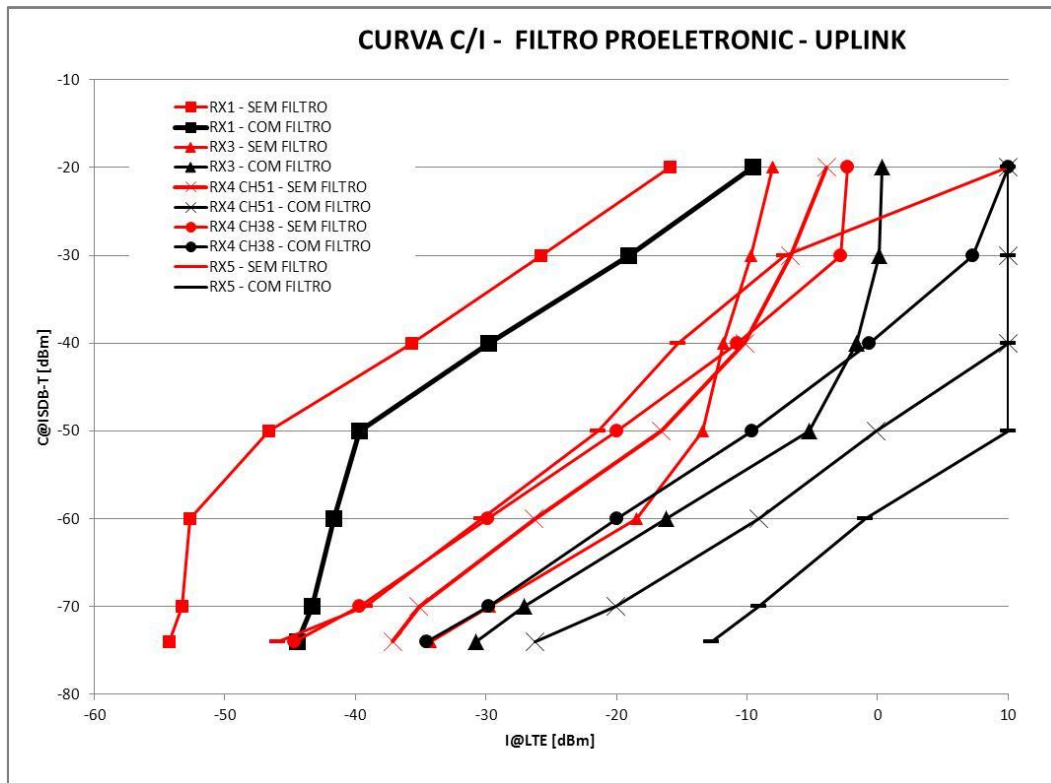


Figura 44 – Uso do filtro no *uplink*.

5.3.2. Análise do efeito do filtro na convivência

Note-se que o filtro empregado produz uma perda de inserção da ordem de 4 dB em 698 MHz, além de provocar degradação de 2 dB na MER do sinal de TV Digital.

Percebe-se que o filtro é muito mais efetivo para os sinais de *downlink* do que para os sinais de *uplink*, devido à diferença de afastamento espectral. A rejeição do filtro na faixa de *uplink* não foi suficiente para eliminar as interferências nas condições de teste. Como os próprios receptores também apresentam maior imunidade na faixa dos sinais de *downlink* pelo mesmo motivo (exceto no caso de frequência imagem, em que a seletividade do receptor é reduzida), o uso do filtro produziu uma redução suficiente da interferência para que o nível máximo do sinal interferente no setup (8 dBm) não interferisse no nível mínimo do sinal de TV utilizado (-74 dBm), ou seja, a relação de proteção obtida foi inferior a -82 dB. Vale ressaltar que tal redução foi obtida nas condições de laboratório, em que, devido ao nível muito reduzido de emissões indesejáveis do gerador de sinais interferentes, a relação de proteção é dominada pela seletividade do receptor.

Cabe, portanto, contextualizar esse resultado considerando os limites normativos para as emissões indesejáveis estabelecidas na Resolução nº 625/2013. Na Tabela 13 são apresentados os valores de PR' com e sem filtro.

LINK	BLOCO	CANAL	RECEPTOR	MOD	(sem filtro)	(com filtro)
					PR' [dB]	PR' [dB]
DOWNLINK - IDLE	BLOCO 1 5 MHz	51	Rx1 Si Tuner	64QAM	-47	-49
			Rx2 Si Tuner	64QAM	-49	-49
			Rx3 Si Tuner	64QAM	-49	-50
	BLOCO 2-3 10 MHz	51	Rx4 Can Tuner	64QAM	-50	-50
		48	Rx4 Can Tuner	64QAM	-33	-50
	BLOCO 2-5 20 MHz	51	Rx3 Si Tuner	64QAM	-54	-55
Rx5 One-Seg			QPSK	-56	-63	
DOWNLINK – 100%	BLOCO 1 5 MHz	51	Rx5 One-Seg	QPSK	-50	-59
	BLOCO 2 5 MHz	48	Rx4 Can Tuner	64QAM	-30	-47
	BLOCO 2-5 20 MHz	51	Rx4 Can Tuner	64QAM	-35	-51
UPLINK – 10%	BLOCO 1 5 MHz	51	Rx1 Si Tuner	64QAM	-20	-28
			Rx2 Si Tuner	64QAM	-33	-34
		38	Rx4 Can Tuner	64QAM	-28	-32
	BLOCO 2-5 20 MHz	51	Rx4 Can Tuner	64QAM	-35	-39
			Rx5 One-Seg	QPSK	-34	-50

Tabela 13 - Valores de PR' com e sem filtro

O uso do filtro na recepção de TVD melhora o valor de ACS. No downlink, os resultados dos testes mostraram que a relação de proteção era dominado pelo ACS do receptor. O uso do filtro aumentou este valor de ACS fazendo com que a relação de proteção corrigida fosse dominada pelo ACLR, onde o filtro não tem efeito. Existem combinações de níveis de sinal de TV e LTE em que o filtro isoladamente pode não ser efetivo, como por exemplo valores que ultrapassem a relação de proteção observados na tabela 13, construída com base nos limites estabelecidos na Resolução nº 625/2013. Para estes casos o uso do filtro isoladamente não seria efetivo.

No caso do uplink o mesmo raciocínio pode ser aplicado, porém, com menor atenuação do filtro nesta faixa de frequência.

5 COMENTÁRIOS FINAIS

O teste em laboratório avaliou a relação de proteção, saturação e mitigação com filtro na entrada de RF em 5 tipos de receptores, sendo 3 *silicon tuners*, 1 *can tuner* e 1 *one-seg*.

Os receptores testados apresentaram diferenças significativas de seletividade em relação aos diversos casos de interferência LTE testados e variações de desempenho em relação à saturação. Essas diferenças são explicadas dentre outros aspectos pela tecnologia do *front-end* (e.g. interferência por frequência imagem no *can tuner*) e características do CAG (e.g. interferência do *uplink* pulsado).

Os resultados laboratoriais estão contextualizados em condições controladas decorrentes do setup utilizado. Para estimar o impacto de emissões fora de faixa conforme estabelecido pela Resolução n.º 625, tornou-se necessário efetuar correções nos valores de relação de proteção medidos em virtude do nível reduzido de emissões indesejáveis do gerador LTE utilizado.

As análises de relação de proteção e de convivência são melhores descritas pela relação de proteção corrigida.

Conforme registrado nas Tabelas 10 e 13, em diversos casos, a contribuição do ACLR do gerador LTE não foi relevante para o valor de relação de proteção medido. Nos cálculos de relação de proteção corrigida, baseados na Resolução 625, em alguns casos o ACLR se torna o fator determinante da relação de proteção. Nesses casos, o filtro passa baixa na entrada do receptor de TV é pouco efetivo para melhorar a relação de proteção, tendo pouco efeito para a mitigação de interferência.

Os resultados mostraram que o filtro testado resolveu os problemas de interferência nas condições testadas para o *downlink*, exceto um caso de canal imagem em que seria necessário o uso de 2 filtros em cascata. Porém, em condições específicas, não foi suficiente para proteger a recepção de TV digital de interferência do *uplink*.

A relação de proteção é influenciada pelo ACS do receptor e pelo ACLR do LTE. O uso do filtro na recepção melhora o ACS. A melhoria na relação de proteção pelo uso do filtro está limitada até o ponto em que o ACLR passa a ser dominante.

Na avaliação do filtro passa baixa reconhece-se a necessidade de especificar características de desempenho a fim de viabilizar a convivência em diversas condições de recepção do sinal de TV. O uso do filtro diminui a sensibilidade do sistema de recepção de TVD.

A melhoria nos requisitos técnicos de receptores de TV Digital, adequando-os à nova destinação espectral na faixa de 700 MHz, é importante para a ampla convivência entre os sistemas.

Desta forma, os resultados dos testes de campo em Pirenópolis serão complementares a esses testes laboratoriais, além de esclarecer alguns pontos não conclusivos, como o convívio com o sinal de *uplink*, uma vez que nesses testes em campo se utilizam protótipos de equipamentos LTE, que apresentam uma dinâmica que não é refletida nos testes em laboratório.

Anexo 1

Componentes do Setup

Adicionalmente aos equipamentos apresentados anteriormente foi utilizado alguns dispositivos para montagem do setup conforme *Figura 2*.

A.1.1. Amplificador de RF (Fonte de alimentação)

Com a função de elevar o nível do sinal LTE proveniente do gerador arbitrário foi utilizado um amplificador de rádio frequência modelo 4734 da Hitachi Linear, apresentado na *Figura 45*.

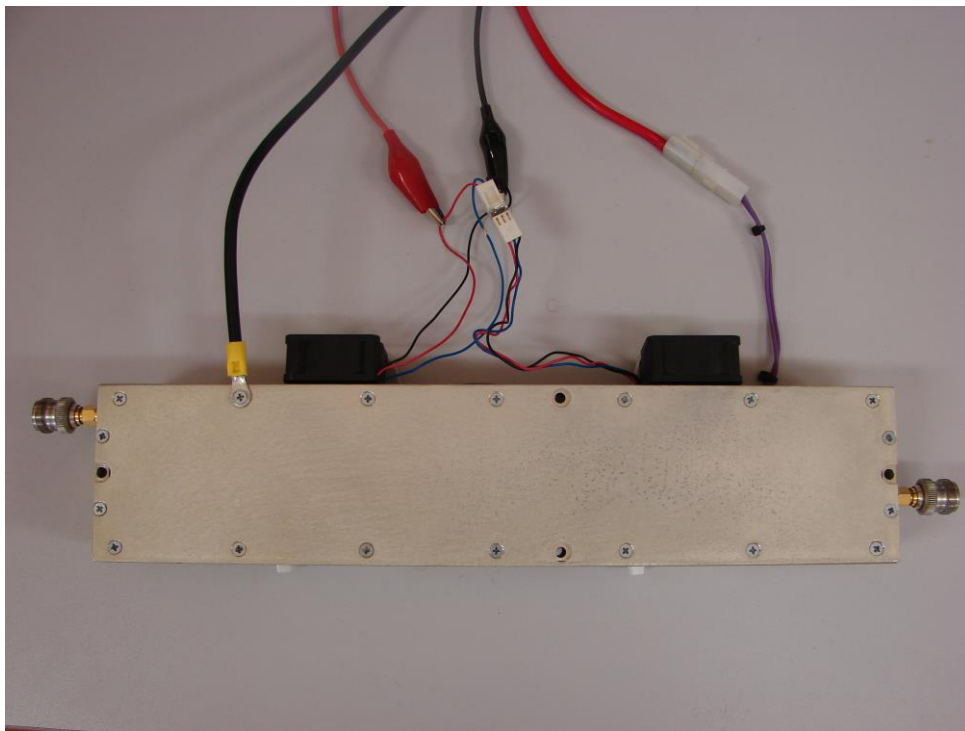


Figura 45 – Amplificador de Rádio Frequência

A Figura 46 apresenta a curva de resposta do amplificador utilizado.

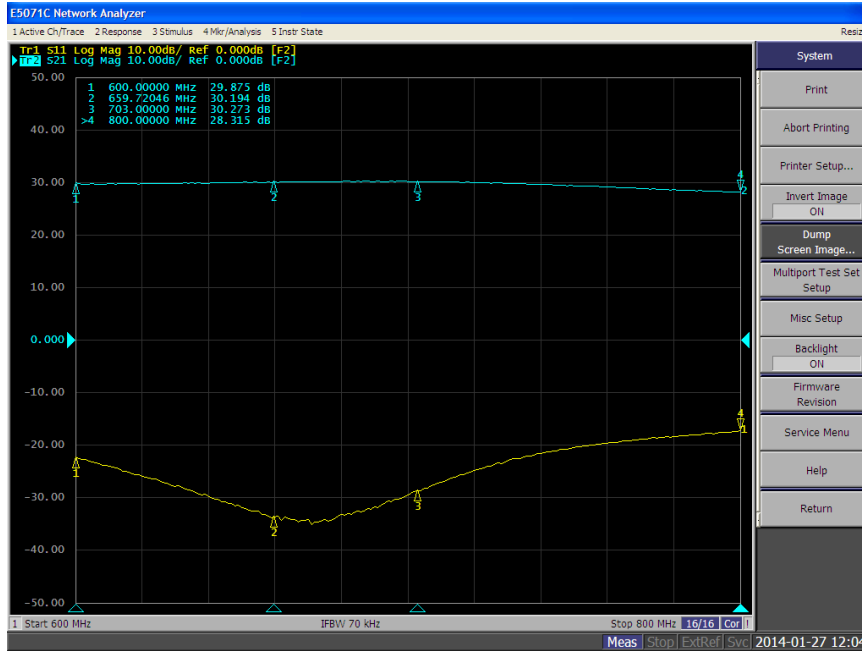


Figura 46 – Curva de resposta do amplificador utilizado no setup

A.1.2. Filtro LTE

Com o objetivo de minimizar os efeitos da geração de ruído banda larga do gerador de LTE foi adicionado a saída do gerador um filtro passa faixa. O filtro foi ajustado para faixa de *uplink* (703 à 748 MHz) e posteriormente para a faixa de *downlink* (758 à 803 MHz). A Figura 47 apresenta a resposta do filtro para a faixa de *uplink* e *downlink*.

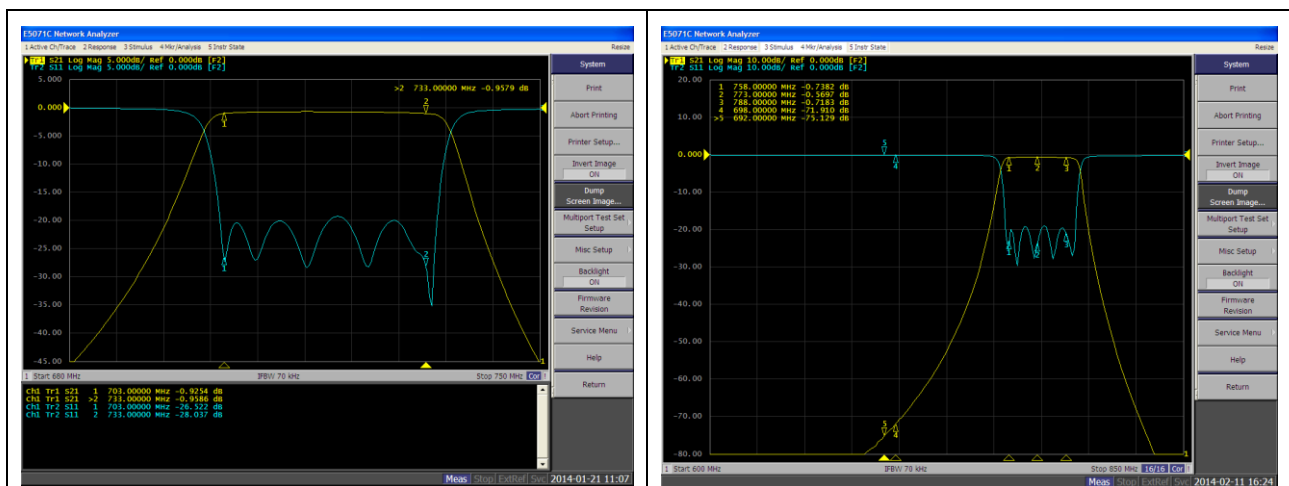


Figura 47 – Curva de resposta do filtro de LTE

A.1.3. Atenuador

Com o objetivo de variar o nível do sinal LTE gerado foi utilizado um conjunto de atenuadores de passo controlável. O modelo 8494H é um atenuador de 10 passos de 1 dB e o modelo 8496 possui 10 passos de 10 dB, a combinação dos 2 conjuntos totaliza 110 dB de atenuação. Ambos os conjuntos são controlados pelo Switch Driver modelo 11713A. Dessa forma a resolução de atenuação é de 1 dB. A Figura 48 apresenta a caracterização do atenuador em passos distintos.

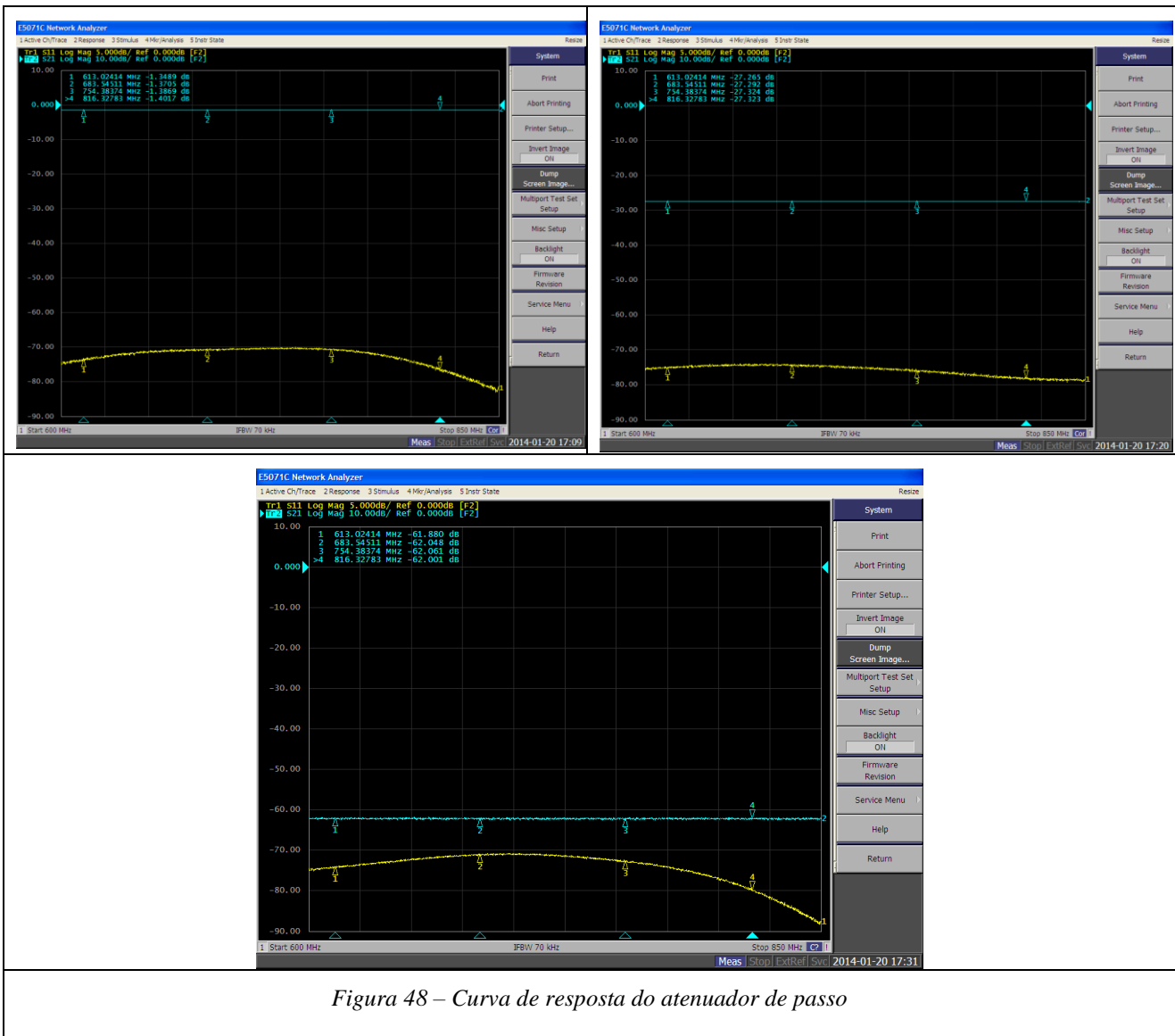


Figura 48 – Curva de resposta do atenuador de passo

A.1.4. Combinador 50 Ω

Com a função de combinar e isolar os sinais de LTE e TVD foi utilizado o combinador de RF 50 Ω tipo Wilkinson, modelo J2065 da JBM, apresentado na Figura 49.



Figura 49 – Combinador de RF

A Figura 50 apresenta a curva de resposta do combinador de RF utilizado.

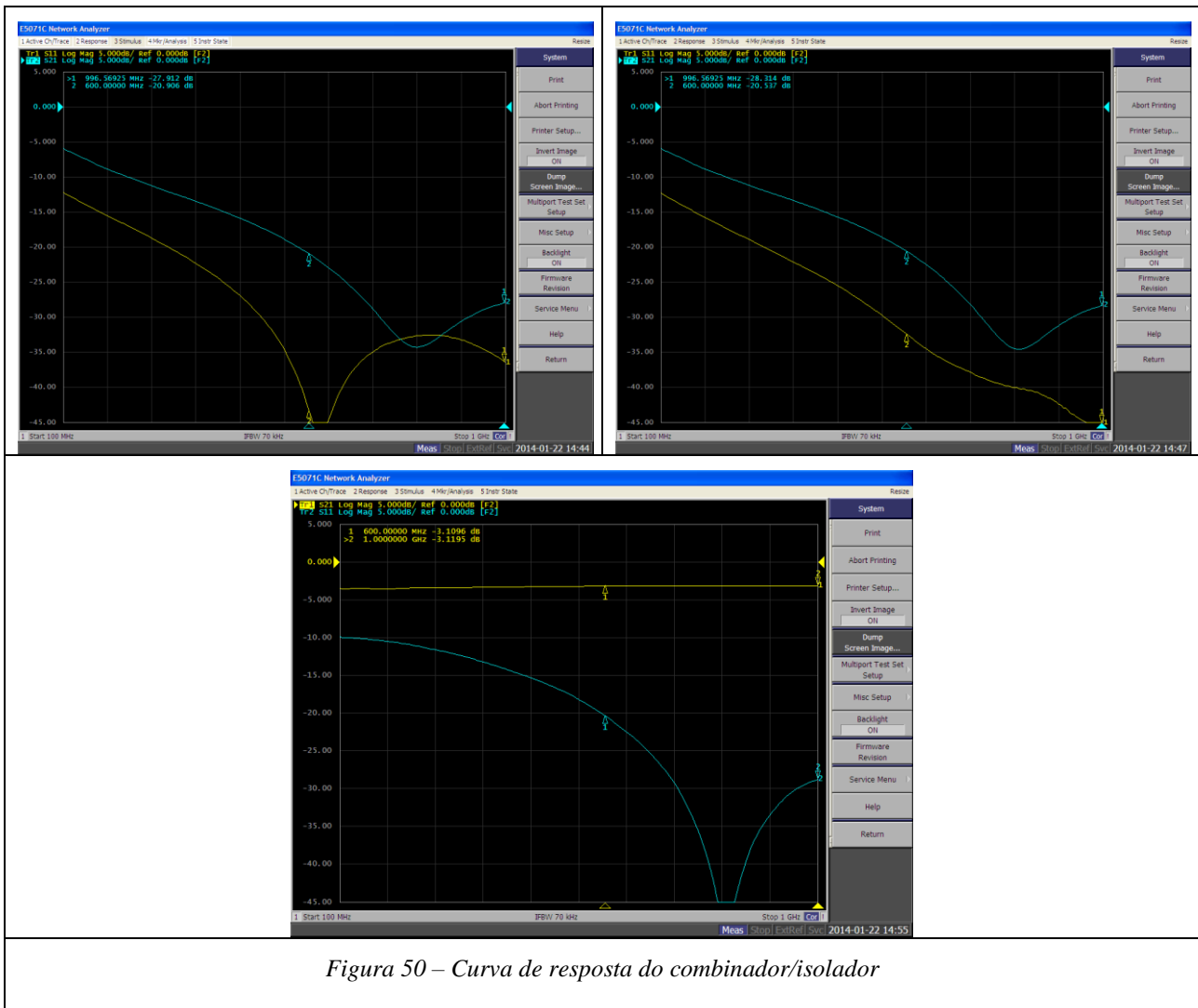


Figura 50 – Curva de resposta do combinador/isolador

A.1.5. Adaptador de 75/50 Ω

Com o objetivo de compatibilizar a impedância entre o sistema de geração de 50 Ω e os receptores de 75 Ω foi utilizado um adaptador de impedância 50/75 Ω , conforme Figura 51.



Figura 51 – Combinador de RF

A.1.6. Divisor 75 Ω

Com o objetivo de dividir o sinal entre os receptores e o analisador de espectro responsável pela medição dos níveis LTE e TVD foi utilizado um divisor de 75 Ω , conforme Figura 52.



Figura 52 – Divisor de RF 75 Ω

A.1.7. Cabos 50 Ω e 75 Ω

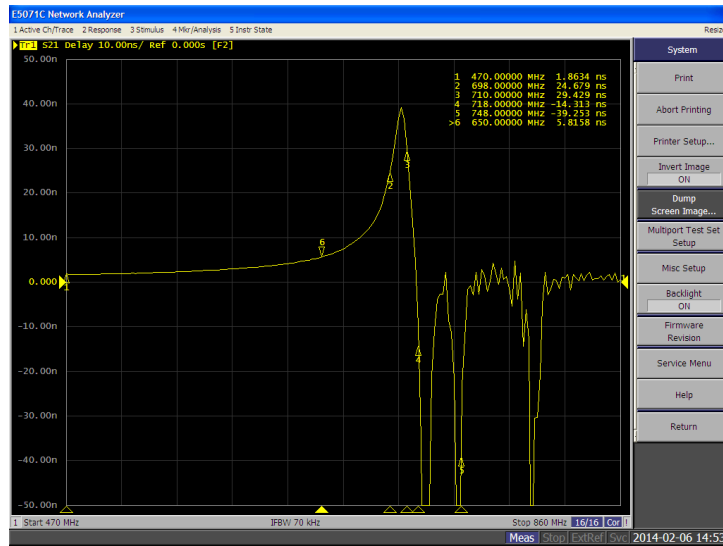
As conexões entre os vários dispositivos e os geradores foram realizadas por cabos de 50 Ω e 75 Ω .

Anexo 2

Características do Filtro Passa Baixa

As figuras abaixo mostram as características do filtro passa-baixa utilizado como técnica de mitigação de interferências avaliado nos testes laboratoriais.

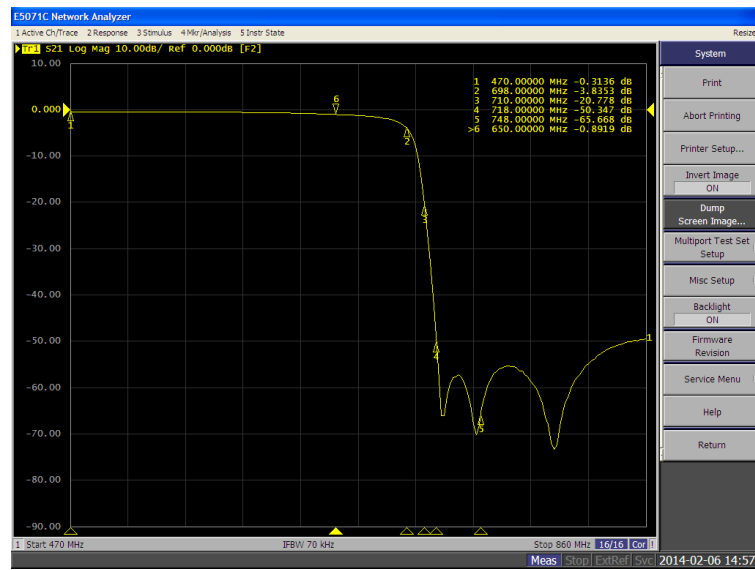
A.2.1. Retardo de Grupo



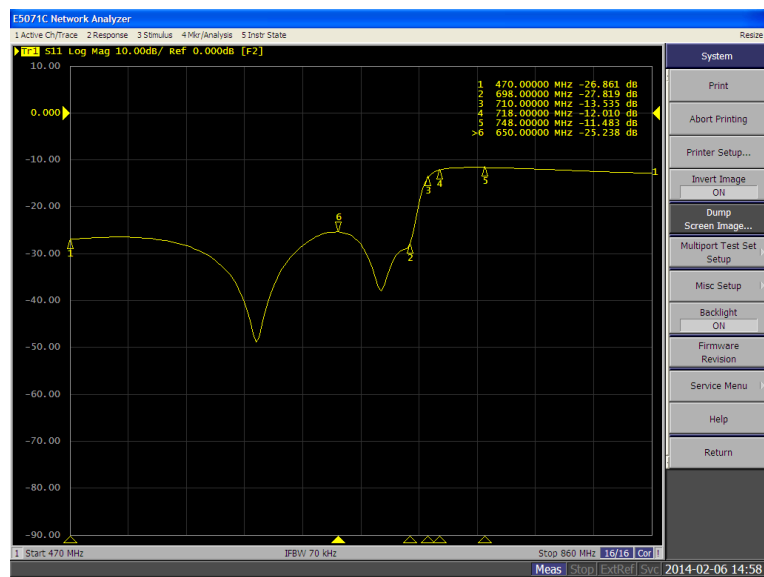
A.2.2. Fase



A.2.3. Resposta em Frequência



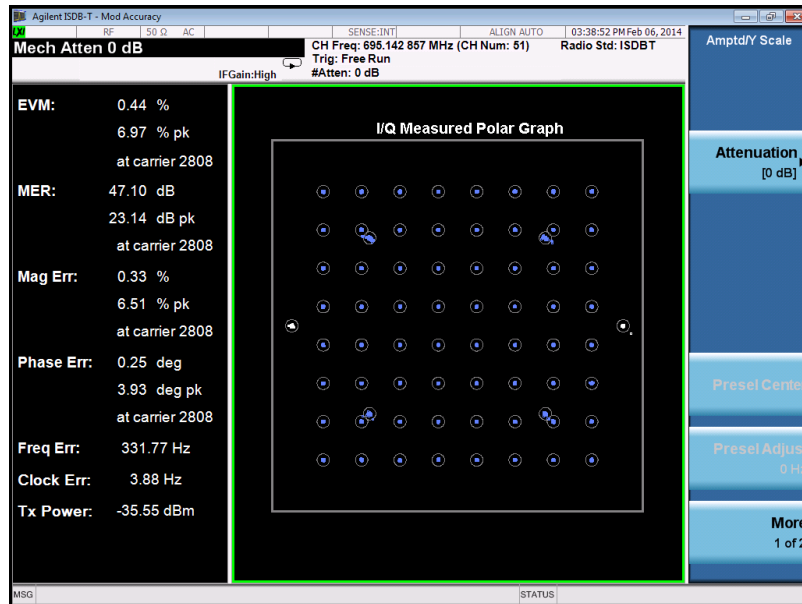
A.2.4. Perda de Retorno



Anexo 3

Efeito da inserção do filtro na medida de MER (*Modulation Error Ratio*)

A.3.1. MER sem Filtro



A.3.2. MER com Filtro

