

# **Relatório do Teste em Campo sobre a Convivência do LTE na faixa de 700 MHz com 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 de Campo de Convivência do LTE na faixa de 700 MHz com ISDB-T

(2014)

## SUMÁRIO

*Página*

1	INTRODUÇÃO.....	3
	1.1 Objetivo .....	3
	1.2 Escopo.....	3
	1.3 Definições e Abreviações .....	3
	1.4 Acrônimos.....	5
	1.5 Referências .....	7
2	AMBIENTE DE TESTES .....	10
	2.1 Sistemas de recepção .....	13
	2.1.1 Unidade Móvel.....	13
	2.1.2 Sistemas utilizados no ponto fixo .....	15
	2.2 Sistema de transmissão de TVD .....	17
	2.3 Sistema de transmissão de LTE .....	19
	2.4 Receptores de TV utilizados .....	22
	2.5 Setup de teste para medidas .....	22
	2.5.1 Analisador de espectro .....	22
	2.5.2 Técnica para geração de tráfego no sistema LTE .....	23
3	TESTE DE INTERFERÊNCIA DO LTE NA TVD .....	25
	3.1 TESTE DE <i>DOWNLINK</i> : interferência do eNodeB LTE nos receptores de TVD .....	25
	3.1.1 Descrição dos cenários do teste de interferência de <i>downlink</i> .....	25
	3.1.2 Metodologias para o teste de interferência de <i>downlink</i> .....	30
	3.1.3 Resultados do teste de interferência de <i>downlink</i> .....	30
	3.2 TESTE DE <i>UPLINK</i> : interferência nos receptores de TVD causada pelo UE LTE com ATPC habilitado .....	37
	3.2.1 Descrição dos cenários do teste de interferência de <i>uplink</i> (com ATPC habilitado) .....	38
	3.2.2 Metodologia para teste de interferência de <i>uplink</i> (com ATPC habilitado) .....	40

3.2.3	Resultados do teste de interferência de <i>uplink</i> (com ATPC habilitado) .....	41
3.3	TESTE DE <i>UPLINK</i> : interferência nos receptores de TVD causada pelo UE LTE com ATPC desabilitado.....	44
3.3.1	Descrição dos cenários do teste de interferência de <i>uplink</i> (com ATPC desabilitado).....	44
3.3.2	Metodologia para teste de interferência de <i>uplink</i> (com ATPC desabilitado) .....	45
3.3.3	Resultados do teste de interferência de <i>uplink</i> (com ATPC desabilitado) .....	46
3.4	Medidas de ACLR do LTE (eNodeB e UE).....	46
4	TESTE DE INTERFERÊNCIA DA TVD NO LTE .....	49
4.1	Descrição do cenário do teste de interferência da TVD no LTE.....	49
4.2	Metodologia do teste de interferência da TVD no LTE .....	52
4.3	Resultados do teste de interferência da TVD no LTE .....	54
4.4	Medidas de ACLR da geração de sinal de TVD.....	61
5	TÉCNICAS DE MITIGAÇÃO UTILIZADAS.....	62
5.1	Mitigação da interferência do LTE na TVD.....	62
5.1.1	Mitigação da interferência do eNodeB LTE nos receptores de TVD .....	62
5.1.2	Mitigação para interferência do UE LTE nos receptores de TVD.....	65
5.2	Mitigação para interferência da TVD no LTE.....	67
5.3	Filtros utilizados nos testes de campo .....	69
5.3.1	Filtro passa-baixa – Filtro 1 .....	69
5.3.2	Filtro passa-baixa – Filtro 2 .....	70
5.3.3	Filtro passa-faixa.....	70
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES DE CONVIVÊNCIA.....	72
6.1	Interferência do LTE na TVD.....	72
6.1.1	<i>Downlink</i> do LTE.....	73
6.1.2	<i>Uplink</i> do LTE.....	76
6.2	Interferência da TVD no LTE.....	77
6.2.1	Recepção do eNodeB .....	77
6.2.2	Recepção do Terminal de Usuário .....	78
7	CONCLUSÕES .....	79

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Objetivo

Avaliação das condições de convivência entre sistemas IMT operando na Faixa de 700 MHz, utilizando tecnologia LTE, com a canalização estabelecida 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, possíveis situações críticas e medidas de mitigação decorrentes.

Adicionalmente, fornecer suporte ao Regulamento Sobre Condições de Convivência entre o Serviço de Radiodifusão de Sons e Imagens do SBTVD e Serviços de Telecomunicação Operando na Faixa de 698 MHz A 806 MHz e, por conseguinte, ao Edital de Licitação da Faixa de 700 MHz.

## 1.2 Escopo

Realizar testes em campo considerando o ambiente real montado em Pirenópolis-GO, sendo considerado complementares aos testes laboratoriais de Santa Rita do Sapucaí-MG.

Os testes visaram identificar condições que viabilizam a convivência entre os sistemas, possíveis situações críticas e medidas de mitigação decorrentes<sup>1</sup>.

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

- Interferência do LTE na TVD:

- a) Teste de *Downlink*: interferência causada pela transmissão do eNodeB LTE nos receptores de TVD;
- b) Teste de *Uplink*: interferência causada pela transmissão do CPE ou UE LTE nos receptores de TVD.

- Interferência da TVD no LTE:

- a) Interferência causada pela transmissão de TVD na recepção do eNodeB LTE;
- b) Interferência causada pela transmissão de TVD na recepção dos terminais CPE e móvel do LTE.

## 1.3 Definições 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.

---

<sup>1</sup> Não fez parte do escopo do presente trabalho o uso de estação móvel veicular ou estação terminal com ERP máxima de 33 dBm.

- 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.
- VIII. CPE (*Customer Premise Equipment*): Estação Terminal de Acesso do LTE. Para os fins deste documento o termo CPE refere-se ao equipamento fornecido pela Huawei.
- IX. RRU (*Remote Radio Unit*): unidade remota de rádio responsável pela transmissão/recepção dos sinais de radiofrequência.
- X. UE (*user equipment*): terminal móvel do usuário. Para os fins deste documento o termo UE refere-se ao equipamento fornecido pela Qualcomm.
- XI. MME (*Mobility Management Entity*): gerencia a mobilidade, parâmetros de identificação e segurança.
- XII. S-GW (*Serving Gateway*): nó que termina as interfaces para o E-UTRAN.
- XIII. P-GW (*Packet Data Network Gateway*): nó que termina as interfaces para a rede de pacotes (PDN).
- XIV. HSS (*Home Subscriber System*): elemento de rede responsável pelo provisionamento, registro, qualificação, localização dos terminais móveis. Possui a base de dados permanente do usuário.
- XV. PCRF (*Policy & Charging Rules Function*): elemento responsável pela análise das políticas de QoS e tarifação.
- XVI. IMS (*IP Multimedia Subsystem*): responsável pelo controle das sessões multimídia na rede núcleo LTE.
- XVII. OCS (*Online Charging System*): plataforma pré-pago.
- XVIII. OFCS (*Offline Charging System*): responsável pela tarifação na rede núcleo LTE.
- XIX. TOV (*threshold of visibility*): partindo da condição de recepção normal de sinal TV, 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.
- XX. HSS (*Home Subscriber System*): elemento de rede responsável pelo provisionamento, registro, qualificação, localização dos terminais móveis. Possui a base de dados permanente do usuário.
- XXI. IMS (*IP Multimedia Subsystem*): responsável pelo controle das sessões multimídia na rede núcleo LTE;
- XXII. MME (*Mobility Management Entity*): gerencia a mobilidade, parâmetros de identificação e segurança;
- XXIII. PCRF (*Policy & Charging Rules Function*): elemento responsável pela análise das políticas de QoS e tarifação;

- XXIV. P-GW (*Packet Data Network Gateway*): nó que termina as interfaces para a rede de pacotes (PDN);
- XXV. S-GW (*Serving Gateway*): nó que termina as interfaces para o E-UTRAN;
- XXVI. OCS (*Online Charging System*): plataforma pre-pago;
- XXVII. OFCS (*Offline Charging System*): responsável pela tarifação na rede núcleo LTE.

#### 1.4 Acrônimos

As abreviações baseadas no sistema LTE podem ser obtidas no documento 3GPP TR 21.905 Release 9 e aquelas citadas no texto são apresentadas a seguir.

3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
APN	<i>Access Point Name</i>
ARP	<i>Allocation and Retention Priority</i>
ARQ	<i>Automatic Repeat Request</i>
ATPC	<i>automatic transmission power control</i>
BBU	<i>Base Band Unit</i>
BCCH	<i>Broadcast Control Channel</i>
BCH	<i>Broadcast Channel</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BLER	<i>Block Error Rate</i>
C/I	<i>Carrier-to-Interference Power Ratio</i>
CP	<i>Cyclic Prefix</i>
CPC	<i>Continuous Packet Connectivity</i>
DL	<i>Down Link</i>
DRX	<i>Discontinuous Reception</i>
DTCH	<i>Dedicated Traffic Channel</i>
DTX	<i>Discontinuous Transmission</i>
EMM	<i>EPS Mobility Management</i>
eNB	<i>E-UTRAN NodeB</i>
EPC	<i>Evolved Packet Core</i>
EPS	<i>Evolved Packet System</i>
E-RAB	<i>E-UTRAN Radio Access Bearer</i>
E-UTRAN	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network</i>
HARQ	<i>Hybrid ARQ</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
ICIC	<i>Inter-Cell Interference Coordination</i>
IMEI	<i>International Mobile Equipment Identity</i>
IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identifier</i>
IPv4	<i>Internet Protocol version 4</i>
ISIM	<i>IP Multimedia Identity Services Module</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union - Telecommunications standardization sector</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>

MCS	<i>Modulation and Coding Scheme</i>
ME	<i>Mobile Equipment</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MMEC	<i>MME Code</i>
MMS	<i>Multimedia Messaging Service</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
PBCH	<i>Physical Broadcast Channel</i>
PBR	<i>Prioritized Bit Rate</i>
PCCH	<i>Paging Control Channel</i>
PCFICH	<i>Physical Control Format Indicator Channel</i>
PCH	<i>Page Channel</i>
PCI	<i>Physical Cell Identifier</i>
PCUs	<i>Packet Control Unit</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
PDCCH	<i>Physical Downlink Control Channel</i>
PDCH	<i>Packet Data Channel</i>
PDCP	<i>Packet Data Convergence Protocol</i>
PDSCH	<i>Physical Downlink Shared Channel</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PHICH	<i>Physical Hybrid ARQ Indicator Channel</i>
PHY	<i>Physical layer</i>
PLMN	<i>Public Land Mobile Network</i>
PMCH	<i>Physical Multicast Channel</i>
PMI	<i>Precoding Matrix Indicator</i>
PS	<i>Packet Switched</i>
PUCCH	<i>Physical Uplink Control Channel</i>
PUSCH	<i>Physical Uplink Shared Channel</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QCI	<i>QoS Class Identifier</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RAB	<i>Radio Access Bearer</i>
RACH	<i>Random Access Channel</i>
RAT	<i>Radio Access Technology</i>
RB	<i>Radio Bearer</i>
RBC	<i>Radio Bearer Control</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RFC	<i>Request for Comments</i>
RI	<i>Rank Indicator</i>
RIM	<i>RAN Information Management</i>
RLC	<i>Radio Link Control</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RPC	<i>Remote Procedure Call</i>
RRC	<i>Radio Resource Control</i>
RRM	<i>Radio Resource Management</i>
RRU	<i>Radio Remote Unit</i>

RSRP	<i>Reference Signal Received Power</i>
RSRQ	<i>Reference Signal Received Quality</i>
RSSI	<i>Reference Signal Strength Indicator</i>
S1-MME	<i>S1 for the control plane</i>
S1-U	<i>S1 for the user plane</i>
SCH	<i>Synchronization Channel</i>
SDF	<i>Service Data Flow</i>
SDMA	<i>Spatial Division Multiple Access</i>
SDR	<i>Software Defined Radio</i>
SFBC	<i>Space-Frequency Block Coding</i>
S-GW	<i>Serving Gateway</i>
SI	<i>System Information</i>
SIB	<i>System Information Block</i>
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
SINR	<i>Signal to Interference-plus-Noise Ratio</i>
SR	<i>Scheduling Request</i>
SRB	<i>Signalling Radio Bearer</i>
TA	<i>Timing Advance</i>
TA	<i>Tracking Area</i>
TAC	<i>Tracking Area Code</i>
TAD	<i>Traffic Aggregate Description</i>
TAI	<i>Tracking Area Identity</i>
TAU	<i>Tracking Area Update</i>
TB	<i>Transport Block</i>
<i>Throughput</i>	<i>Máxima de taxa de transferência de download</i>
TTI	<i>Transmission Time Interval</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UL	<i>Up Link</i>
USIM	<i>Universal Subscriber Identity Module</i>
VRB	<i>Virtual Resource Block</i>

## 1.5 Referências

- 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.*
- *3GPP TS 23.002 - 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Network architecture (Release 10).*
- *3GPP TS 36.401 - LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Architecture description (3GPP TS 36.401 version 8.6.0 Release 8)*

- *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.
- Relatório de Teste Laboratorial de Interferência do LTE na faixa de 700 MHz no ISDB-T, Anatel 04-2014.
- 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.
- Sítio eletrônico: [iperf.fr](http://iperf.fr), ferramenta de medição de performance de redes.

## 2 AMBIENTE DE TESTES

A cidade de Pirenópolis-GO está localizada a 110 km de Brasília em linha reta (150 km pela estrada) e foi escolhida devido suas características propícias de topografia, que protegem o ambiente urbano de sinais provenientes de outras localidades, e da infraestrutura disponibilizada pela operadora Oi. Outras cidades consideradas foram Cocalzinho-GO, Corumbá de Goiás-GO e Santa Rita do Sapucaí-MG.

Em Pirenópolis obteve-se: isolamento de interferências provenientes de estações de TV de outros municípios; cobertura do sinal de TV sem obstrução, com visada direta para as antenas de recepção; minimização de multipercurso na propagação do sinal TV. A morfologia de Pirenópolis, para fins de modelos de propagação, é considerada um ambiente suburbano.

A Figura 1 mostra os principais locais utilizados na cidade para os testes em campo, detalhados na Tabela 1.



Figura 1. Campo de teste em Pirenópolis

Para realização dos testes foi montado um sistema de transmissão de TV Digital (TVD) na mesma torre de transmissão analógica da TV Anhanguera, no Morro do Frota, em Pirenópolis.

O sistema foi construído com a recepção de TV Digital no canal 33 (UHF) da TV Anhanguera de Anápolis e sua retransmissão em Pirenópolis, através de um transmissor de TV Digital de até 100 W, configurado para o canal desejado de estudo.

Fotos do sistema de transmissão montado podem ser vistas a seguir.

Tabela 1. Pontos de teste em Pirenópolis.

<b>Local</b>	<b>Latitude (S)</b>	<b>Longitude (O)</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Altura do centro da antena (m)</b>
Transmissor TVD	15°50'01.70"	48°57'50.08"	1019	36,5
ERB LTE	15°51'18.80"	48°57'33.90"	787	12,4
Ponto de Medida 1	15°51'19.00"	48°57'36.60"	787	12,0 (*)
Ponto de Medida 2	15°51'17.10"	48°57'34.30"	788	12,0 (*)
Ponto de Medida 3	15°51'17.40"	48°57'29.50"	786	12,0 (*)
Site Fixo	15°51'25.80"	48°57'35.30"	790	10,0 (**)

(\*) Antena externa fixada no mastro telescópico da unidade de medida.

(\*\*) Antena externa fixada no site fixo.



Transmissor de TV Digital

Figura 2. Instalação do transmissor de TVD no Morro do Frota



Figura 3. Torre transmissora de TVD. Antena utilizada no detalhe.

## 2.1 Sistemas de recepção

### 2.1.1 Unidade Móvel

A Figura 4 mostra o diagrama de ligação para o sistema de recepção utilizado na Unidade Móvel de Medição (UM).

A UM contava com um mastro telescópico cuja altura varia de 3,3 m a 12 m.

A antena de recepção dos sinais de TV e LTE pode ser alterada para os tipos de antena disponíveis na UM que eram:

- a) Antena interna, posicionada a 1,5 m de altura em relação ao solo;
- b) Antena interna amplificada, posicionada horizontalmente a 1,5 m de altura em relação ao solo;
- c) Antena externa, com altura de 12 m em relação ao solo;
- d) Antena externa, com altura de 12 m em relação ao solo e com amplificador adicional que pode ser inserido antes do divisor de RF.

A Tabela 2 apresenta a relação dos equipamentos utilizados na UM e suas principais características.

Tabela 2. Características nominais dos equipamentos utilizados na UM.

Item	Característica
Antena Externa	Antena UHF Log Periódica de 38 elementos; Fabricante: Proeletronic; Modelo: PROHD-1300; Ganho: 16 dBi; Frequência: 470 a 890 MHz; Relação Frente-Costa: > 20 dB; Largura de Feixe: 54°H 68°V; Impedância: 75Ω; ROE: < 2.
Antena Interna Amplificada	Antena interna VHF e UHF; Fabricante: Philips; Modelo: SDV-8625T/55; Ganho: 22 dBi.
Antena Interna Passiva	Antena interna VHF e UH; Fabricante: Philips; Modelo: SDV-1225T/55; Ganho: 2,15 dBi (referência). Comprimento do cabo da antena: 180 cm.
Cabo de descida	Cabo coaxial série 6, 60%, 75Ω, Anatel 1182-06-3359, Fabricante: Proeletronic, Comprimento: 20 m.
Divisor de RF 1:4	Divisor de RF com quatro saídas; Frabricante: Proeletronic; Modelo: PQDV-1024; Frequência: 5 a 1000 MHz; Perda de inserção: $8 \pm 1,5$ dB; Isolação entre as saídas: > 18 dB; Perda de retorno na entrada: 14 dB; Isolação: 130 dB RF.
Cabos internos	Cabo coaxial série 6, 60%, 75Ω, Anatel 1182-06-3359, Fabricante: Proeletronic.
Casador de impedância	Casador 75Ω/50Ω, Perda total: 6,2 dB.
Amplificador	Amplificador de Linha, Fabricante: Proeletronic; Modelo: PQAL-2500; Ganho: 25 dB; Frequência: 1 GHz; Alimentação: 110/220 V.
Conectores	Conector “F” RG-6 de compressão; Fabricante: Proeletronic; Modelo: CNF60012AZ; Faixa de Frequência: 2 a 3000 MHz; Impedância: 75 Ω; Tensão de trabalho: 1500 V máx.; Tensão de Isolação: 2500 V rms.

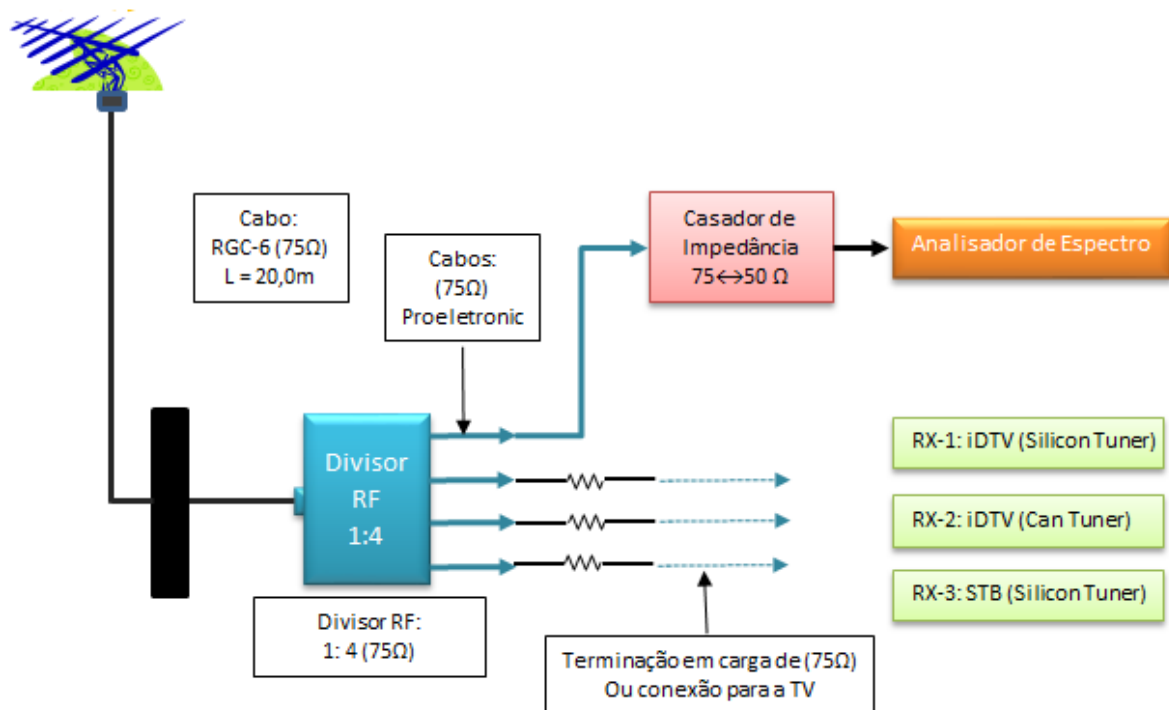


Figura 4. Diagrama de recepção na Unidade Móvel

## 2.1.2 Sistemas utilizados no ponto fixo

### 2.1.2.1 Sistema de recepção convencional

A Figura 5 mostra o diagrama de ligação para o sistema de recepção utilizado no Ponto Fixo (casa).

A antena de recepção dos sinais de TV e LTE pode ser alterada para os tipos de antena disponíveis na casa que eram:

- Antena interna, posicionada a 1,4 m de altura em relação ao piso;
- Antena interna amplificada, posicionada horizontalmente a 1,4 m de altura em relação ao piso;
- Antena externa 1, com altura de 10 m em relação ao solo;
- Antena externa 1, com altura de 10 m em relação ao solo e com amplificador adicional que pode ser inserido antes do divisor de RF.
- Antena externa 2, com altura de 10 m em relação ao solo que simula um sistema de recepção coletivo.

A Tabela 3 apresenta a relação dos equipamentos utilizados no Ponto Fixo e suas principais características.

Tabela 3. Características nominais dos equipamentos utilizados no Ponto Fixo.

Item	Característica
Antena Externa 1	Antena UHF Log Periódica de 14 elementos; Fabricante: Proeletronic; Modelo: PROHD-1040A; Ganho: $11 \pm 1,5$ dBi; Frequência: 470 a 900 MHz; Relação Frente-Costa: $> 20$ dB; Largura de Feixe: $56^\circ\text{H } 75^\circ\text{V}$ ; Impedância: $75\Omega$ ; ROE: $< 1,7$ .
Antena Externa 2	Antena UHF Log Periódica de 14 elementos; Fabricante: Proeletronic; Modelo: PROHD-1040A; Ganho: $11 \pm 1,5$ dBi; Frequência: 470 a 900 MHz; Relação Frente-Costa: $> 20$ dB; Largura de Feixe: $56^\circ\text{H } 75^\circ\text{V}$ ; Impedância: $75\Omega$ ; ROE: $< 1,7$ .
Antena Interna Amplificada	Antena interna VHF e UHF; Fabricante: Philips; Modelo: SDV-8625T/55; Ganho: 22 dBi.
Antena Interna Passiva	Fabricante: Thevear; Ganho: 2,15 dBi (referência); Modelo: COROLA 369A sintonia por comando giratório.
Cabo de descida	Cabo coaxial série 6, 60%, $75\Omega$ , Anatel 1182-06-3359, Fabricante: Proeletronic, Comprimento: 19 m ou 20 m (ver Figura 5).
Divisor de RF 1:4	Divisor de RF com quatro saídas; Fabricante: Proeletronic; Modelo: PQDV-1024; Frequência: 5 a 1000 MHz; Perda de inserção: $8 \pm 1,5$ dB; Isolação entre as saídas: $> 18$ dB; Perda de retorno na entrada: 14 dB; Isolação: 130 dB RF.
Cabos internos	Cabo coaxial série 6, 60%, $75\Omega$ , Anatel 1182-06-3359, Fabricante: Proeletronic.
Casador de impedância	Casador $75\Omega/50\Omega$ , Perda total: 6,2 dB.
Amplificador	Amplificador de Linha, Fabricante: Proeletronic; Modelo: PQAL-2500; Ganho: 25 dB; Frequência: 1 GHz; Alimentação: 110/220 V.
Conectores	Conector "F" RG-6 de compressão; Fabricante: Proeletronic; Modelo: CNF60012AZ; Faixa de Frequência: 2 a 3000 MHz; Impedância: $75 \Omega$ ; Tensão de trabalho: 1500 V máx.; Tensão de Isolação: 2500 V rms.

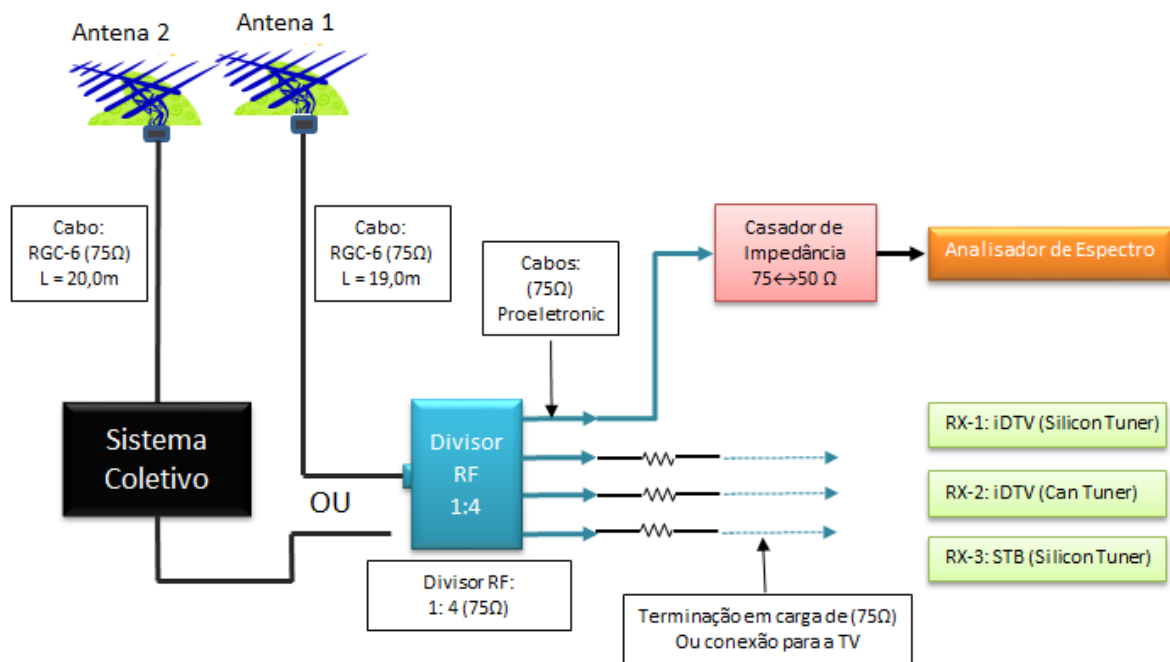


Figura 5. Diagrama de recepção no ponto fixo

### 2.1.2.2 Sistema de recepção coletivo

A Figura 6 mostra o diagrama de ligação para o sistema de recepção de antena coletiva montado no Ponto Fixo.

O sistema de recepção de antena coletiva instalado no ponto fixo é formado por uma antena externa, 20 metros de cabo de 75Ω, amplificador de antena coletiva e um painel de distribuição de sinal TVD que simula a distribuição desse sinal para vários apartamentos, com uma atenuação média de 27 dB. A Tabela 4 apresenta a relação dos componentes do sistema de recepção coletivo e suas principais características.

Tabela 4. Características nominais dos componentes do sistema de recepção coletivo.

Item	Característica
TAP 1:2	Fabricante: Proeletronic; Modelo: PQTT-1200B; Frequência: 5 a 1000 MHz; Perda de inserção: 0,5 dB; Saída: -20 dB.
Divisor de RF 1:4	Divisor de RF com quatro saídas; Fabricante: Proeletronic; Modelo: PQDV-1024; Frequência: 5 a 1000 MHz; Perda de inserção: $8 \pm 1,5$ dB; Isolação entre as saídas: > 18 dB; Perda de retorno na entrada: 14 dB; Isolação: 130 dB RF.
Amplificador Coletivo	Amplificador de CATV, Fabricante: Proeletronic; Modelo: PQAP-6350/01; Ganho: 35 dB; Frequência: 54 a 1000 MHz; Alimentação: 110/220 V.

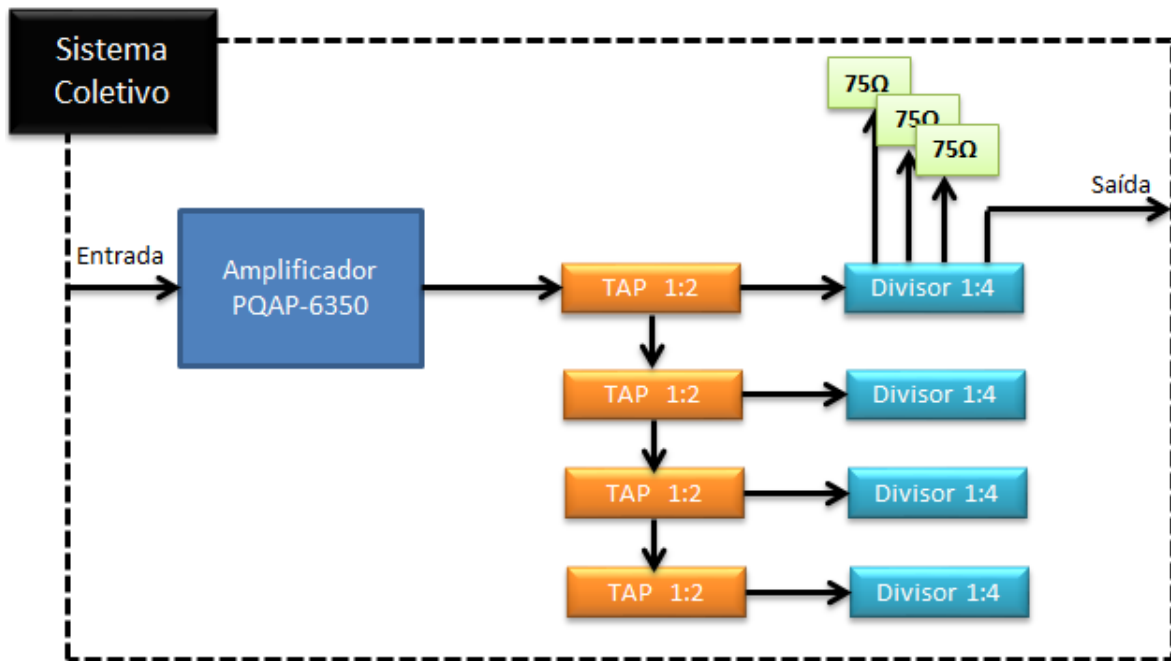


Figura 6. Sistema de recepção coletivo de TV

## 2.2 Sistema de transmissão de TVD

A Figura 7 mostra um diagrama simplificado do sistema de transmissão de TVD montado no Morro do Frota, em Pirenópolis.

O sistema de transmissão de TVD utilizado consiste basicamente na retransmissão do sinal TVD recebido de Anápolis-GO. Esse sinal é recebido no canal 33 de UHF por uma antena Yagi, demodulado em sinal banda base de vídeo digital, retransmitido pelo modulador e transmissor de TVD por meio de uma antena painel com ganho de 11 dBd *at mid band*.

A frequência e a potência de transmissão do sinal TVD são ajustados pelo software de controle do transmissor. Na transmissão dos canais 38, 48 e 51 contava com a possibilidade de adicionar um filtro de máscara crítica.

A Tabela 5 apresenta a relação dos equipamentos utilizados na transmissão de TVD e suas principais características.

Tabela 5. Características nominais dos equipamentos utilizados na transmissão de TVD.

Item	Característica
Antena de Transmissão	Fabricante: Kathrein; Modelo: K 72 31 4.. (Type No.: 774052); Polarização: horizontal; VSWR: 1,1; Ganho: 11 dBd <i>at mid band</i> ; Faixa de frequência: 470-860 MHz; Potência máx.: 1 kW; Largura de feixe: 62°H - 28°V.
Linha de Transmissão	Cabo coaxial; Fabricante: COMMSCOPE; Modelo: LDF4-50A; Impedância: 50 Ω; Atenuação: 5,99 dB/100m (canal 51), 5,62 dB/100m (canal 38) e 5,90 dB/100m (canal 48); Comprimento: 43 m.
Filtro	Fabricante: Contech; Modelo: 7 polos – BAND PASS (A-CL7X50C-EE); Máscara ISDB-T: crítica; Faixa de frequência: 470-862 MHz; Perda de inserção: < 3,6 dB <i>at mid band</i> ± 3,8 MHz.
Transmissor ISDB-T	Fabricante: Screen Service; Modelo: SDT2001UB; Frequência: 470 a 746 MHz; Potência: 100 W; Designação de emissões: 5M50D7W; Anatel: 2669-09-4869.

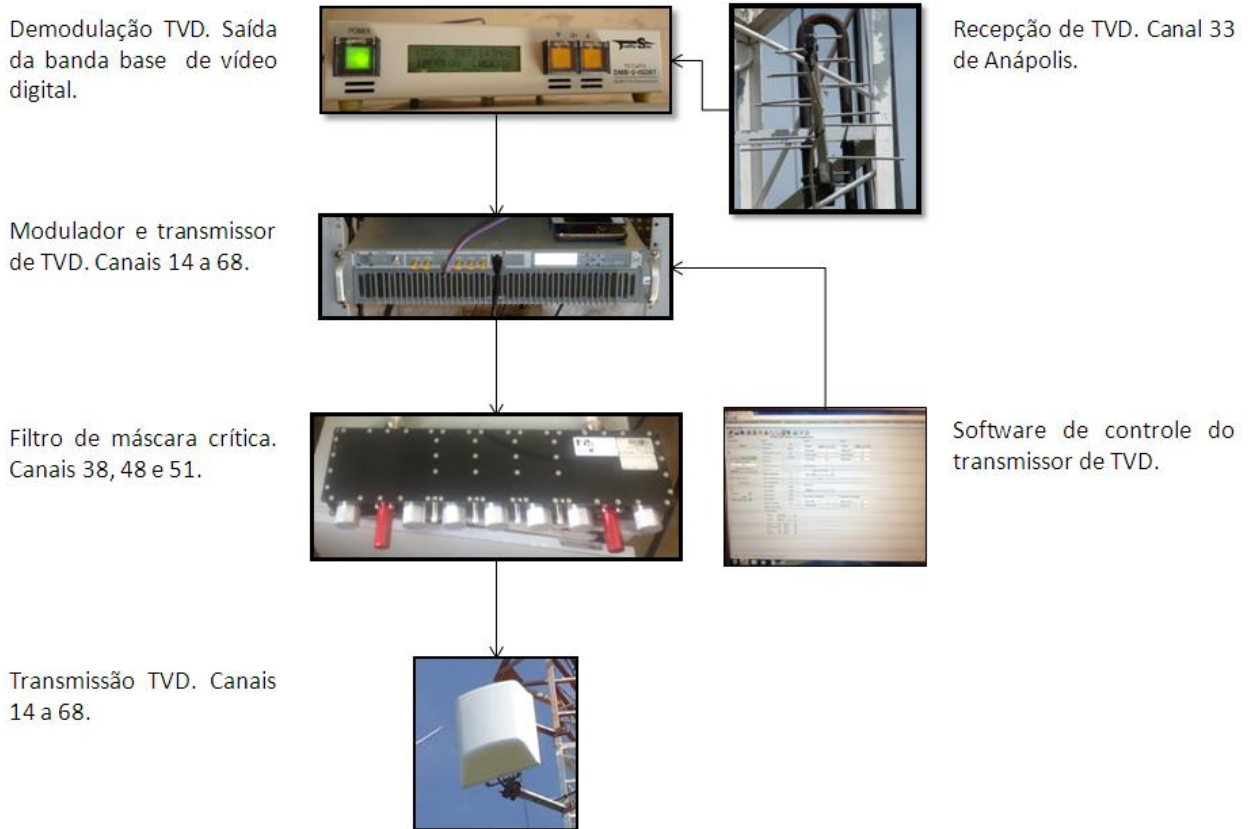


Figura 7. Diagrama do sistema de transmissão de TVD

A Figura 8 mostra a avaliação da qualidade do sinal recebido na UM, no Ponto 1 com antena externa passiva.

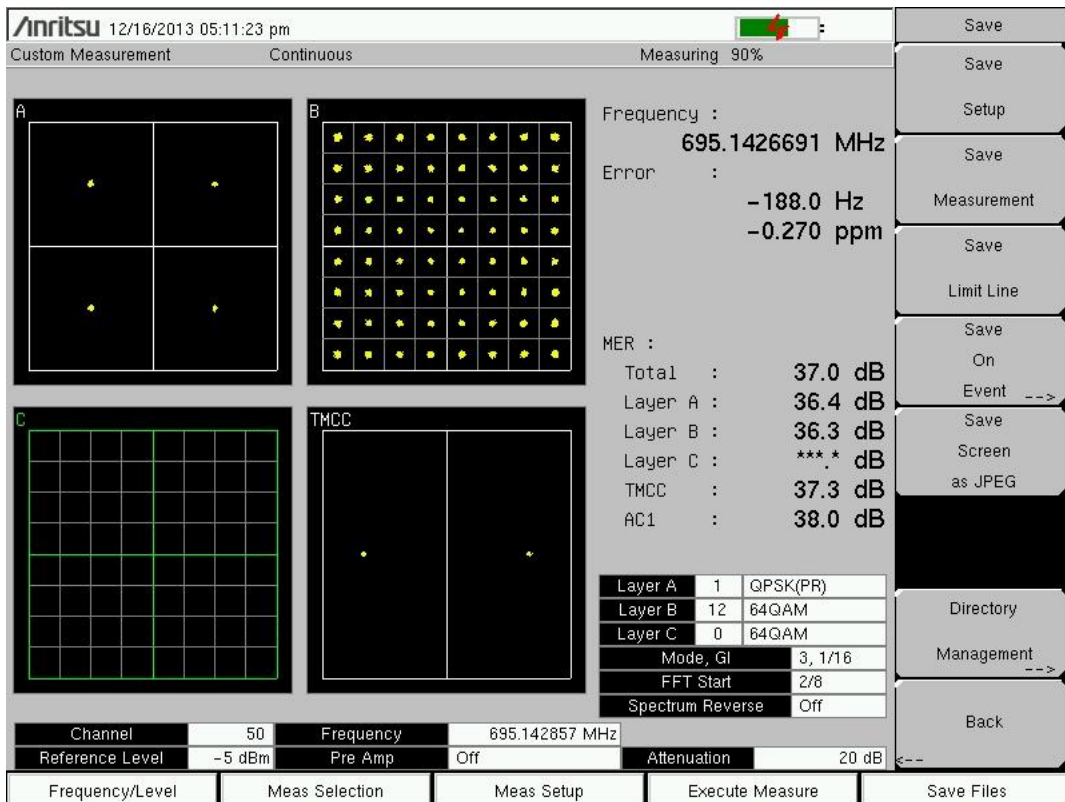


Figura 8. Avaliação do sinal de TVD recebido na UM

### 2.3 Sistema de transmissão de LTE

O sistema LTE/EPC utilizado nos testes segue a arquitetura 3GPP definida nas recomendações 3GPP TS 23.002 e 3GPP TS 36.401. Esta arquitetura é composta por duas partes: a Rede de Acesso (E-UTRAN) constituída da sua eNodeB; e a rede núcleo (EPC) constituída por diversos elementos, como: MME; S-GW; P-GW; HSS; PCRF; IMS entre outros. A Figura 9 descreve a configuração lógica dos principais elementos desta arquitetura.

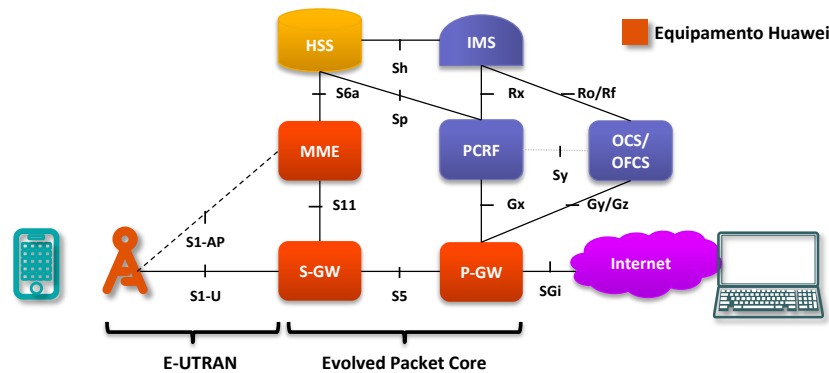


Figura 9. Topologia Lógica.

O eNodeB, fornecido pela Huawei, utilizada nos testes de convivência em Pirenópolis é baseado na arquitetura SDR (*Software Defined Radio*), com a separação da Unidade Remota de Rádio (RRU) e Unidade de Banda Básica (BBU).

O eNodeB trata da comunicação de dados entre as estações móveis e o núcleo da rede da Oi localizado no Rio de Janeiro. Os diagramas da Figura 10 e Figura 11 apresentam, respectivamente, a topologia física e a pilha de protocolos de comunicação de dados do sistema LTE para o setup de Pirenópolis.

Conforme Figura 10, foi usado o transporte SDH da interface S1 (entre a eNodeB e o EPC). Esta escolha se deu porque o SDH é determinístico e não influencia nos resultados de desempenho.

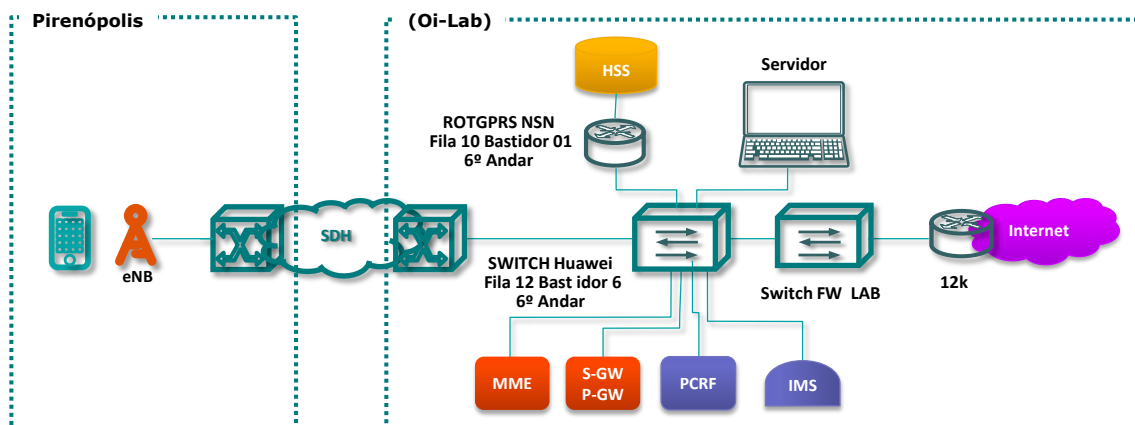


Figura 10. Topologia Física

A interface S1 é subdividida em dois planos: controle (S1-APL) e Usuário (S1-U). Para o plano de controle, o eNodeB termina a sua conexão ao MME e para o plano do usuário e acesso à Internet e servidor de aplicação através do S/P-GTW.

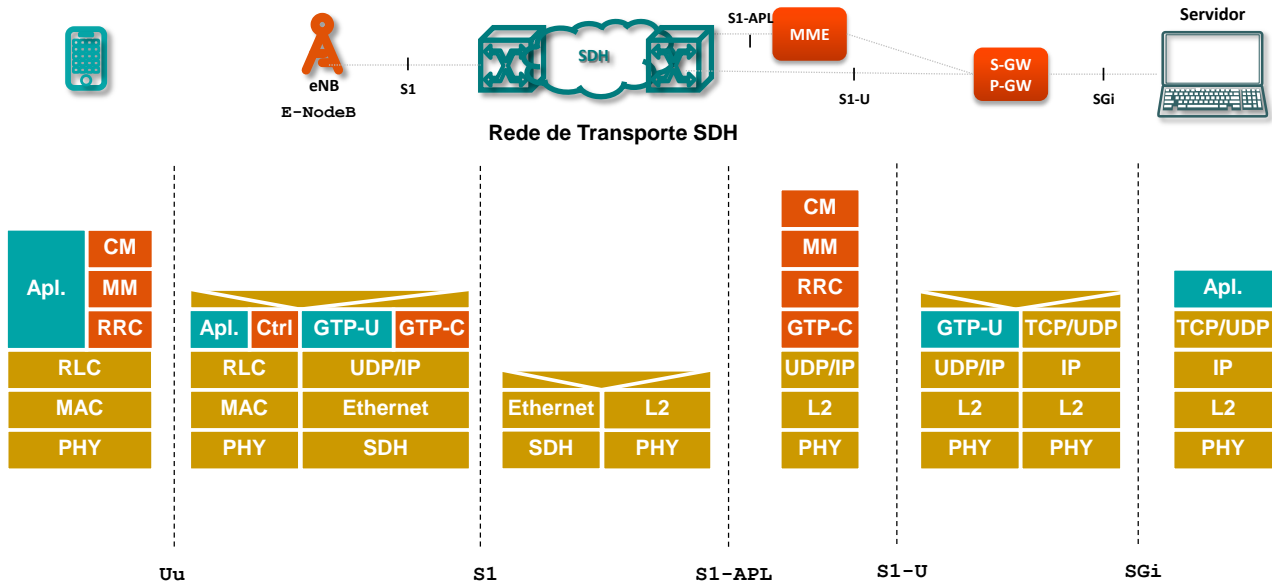


Figura 11. Pilha de Protocolos

Nos testes foram instalados três RRU, dois deles conectados à antena, para testes de interferência do sistema LTE na recepção de TVD, e outra instalada dentro da estação da Oi, para testes de caracterização do LTE e testes de interferência da transmissão TVD na comunicação LTE.

O ajuste de frequência, largura de faixa e potência de transmissão são executados através de software de controle do eNodeB.

Os dispositivos terminais de usuários consistem de três *Customer Premises Equipment* (CPE), fornecido pela Huawei, e um terminal móvel (UE) fornecido pela Qualcomm.

Os equipamentos cedidos pela Huawei são protótipos de equipamentos comerciais. O terminal móvel utilizado é um protótipo de smartphone multibanda e multimodo, cujas especificações estão dentro das estabelecidas pelos padrões do 3GPP, e que serve de design de referência para o desenvolvimento de equipamentos comerciais.

A Figura 12 mostra um diagrama do sistema de transmissão LTE utilizado nos testes em campo. O azimuth do setor 0 era de 348° (norte verdadeiro), apontado para o sistema de transmissão de TVD no Morro do Frota, e o setor 1 foi instalado a 180° em relação ao setor 0.

A Tabela 6 apresenta a relação dos equipamentos utilizados na transmissão de LTE e suas principais características.

Tabela 6. Relação dos equipamentos utilizados na transmissão de LTE e suas principais características.

Item	Característica
Antena de Transmissão LTE	Fabricante: Andrew; Modelo: LNX-6515DS-VTM; Frequência: 698-896 MHz; Largura de Feixe: $65\pm 2^\circ$ H e $9,6^\circ$ V; Ganho: 16,7 dBi; Relação frente-costas: 32 dB; Isolação: 30 dB; Potência máxima: 400 W; Polarização: $\pm 45^\circ$ ; Impedância: 50 $\Omega$ ; Comprimento: 2447 mm.
Linha de Transmissão	Cabo Coaxial; Impedância: 50 $\Omega$ .
eNodeB	Modelo: APM-30H; Fabricante: Huawei.
RRU	Modelo: RRU-3268; Fabricante: Huawei; Potência máxima: 2 x 40 W. Frequência: UL 703-743 MHz, DL 758-798 MHz, banda A.
CPE	Modelo: LTE UE (protótipo); Versão: V200R005C00; Fabricante: Huawei; Categoria: CAT 4; Potência de transmissão: 23 dBm $\pm$ 2dB; <i>Antenna Mode</i> : 1T1R 1T2T 2T4R.
UE (terminal móvel)	Modelo: MTP8974+WTR1625; Fabricante: Qualcomm; Categoria: CAT 3; Classe de potência: 3; Chipset: MSM8974; Versão de HW: MSM8974 PRO AB 1.1 (MSM8974 PRO AB 1.1, 2GB DDR, PM8X41, WTR1625 2.0, WFR1620 1.0, RF APAC CA).

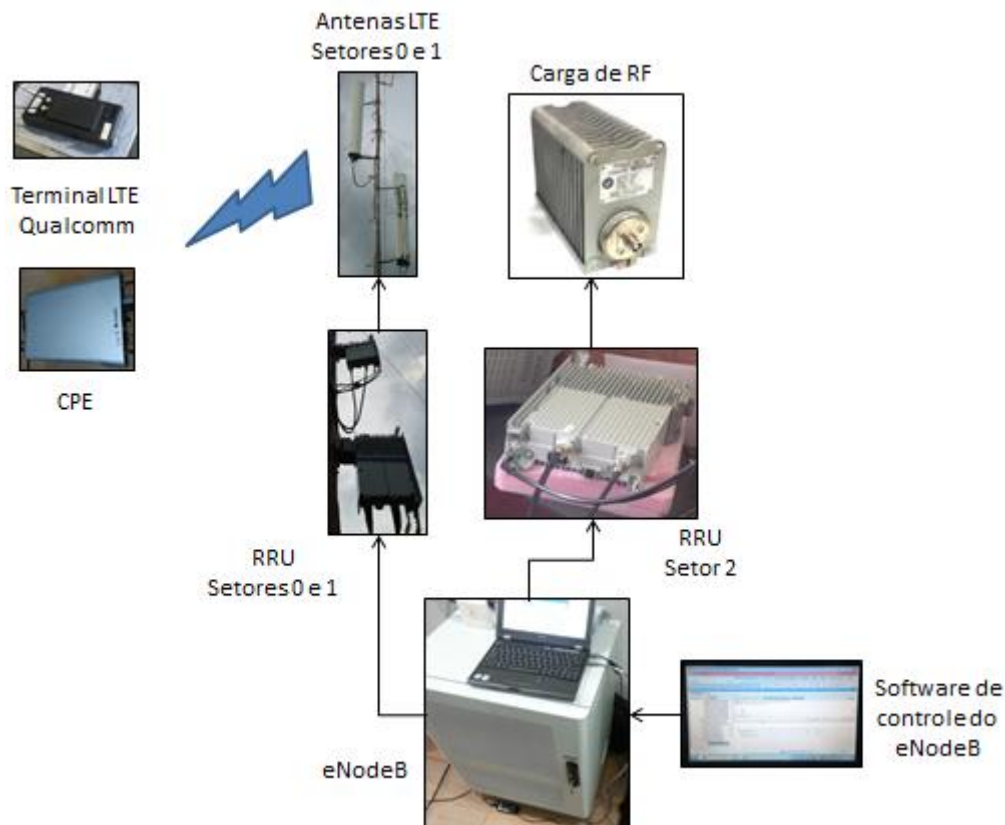


Figura 12. Sistema de transmissão LTE

## 2.4 Receptores de TV utilizados

A Tabela 7 relaciona o tipo e o sintonizador de cada receptor utilizado no teste. Os equipamentos foram fornecidos pela SET/Mackenzie (Rx2, Rx3 e Rx5), pelo Sinditelebrasil (Rx1) e por um fabricante de *set-top box* (Rx4), e são equipamentos de fabricantes distintos.

Os receptores usados em Pirenópolis não foram os mesmos de Santa Rita do Sapucaí. Entretanto, os receptores Rx3 e Rx4 usados em Pirenópolis correspondem, respectivamente, ao mesmo modelo dos receptores Rx3 e Rx2 referidos na Tabela 6 do Relatório de Teste Laboratorial de Interferência do LTE na faixa de 700 MHz no ISDB-T, Anatel 04-2014, efetuados em Santa Rita do Sapucaí.

Tabela 7. Receptores utilizados no teste de *uplink*.

Receptor	Sintonizador	Tipo
Rx 1	Silicon	iDTV
Rx 2	Can	iDTV
Rx 3	Silicon	STB
Rx 4	Silicon	STB
Rx 5	Silicon	iDTV

## 2.5 Setup de teste para medidas

### 2.5.1 Analisador de espectro

Durante os testes de campo em Pirenópolis foi utilizado o analisador de espectro Rohde&Schwarz FSVR30, pertencente à Anatel. As medidas realizadas nos testes usaram as configurações padrões apresentadas na Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8. Configuração para medidas de potência do canal para LTE e TVD.

Parâmetro	TVD	LTE <i>Uplink</i>	LTE <i>Downlink</i>
<i>Center Frequency</i>	695,142857 MHz [51]	705,5 MHz [Bloco 1] 713 MHz [Blocos 2 e 3] 718 MHz [Blocos 2 a 5]	760,5 MHz [Bloco 1] 768 MHz [Blocos 2 e 3] 773 MHz [Blocos 2 a 5]
<i>Span</i>	7 MHz	6 MHz [Bloco 1] 12 MHz [Blocos 2 e 3] 24 MHz [Blocos 2 a 5]	6 MHz [Bloco 1] 12 MHz [Blocos 2 e 3] 24 MHz [Blocos 2 a 5]
<i>Channel Bandwidth</i>	5,57 MHz	5 MHz [Bloco 1] 10 MHz [Blocos 2 e 3] 20 MHz [Blocos 2 a 5]	5 MHz [Bloco 1] 10 MHz [Blocos 2 e 3] 20 MHz [Blocos 2 a 5]
<i>Trace</i>	<i>Average</i> [100]	<i>Average</i> [3000]	<i>Average</i> [3000]
<i>VBW</i>	300 kHz	300 kHz	300 kHz
<i>RBW</i>	30 kHz	30 kHz	30 kHz
<i>Offset*</i>	6,20 dB	6,20 dB	6,20 dB

<i>Sweep Time</i>	10,1 ms	1,1 ms	1,1 ms
<i>Sweep Points</i>	10001	691	691
<i>Noise correction</i>	Desativado	Desativado	Desativado
<i>Preamplifier</i>	Ativado	Ativado	Ativado
<i>Detection mode</i>	RMS	RMS	RMS

\* o offset de 6,2 dB se refere à perda medida do casador de impedância de 75Ω/50Ω.

Tabela 9. Configuração típica para as medidas de ACLR para LTE e TVD.

<b>Parâmetro</b>	<b>Gerador TVD</b>	<b>Uplink: CPE ou UE LTE</b>	<b>Downlink: RRU LTE**</b>
<i>Center Frequency</i>	695,142857 MHz [51]	705,5 MHz [Bloco 1] 713 [Blocos 2 e 3] 718 [Blocos 2 a 5]	760,5 MHz [Bloco 1] 768 [Blocos 2 e 3] 773 [Blocos 2 a 5]
<i>Span</i>	183 MHz	190 MHz [Bloco 1] 206 MHz [Blocos 2 e 3] 216 MHz [Blocos 2 a 5]	180 MHz [Bloco 1] 208 MHz [Blocos 2 e 3] 193 MHz [Blocos 2 a 5]
<i>Channel Bandwidth</i>	5,57 MHz	5 MHz [Bloco 1] 10 MHz [Blocos 2 e 3] 20 MHz [Blocos 2 a 5]	5 MHz [Bloco 1] 10 MHz [Blocos 2 e 3] 20 MHz [Blocos 2 a 5]
<i>Trace</i>	<i>Clear Write</i>	<i>Clear Write</i>	<i>Clear Write</i>
<i>VBW</i>	100 Hz	100 Hz	100 Hz
<i>RBW</i>	30 kHz	30 kHz	30 kHz
<i>Offset</i>	30 dB	7 dB	30 dB
<i>Sweep Time</i>	6,8 s	6,8 s	6,8 s
<i>Sweep Points</i>	691	691	691
<i>Noise correction</i>	Ativado	Ativado	Ativado
<i>Preamplifier</i>	Ativado	Ativado	Ativado
<i>Detection mode</i>	RMS	RMS	RMS

\*\* No teste de ACLR *Downlink* 100% do bloco1 foi utilizado VBW = 500 Hz e SWT = 1s. No teste de ACLR *Downlink* 100% dos bloco2 e 3 foi utilizado VBW=300 Hz e SWT = 1s.

### 2.5.2 Técnica para geração de tráfego no sistema LTE

A forma utilizada para gerar tráfego de dados entre CPE ou UE e a eNodeB e monitorar essa taxa de transferência foi adotar o uso do Iperf.

O Iperf é um software livre que cria uma conexão do tipo cliente/servidor. O cliente gera continuamente e por tempo limitado pacotes de dados para o servidor, que lê e analisa esses pacotes e informa o estado da conexão estabelecida.

As configurações de taxa de transmissão, protocolo de transporte, tempo de transmissão, endereço da estação servidor, tamanho do pacote e tempo de envio de relatório são estabelecidas pela estação cliente. O servidor informa a taxa de transmissão recebida, o jitter e a taxa de erro.

Para testes de *downlink*, o fluxo de dados segue do eNodeB para a CPE ou UE, portanto, a estação cliente é estabelecida, via telnet, na rede núcleo EPC do laboratório da Oi no Rio de Janeiro, conforme Figura 10, e o CPE ou UE é configurado como estação servidor.

Para testes de *uplink*, o fluxo de dados se inverte, assim é configurada uma estação servidor no Rio de Janeiro, enquanto o CPE ou UE em Pirenópolis é configurado como estação cliente.

A seguir os comandos usados para criação de estações servidor/cliente:

Para tráfego de dados LTE de 100%:

Estação cliente:

```
>> iperf -c [IP Servidor] -u -i 5 -t 9999 -b [throughput gerado]
```

Estação servidor:

```
>> iperf -s -u -i 5
```

Para tráfego de dados LTE de 10%:

Estação cliente: executa um arquivo em lotes do Windows:

```
>> :loop
>> iperf -c [IP Servidor] -u -t 0.03
>> sleep 0.27
>> goto loop
```

Estação servidor:

```
>> iperf -s -u -i 5
```

### 3 TESTE DE INTERFERÊNCIA DO LTE NA TVD

#### 3.1 TESTE DE *DOWNLINK*: interferência do eNodeB LTE nos receptores de TVD

##### 3.1.1 Descrição dos cenários do teste de interferência de *downlink*

Os testes de interferência do sinal transmitido pelo eNodeB LTE (*downlink*) no receptor de TV Digital foram realizados com propagação de sinais de RF em ambiente real em área aberta, sendo selecionados quatro locais ou pontos de recepção, onde a Unidade Móvel de Medição era posicionada em três destes locais e o quarto local era o Ponto Fixo de medição (casa ou sala de teste).

Os quatro locais de teste, são apresentados nas figuras a seguir. Os detalhes dos equipamentos e sistemas de recepção utilizados já foram mostrados no capítulo 2.

##### 3.1.1.1 Ponto de teste 1

Localizado junto a estação de telefonia da Oi em Pirenópolis, este ponto foi escolhido por permitir a colocação da Unidade Móvel de Medidas o mais próximo possível da antena transmissora de LTE e ainda assim atender uma condição de campo próximo radiante, no qual o modelo de propagação fonte-ponto é aceitável, em que a distância mínima ( $D_{\min}$ ) é definida por:

$$D_{\min} = 0,62 \cdot \frac{L^2}{\lambda} = 0,62 \cdot \frac{(2,447)^2}{0,4} = 9,3 \text{ m}$$

onde  $L$  é a maior dimensão da antena LTE e  $\lambda$  é o comprimento de onda para 750 MHz.

Assim, fixou-se a distância entre a antena receptora de TV e a antena transmissora de LTE em 10 m, com um ângulo de azimute de  $0^\circ$  entre elas. Este ponto de teste permitiu a recepção do maior nível possível de sinal LTE, sendo utilizado para avaliar a Relação de Proteção (PR) em várias configurações do sistema e testar algumas técnicas de mitigação.

A Figura 13 mostra a UM posicionada no ponto 1 de teste.

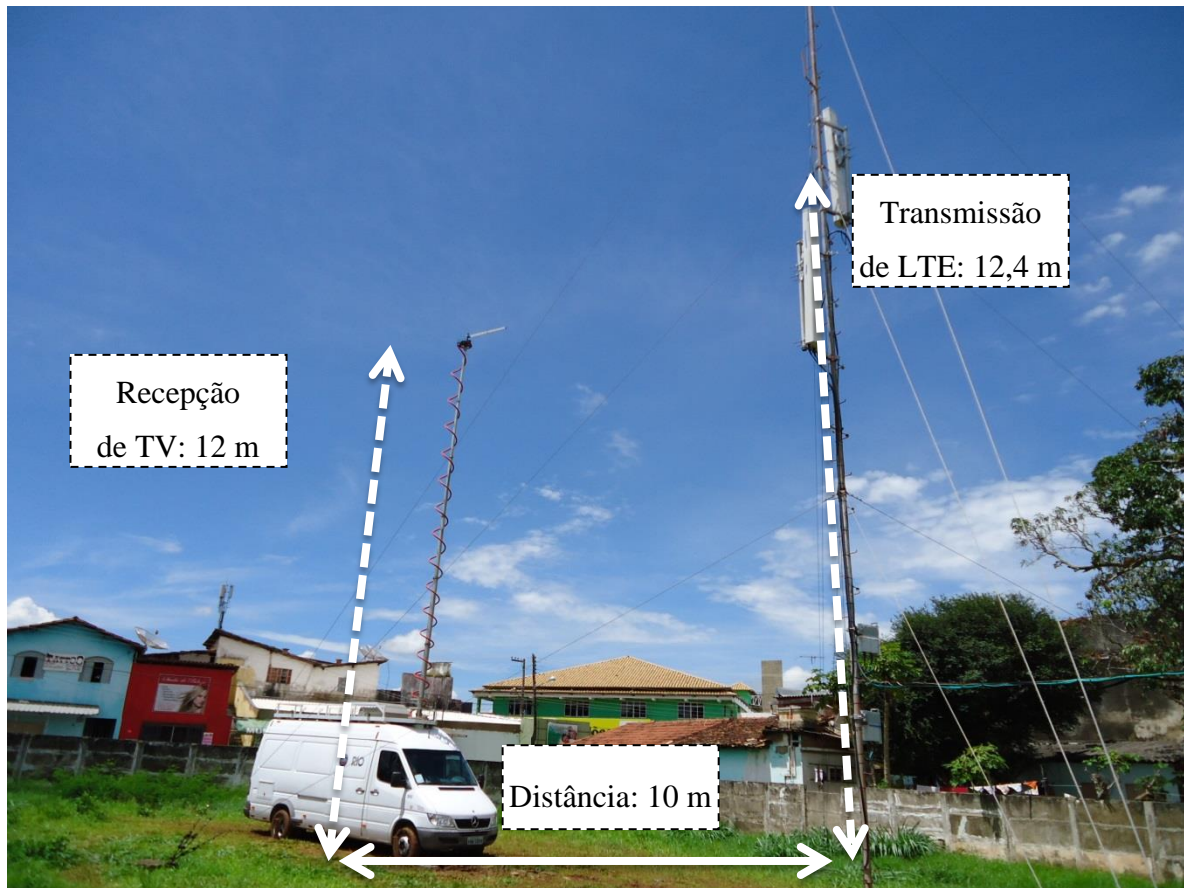


Figura 13. Ponto 1 de teste.

### 3.1.1.2 Ponto de teste 2

Localizado junto a prefeitura municipal de Pirenópolis, à Av. Sizenando Jaime, este ponto foi escolhido por permitir a colocação da Unidade Móvel de Medidas num ponto intermediário entre a antena transmissora de TVD e a antena do LTE, em uma linha reta, com a antena receptora de TV posicionada 180° em relação ao transmissor de LTE. A distância aproximada da antena receptora de TV em relação à antena transmissora de LTE era de 50m.

A Figura 14 mostra a UM posicionada no ponto 2 de teste.



Figura 14. Ponto 2 de teste.

### 3.1.1.3 Ponto de teste 3

Localizado junto a Pousada Imperial, na esquina das ruas Bela Vista e Sizenando Jaime, este ponto foi escolhido por permitir a colocação da Unidade Móvel de Medidas num ângulo de  $90^\circ$  com a linha que interligava as antenas transmissora de TVD e transmissora de LTE. Com a antena de recepção de TV apontada para o transmissor de TVD no Morro do Frota. A distância aproximada da antena receptora de TV em relação à antena transmissora de LTE era de 140 m.

A Figura 15 mostra a UM posicionada no ponto 3 de teste.



Figura 15. Ponto 3 de teste.

#### 3.1.1.4 Ponto de teste fixo (casa)

Localizado próximo da estação transmissora de LTE, à Rua 21 de Abril, foi montado um ponto fixo para recepção dos sinais de TVD e LTE. Tal instalação contava com os seguintes sistemas de recepção de TV:

- a) antena interna fixa;
- b) antena interna amplificada;
- c) antena externa;
- d) antena externa com amplificador adicional;
- e) antena externa com sistema de amplificação para antena coletiva.

A distância aproximada das antenas receptoras de TV no ponto fixo à antena transmissora de LTE era de 230 m.

A Figura 16 mostra uma vista frontal da casa onde foram instalados os sistemas para recepção de TV, onde podem ser vistas as antenas de recepção externas.



Figura 16. Ponto fixo de teste

A Figura 17 mostra uma visão das instalações internas da casa e dos sistemas de recepção de TVD montados para o teste.



Figura 17. Instalação interna da sala de teste

### 3.1.2 Metodologias para o teste de interferência de *downlink*

Abaixo é descrita a metodologia para obtenção dos pontos de TOV no canal adjacente (canal 51) e no canal imagem (canal 48).

- a) Ajustar o sinal recebido de TVD para o canal 51 ou 48, conforme o caso, com nível de -74 dBm e modulação 64QAM;
- b) Verificar a imagem sendo exibida corretamente pelos receptores;
- c) Conferir o nível de sinal recebido pelo analisador de espectro no modo de medição de potência, para o canal de TV sob teste,
- d) Ajustar o sinal LTE para os blocos desejados de *downlink*, potência máxima de 46 dBm, com 100% de carregamento (equivalente a 36 dBm no modo *IDLE*).
- e) Ajustar o nível do sinal LTE até que haja falha visível na imagem. A partir desse ponto diminuir o nível de LTE de 1 dB em 1 dB até que não sejam observadas falhas na imagem durante 5 minutos.
- f) Medir a potência recebida do sinal de TVD.
- g) Medir a potência recebida do sinal de LTE.
- h) Repetir os itens de a) à g) para o nível máximo de TVD (100 W) e para um nível intermediário.

Foi utilizado a mesma metodologia para avaliação do ponto falha subjetiva, conforme descrito no Relatório Laboratorial de Santa Rita do Sapucaí.

Abaixo é descrita a metodologia para obtenção da relação de proteção co-canal (PRO).

O procedimento anterior aplicado a avaliação da relação de proteção de canal adjacente foi repetido para avaliação de relação de proteção co-canal.

Esses testes foram realizados no ponto 2, apontando a antena de recepção de TV da UM para o Morro do Frota, deixando ativo apenas o Setor 1 do eNodeB (azimute oposto ao Morro do Frota).

Nesse caso, considerou-se apenas o sinal de TV a -60 dBm (quando não foi possível avaliar a -60 dBm por haver interferência mesmo com LTE no nível mínimo, aumentou-se o sinal de TV até que fosse possível o teste).

Foi utilizada a seguinte combinação de canais de TV e blocos LTE: 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.

### 3.1.3 Resultados do teste de interferência de *downlink*

Da Tabela 10 à Tabela 22 é apresentado um resumo das medições realizadas para avaliação de interferência de *downlink* do LTE nos sistemas de recepção de TV Digital, bem como estão registrados os pontos de TOV.

Descrição das colunas:

- Antena: especifica o sistema de antena utilizado para recepção dos sinais interferido e interferente;
- Receptor: especifica o receptor utilizado;
- Tx TV: potência nominal de operação do transmissor de TVD;

- Tx LTE: potência nominal de operação do eNodeB LTE;
- Aten. Rx: atenuação de entrada no sistema de recepção dos sinais interferido e interferente; - Rx TV: valor medido de intensidade do sinal de TVD que chega aos receptores;
- Correção período ativo: valor que ajusta a relação medida em modo *idle* para o período em que o LTE está ativo. Em campo foi medido que este valor para o sistema e condições existentes era de 10 dB, para qualquer das larguras de faixa utilizadas.

A Tabela 22 mostra os valores medidos para relação de proteção co-canal.

Tabela 10. de Resultado TOV obtido no teste de *downlink*, no Ponto 1 com antenas internas, com TVD operando no canal 51 e LTE no bloco 1, com 100% de tráfego de dados.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]
Interna Passiva	Rx1	-	40,0	-	-74,0	-	Não observado
		-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
	Rx 2	-	40,0	-	-74,0	-	Não observado
		-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
	Rx 3	-	40,0	-	-74,0	-	Não observado
		-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
Interna Amplificada	Rx1	2,5	2,5	10,0	-74,0	-34,5	-39,5
		4,0	10,0	0,0	-62,5	-20,3	-42,2
		79,4	12,6	0,0	-50,0	-17,5	-32,5
	Rx 2	7,9	12,6	13,0	-73,7	-30,8	-42,9
		4,0	10,0	0,0	-62,5	-20,3	-42,2
		79,4	12,6	0,0	-50,0	-17,5	-32,5
	Rx 3	2,5	2,5	10,0	-74,0	-34,5	-39,5
		4,0	10,0	0,0	-62,5	-20,3	-42,2
		79,4	12,6	0,0	-50,0	-17,5	-32,5

Tabela 11. P1 Resultado de TOV obtido no teste de *downlink* com antenas externas, no Ponto 1, com TVD operando no canal 51 e LTE no bloco 1, com 100% de tráfego de dados.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]
Externa Passiva	Rx1	2,8	4,0	10,0	-74,2	-14,9	-59,4
		25,0	40,0	10,0	-65,0	-4,8	-60,2
		12,6	40,0	0,0	-57,3	4,9	-62,2
	Rx 2	1,6	20,0	3,0	-69,8	-1,0	-68,8
		10,0	12,6	0,0	-58,6	-0,5	-58,1
		100,0	25,2	0,0	-48,6	2,6	-51,2
	Rx 3	2,8	4,0	10,0	-74,2	-14,9	-59,4
		25,0	40,0	10,0	-65,0	-4,8	-60,2
		100,0	12,6	0,0	-48,2	-0,5	-47,7
Externa com Amplificador	Rx1	1,6	2,5	23,0	-74,3	-16,7	-57,6
		4,0	3,2	10,0	-58,4	-5,5	-53,0
		100,0	2,0	6,0	-42,4	-4,7	-37,8
	Rx 2	1,6	10,0	23,0	-74,3	-10,6	-63,7
		4,0	3,2	10,0	-58,4	-5,5	-53,0
		100,0	4,0	10,0	-44,7	-5,1	-39,6
	Rx 3	1,6	2,0	23,0	-74,3	-17,6	-56,7
		4,0	3,2	10,0	-58,4	-5,5	-53,0
		100,0	2,0	6,0	-42,4	-4,7	-37,8

Tabela 12. Resultado de TOV obtido no teste de *downlink* com antenas internas, no Ponto 1, com TVD operando no canal 51 e LTE nos blocos 2 e 3, no modo *idle*.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]	Correção período ativo
Interna Passiva	Rx1	-	40,0	-	-74,0	-	Não observado	-
		-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
	Rx 2	-	40,0	-	-74,0	-	Não observado	-
		-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
	Rx 3	-	40,0	-	-74,0	-	Não observado	-
		-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
Interna Amplificada	Rx1	3,2	6,3	12,0	-74,0	-40,9	-33,1	-43,1
		4,0	40,0	0,0	-58,8	-27,1	-31,7	-41,7
		100,0	40,0	0,0	-46,3	-26,8	-19,5	-29,5
	Rx 2	100,0	4,0	20,0	-66,4	-55,4	-11,0	-21,0
		4,0	40,0	0,0	-58,8	-27,1	-31,7	-41,7
		100,0	40,0	0,0	-46,3	-26,8	-19,5	-29,5
	Rx 3	3,2	6,3	12,0	-74,0	-40,9	-33,1	-43,1
		6,3	40,0	0,0	-58,0	-27,1	-30,9	-40,9
		100,0	40,0	0,0	-46,3	-26,8	-19,5	-29,5

Tabela 13. Resultado de TOV obtido no teste de *downlink* com antenas externas, no Ponto 1, com TVD operando no canal 51 e LTE nos blocos 2 e 3, no modo *idle*.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]	Correção período ativo
Externa Passiva	Rx1	3,2	20,0	10,0	-74,3	-16,2	-58,1	-68,1
		2,5	20,0	0,0	-64,5	-6,6	-57,9	-67,9
		4,0	40,0	0,0	-62,3	-3,4	-58,9	-68,9
	Rx 2	1,6	15,9	0,0	-67,2	-7,8	-59,4	-69,4
		2,5	20,0	0,0	-64,5	-6,6	-57,9	-67,9
		20,0	40,0	0,0	-56,0	-3,5	-52,5	-62,5
	Rx 3	1,6	8,0	6,0	-73,9	-16,4	-57,5	-67,5
		2,5	15,9	0,0	-64,5	-7,6	-56,9	-66,9
		10,0	40,0	0,0	-59,0	-3,5	-55,5	-65,5
Externa com Amplificador	Rx1	1,6	12,6	23,0	-74,0	-19,1	-54,9	-64,9
		10,0	20,0	13,0	-55,9	-9,5	-46,4	-56,4
		100,0	3,2	3,0	-37,0	-8,0	-29,0	-39,0
	Rx 2	1,6	25,2	20,0	-71,1	-14,0	-57,1	-67,1
		10,0	12,6	13,0	-55,9	-10,9	-45,0	-55,0
		100,0	2,0	3,0	-37,0	-9,5	-27,5	-37,5
	Rx 3	1,6	10,0	23,0	-74,0	-20,1	-53,9	-63,9
		10,0	15,9	13,0	-55,9	-10,2	-45,7	-55,7
		100,0	2,0	3,0	-37,0	-9,5	-27,5	-37,5

Tabela 14. Resultado de TOV obtido no teste de *downlink*, no Ponto 1, com TVD operando no canal 51 e LTE nos blocos 2 e 3, com 100% de tráfego de dados.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]
Externa Passiva	Rx1	3,2	6,3	10,0	-74,0	-12,0	-62,0
		4,0	12,6	0,0	-63,0	0,5	-63,5
		12,6	40,0	0,0	-58,5	5,6	-64,1
	Rx 2	1,6	25,2	0,0	-66,9	-5,9	-61,0
		4,0	8,0	0,0	-63,0	-1,6	-61,4
		100,0	25,2	0,0	-49,4	3,6	-53,0
	Rx 3	3,2	4,0	10,0	-74,0	-14,1	-59,9
		4,0	6,3	0,0	-63,0	-2,6	-60,4
		100,0	12,6	0,0	-49,4	0,4	-49,8
Externa com Amplificador	Rx1	2,0	5,0	23,0	-74,0	-14,0	-60,0
		4,2	2,0	10,0	-58,0	-6,5	-51,5
		100,0	3,2	6,0	-42,1	-2,3	-39,8
	Rx 2	2,0	12,6	23,0	-74,0	-10,5	-63,5
		8,3	5,0	13,0	-58,0	-6,0	-52,0
		100,0	2,5	6,0	-42,1	-2,9	-39,2
	Rx 3	2,0	3,2	23,0	-74,0	-15,7	-58,3
		4,2	2,0	10,0	-58,0	-6,5	-51,5
		100,0	2,5	6,0	-42,1	-2,9	-39,2

Tabela 15. Resultado de TOV obtido no teste de *downlink*, no Ponto 1, com TVD operando no canal 51 e LTE nos blocos 2 a 5, no modo *idle*.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]	Correção período ativo
Externa Passiva	Rx1	1,6	-	-	-74,0	-20,0	-54,0	-64,0
		50,0	40,0	-	-49,2	-	Não observado	-
		100,0	40,0	-	-46,0	-	Não observado	-
	Rx 3	1,6	-	-	-74,0	-21,0	-53,0	-63,0
		50,0	-	-	-49,2	-1,4	-47,7	-57,7
		100,0	40,0	-	-46,0	-	Não observado	-
	Rx 5	1,6	-	-	-70,3	-22,0	-48,3	-58,3
		50,0	-	-	-48,7	-9,3	-39,4	-49,4
		100,0	-	-	-46,0	-6,3	-39,7	-49,7
Externa com Amplificador	Rx1	1,6	-	-	-70,0	-34,7	-35,3	-45,3
		50,0	40,0	-	-55,7	-	Não observado	-
		100,0	40,0	-	-52,3	-	Não observado	-
	Rx 3	1,6	-	-	-70,0	-34,7	-35,3	-45,3
		50,0	40,0	-	-55,7	-	Não observado	-
		100,0	40,0	-	-52,3	-	Não observado	-
	Rx 5	1,6	-	-	-69,7	-33,1	-36,6	-46,6
		50,0	-	-	-55,7	-13,7	-42,0	-52,0
		100,0	-	-	-52,3	-13,7	-38,6	-48,6

Tabela 16. Resultado de TOV obtido no teste de *downlink*, no Ponto 1, com TVD operando no canal 51 e LTE nos blocos 2 a 5, com 100% de tráfego de dados.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]
Externa Passiva	Rx1	50,0	40,0	-	-48,3	-	Não observado
		100,0	40,0	-	-45,6	-	Não observado
	Rx 3	50,0	-	-	-48,3	2,9	-51,2
		100,0	-	-	-45,6	4,1	-49,6
	Rx 5	50,0	-	-	-48,3	7,9	-56,2
		100,0	-	-	-45,6	9,0	-54,6
Externa com Amplificador	Rx1	11,2	-	13,0	-70,0	-18,2	-51,8
		50,0	40,0	-	-58,8	-	Não observado
		100,0	40,0	-	-55,9	-	Não observado
	Rx 3	11,2	-	13,0	-70,0	-18,2	-51,8
		50,0	40,0	-	-58,8	-	Não observado
		100,0	40,0	-	-55,9	-	Não observado
	Rx 5	11,2	-	13,0	-70,0	-18,2	-51,8
		50,0	40,0	-	-58,8	-	Não observado
		100,0	40,0	-	-55,9	-	Não observado

Tabela 17. Resultado de TOV obtido no teste de *downlink*, no Ponto 1, com TVD operando no canal 48 e LTE nos blocos 2 e 3, com 100% de tráfego de dados.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]
Externa Passiva	Rx 2	2,5	2,0	6,0	-73,7	-14,3	-59,5
		-	-	-	-	-	-
		100,0	2,0	0,0	-51,2	-7,8	-43,4
Externa com Amplificador	Rx 2	31,6	2,0	30,0	-71,3	-32,3	-39,0
		-	-	-	-	-	-
		100,0	2,0	30,0	-66,1	-27,6	-38,5

Tabela 18. Resultado de TOV obtido no teste de *downlink*, no Ponto 2, com TVD operando no canal 51 e LTE nos blocos 2 a 5, no modo *idle*.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]	Correção período ativo
Externa Passiva	Rx1	1,6	40,0	-	-73,2	-	Não observado	-
		-	-	-	-	-	-	-
		100,0	40,0	-	-45,1	-	Não observado	-
	Rx 3	1,6	40,0	-	-73,2	-	Não observado	-
		-	-	-	-	-	-	-
		100,0	40,0	-	-45,1	-	Não observado	-
	Rx 5	1,6	40,0	-	-73,2	-	Não observado	-
		-	-	-	-	-	-	-
		100,0	40,0	-	-45,1	-	Não observado	-

Tabela 19. Resultado de TOV obtido no teste de *downlink*, no Ponto 2, com TVD operando no canal 51 e LTE nos blocos 2 a 5, com 100% de tráfego de dados.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]
Externa Passiva	Rx1	1,6	40,0	-	-73,7	-	Não observado
		50,0	40,0	-	-49,0	-	Não observado
	Rx 3	1,6	40,0	-	-73,7	-	Não observado
		50,0	40,0	-	-49,0	-	Não observado
	Rx 5	1,6	40,0	-	-73,7	-	Não observado
		50,0	40,0	-	-49,0	-	Não observado
Externa com Amplificador	Rx1	11,2	-	-	-69,5	-37,3	-32,2
		-	-	-	-30,4	-13,4	-17,0
		100,0	40,0	-	-27,6	-	Não observado
	Rx 3	11,2	-	-	-69,5	-37,3	-32,2
		-	40,0	-	-30,8	-	Não observado
		100,0	40,0	-	-27,6	-	Não observado
	Rx 5	11,2	-	-	-69,5	-37,3	-32,2
		-	40,0	-	-30,8	-	Não observado
		100,0	40,0	-	-27,6	-	Não observado

Tabela 20. Resultado de TOV obtido no teste de *downlink*, no Ponto 3, com TVD operando no canal 51 e LTE nos blocos 2 a 5, com 100% de tráfego de dados.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]	
Externa Passiva	Rx1	1,6	40,0	-	-73,9	-	Não observado	
		-	-	-	-	-	-	
		100,0	40,0	-	-41,6	-	Não observado	
	Rx 2	1,6	40,0	-	-73,9	-	Não observado	
		-	-	-	-	-	-	
		100,0	40,0	-	-41,6	-	Não observado	
	Rx 3	1,6	40,0	-	-73,9	-	Não observado	
		-	-	-	-	-	-	
		100,0	40,0	-	-41,6	-	Não observado	
	Externa com Amplificador	Rx1	2,0	40,0	-	-70,3	-	Não observado
			50,0	40,0	-	-26,8	-	Não observado
			100,0	40,0	-	-23,5	-	Não observado
Rx 2		2,0	40,0	-	-70,3	-	Não observado	
		50,0	40,0	-	-26,8	-	Não observado	
		100,0	40,0	-	-23,5	-	Não observado	
Rx 3		2,0	40,0	-	-70,3	-	Não observado	
		50,0	40,0	-	-26,8	-	Não observado	
		100,0	40,0	-	-23,5	-	Não observado	

Tabela 21. Resultado de TOV obtido no teste de *downlink*, no Ponto Fixo, com TVD operando no canal 51 e LTE nos blocos 2 a 5, com 100% de tráfego de dados.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]
Externa Passiva	Rx1	1,6	40,0	-	-74,5	-	Não observado
		-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
	Rx 2	1,6	40,0	-	-74,5	-	Não observado
		-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
	Rx 3	1,6	40,0	-	-74,5	-	Não observado
		-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
Coletiva	Rx1	1,6	40,0	-	-73,8	-	Não observado
		50,0	40,0	-	-60,5	-	Não observado
		100,0	40,0	-	-42,5	-	Não observado
	Rx 2	1,6	40,0	-	-73,8	-	Não observado
		50,0	40,0	-	-60,5	-	Não observado
		100,0	40,0	-	-42,5	-	Não observado
	Rx 3	1,6	40,0	-	-73,8	-	Não observado
		50,0	40,0	-	-60,5	-	Não observado
		100,0	40,0	-	-42,5	-	Não observado

Tabela 22. Relação de proteção co-canal *downlink*.

Banda LTE	Carga LTE	Canal de TVD	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]	Correção período ativo
5 MHz Downlink Blocos 6	Modo Idle	CH66	Rx1	3,7	5,0	0,0	-60,0	-76,3	16,3	6,3
			Rx 2	3,7	3,2	0,0	-60,0	-78,4	18,4	8,4
			Rx 3	3,7	5,0	0,0	-60,0	-76,3	16,3	6,3
10 MHz Downlink Blocos 3 e 4	Modo Idle	CH64	Rx1	3,5	8,0	0,0	-60,0	-71,9	11,9	1,9
			Rx 2	3,5	5,0	0,0	-60,0	-73,9	13,9	3,9
			Rx 3	3,5	8,0	0,0	-60,0	-71,9	11,9	1,9
20 MHz Downlink Blocos 2 a 5	Modo Idle	CH64	Rx1	3,5	15,9	0,0	-60,0	-70,0	10,0	0,0
			Rx 2	3,5	8,0	0,0	-60,0	-72,9	12,9	2,9
			Rx 3	3,5	15,9	0,0	-60,0	-70,0	10,0	0,0
5 MHz Downlink Blocos 6	100%	CH66	Rx1	15,8	2,0	0,0	-53,7	-71,8	18,1	-
			Rx 2	15,8	2,0	0,0	-53,7	-71,8	18,1	-
			Rx 3	15,8	2,0	0,0	-53,7	-71,8	18,1	-
10 MHz Downlink Blocos 3 e 4	100%	CH64	Rx1	15,8	2,0	0,0	-54,6	-69,1	14,5	-
			Rx 2	15,8	2,0	0,0	-54,6	-69,1	14,5	-
			Rx 3	15,8	2,0	0,0	-54,6	-69,1	14,5	-
20 MHz Downlink Blocos 2 a 5	100%	CH64	Rx1	7,1	2,0	0,0	-57,5	*	*	-
			Rx 2	7,1	2,0	0,0	-57,5	*	*	-
			Rx 3	7,1	2,0	0,0	-57,5	*	*	-

\* Medição desconsiderada devido ao desvio em relação ao valor esperado.

### 3.2 TESTE DE UPLINK: interferência nos receptores de TVD causada pelo UE LTE com ATPC habilitado

O teste de *uplink* com ATPC (*automatic transmission power control*) habilitado, diferentemente do teste de *downlink* e do teste de laboratório realizado em Santa Rita do Sapucaí, visa avaliar a situação de convivência *indoor* em regime típico de uso.

O teste de *uplink* tem como objetivo verificar se, nas condições de teste impostas, o UE LTE interfere ou não nos receptores de TVD.

Para tanto foram definidas as seguintes condições de teste:

- o UE (interferente) opera em regime típico de uso, ou seja, com o ajuste automático de potência (ATPC) habilitado, que é a forma padrão de operação no LTE;

- o eNodeB LTE é configurado de forma a garantir que o UE esteja em uma região de borda da célula, isto é, com sinal de recepção em nível considerado muito baixo. Para tanto foi utilizado o setor 0 com potência reduzida. Neste caso o setor estava apontado para o lado oposto ao ponto fixo de medição. Sabemos que esta condição maximiza a potência de transmissão do UE, consequentemente aumentando o potencial de causar interferência prejudicial. Em qualquer outra situação o controle adaptativo de potência do UE ajusta a potência do sinal emitido para valores menores, diminuindo a chance de causar interferência prejudicial.

Adotou-se o sinal de recepção de TV de -74 dBm, que representa 3 dB de margem sobre o limiar de sensibilidade normatizado pela ABNT NBR 15604, além de representar a mediana do limiar do contorno protegido.

Buscou-se avaliar, dessa forma, uma situação crítica, com o UE LTE transmitindo com potências variável que atinge o valor máximo e receptores de TVD com sinal fraco. Nas seções seguintes serão apresentados a descrição dos cenários, a metodologia utilizada e os resultados obtidos.

### 3.2.1 Descrição dos cenários do teste de interferência de *uplink* (com ATPC habilitado)

A Figura 18 mostra o cenário de testes de *uplink*. A altura do sistema de recepção de TVD é de 1,4 m em relação ao solo, altura típica de antenas internas utilizadas em residências. A altura do UE LTE é de 90 cm em relação ao solo, que é a altura média de uma pessoa sentada utilizando o UE para comunicação de dados. As distâncias horizontais entre o UE (transmissor interferente) e a antena interna de TV (receptor interferido) são de 1 m e 2,5 m. Essas distâncias foram utilizadas tendo em vista o *Report ITU-R BT.2247-2*.

O teste de *uplink* foi realizado com o sistema LTE operando com larguras de banda de 10 MHz (blocos 2 e 3) e de 20 MHz (blocos 2 a 5). O transmissor de TVD foi ajustado para o canal 51, que é o canal mais próximo da banda de *uplink* do LTE, e para o canal 39, que é o canal imagem dos blocos 2 e 3 de *uplink*.

Foram utilizados dois cenários, que serão descritos a seguir.

O primeiro cenário foi montado para uma análise mais abrangente considerando uso de dois sistemas de recepção de TV: antena interna passiva e antena interna amplificada; e contava com um divisor de RF para análise simultânea de três receptores mais um analisador de espectro. Todavia durante os testes percebeu-se a necessidade de aprofundar o estudo removendo o divisor de RF, pois esse elemento insere uma atenuação adicional em ambos os sinais, de TV e LTE. Percebeu-se, também, que a utilização de antena interna amplificada era desnecessária, pois já havia manifestado interferência por saturação do seu amplificador integrado nas condições do primeiro cenário.

O segundo cenário, então, restringiu-se ao uso de antena interna passiva, porém utilizando um receptor adicional, o Rx 4, e modificando o diagrama de ligação do sistema de recepção retirando o divisor de RF e a atenuação, visando maximizar a probabilidade de interferência.

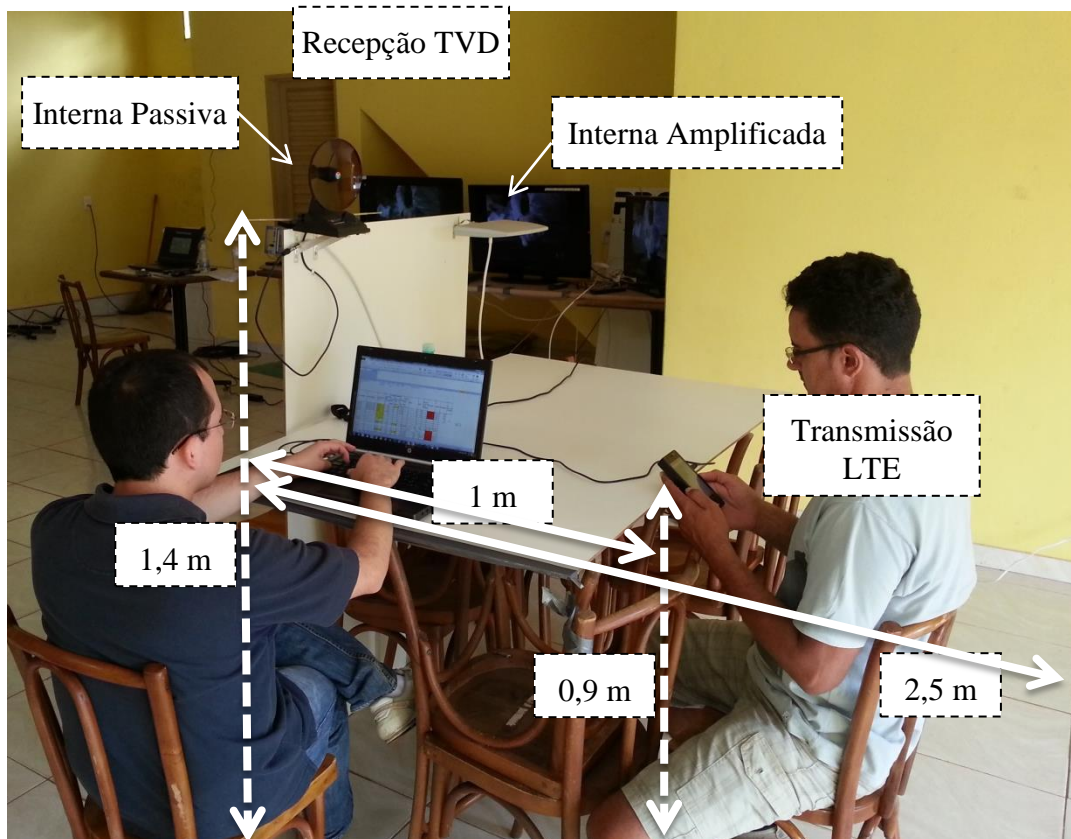


Figura 18. Teste de *uplink*.

### 3.2.1.1 Cenário 1: Teste de interferência *uplink* com divisor

A Figura 19 apresenta o diagrama de ligação do sistema de recepção utilizado no cenário 1. Este cenário foi montado com objetivo de avaliar a utilização de antena interna passiva ou antena interna amplificada. O detalhamento dos equipamentos utilizados nos testes está descrito no capítulo 2.

O presente cenário contou com o uso de atenuadores (de até 18 dB), para o caso de recepção com antena interna amplificada, que foram utilizados para fazer com que o sinal recebido de TVD chegasse aos receptores no nível previamente definido de -74 dBm. O divisor de RF (de um para quatro) possibilitou a utilização simultânea de três receptores e do analisador de espectro.

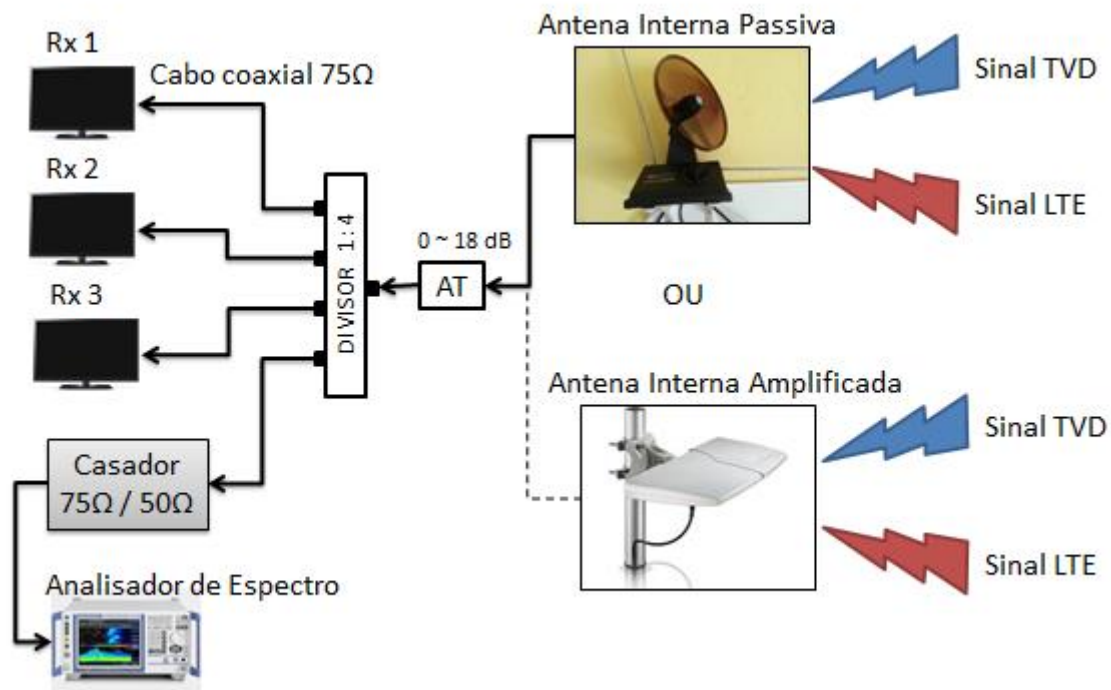


Figura 19. Diagrama de ligação do sistema de recepção no cenário 1 do teste de interferência de *uplink*.

### 3.2.1.2 Cenário 2: Teste de interferência *uplink* sem divisor

Como mostrado na Figura 20, no presente cenário, utilizou-se apenas a antena interna passiva para recepção dos sinais de TVD e LTE. O cabo coaxial, desta vez, foi ligado diretamente da antena ao receptor sob teste. O mesmo cabo coaxial era comutado entre os quatro receptores e o analisador de espectro. Optou-se por não utilizar divisores de RF nesse teste, pois, apesar da perda de inserção de um divisor típico ser aproximadamente igual para o sinal de TVD e para o sinal LTE, o simples fato de inserir qualquer atenuação no circuito de recepção pode funcionar como uma técnica de mitigação.

Ressalta-se ainda que a forma de recepção ilustrada na Figura 20, além de propiciar um caso crítico de interferência do UE LTE na TVD, é uma forma comumente usada em residências, onde uma antena interna atende somente um receptor.

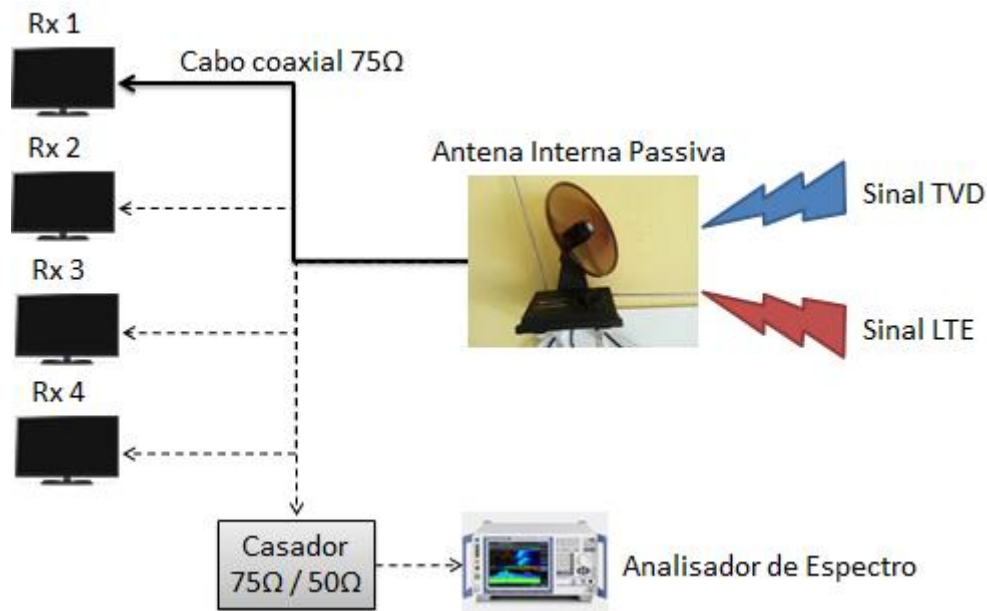


Figura 20. Diagrama de ligação do sistema de recepção no cenário 2 do teste de interferência de *uplink*.

### 3.2.2 Metodologia para teste de interferência de *uplink* (com ATPC habilitado)

O teste de interferência de *uplink*, considerando o cenário apresentado na Figura 18, teve como objetivo avaliar se houve ou não interferência prejudicial provocada pelo UE LTE na recepção de TVD. Para tanto, foi adotado o seguinte procedimento:

- a) Ajustar o transmissor de TVD para operar no canal 51 e na potência que permita recepção com nível de -74 dBm;
- b) Verificar a imagem de TV sendo executado normalmente no receptor;
- c) Ajustar o eNodeB LTE para que o sinal LTE na recepção do UE (RSRP) esteja abaixo de -110 dBm.
- d) Ajustar o UE LTE para transmitir dados com tráfego de dados de 10%;
- e) Posicionar o UE LTE a 1 m de distância horizontal da antena de recepção de TV;
- f) Avaliar se ocorre interferência no sinal de TV sendo executado no receptor sob teste durante 5 minutos; caso contrário pular para o passo j);
- g) Se for identificada interferência no passo anterior, aumentar a potência do sinal de TV em 3 dB e repeti-lo;
- h) Se a interferência permanecer, retornar a recepção do sinal de TV para -74 dBm e posicionar o UE LTE a 2,5 m de distância horizontal da antena de recepção de TV;
- i) Repetir os passos f) e g);
- j) Ajustar o UE LTE para transmitir dados com tráfego de dados de 100% e repetir os passos de a) a i).
- k) Repetir os passos de a) a j) para todos os receptores sob teste.
- l) Ajustar a transmissão de TV para o canal 39 e repetir os passos de a) a j) somente para o receptor can tuner.
- m) Para cada situação testada, anotar os casos em que houve interferência;

Com relação ao nível de -110 dBm de RSRP (*reference signal received power*) citado no item c) acima, este era o valor máximo de referência, sendo que na prática os valores obtidos situavam-se entre -121 e -112 dBm, lidos no software de controle do UE. Verificou-se em campo que esses níveis de recepção de sinal LTE faziam com que o UE transmitisse com potências no máximo ou próximo dele. Ressalta-se que durante os testes de *uplink* o UE foi mantido registrado, porém com seu indicador de intensidade de sinal LTE com nenhuma barra ou com apenas uma barra no visor.

A metodologia descrita é aplicada aos cenários 1 e 2 citados anteriormente, porém nestes testes realizados com base no cenário 1 foi utilizado apenas o canal 51 de TVD para larguras de faixa do LTE de 10 MHz e 20 MHz.

### 3.2.3 Resultados do teste de interferência de *uplink* (com ATPC habilitado)

A Tabela 23 e a Tabela 24 apresentam os resultados dos testes do cenário 1 para as larguras de faixa de 10 MHz e 20 MHz, respectivamente. Foi utilizada a mesma metodologia, explicada anteriormente, para maximizar a potência de transmissão do UE.

Os resultados mostram se foi ou não observada interferência para as antenas interna passiva ou interna amplificada e para as tráfego de dados LTE de 10% e 100%. Os receptores utilizados Rx1, Rx2 e Rx3 apresentaram os mesmos resultados, por isso foram agrupados. Foi anotada a potência de transmissão ajustada no transmissor de TVD (Tx TV), a intensidade de sinal de TV medido com o analisador de espectro (Rx TV), a potência de transmissão do UE (Tx LTE), a intensidade de sinal de LTE medido com o analisador de espectro (Rx LTE) e a atenuação utilizada.

É importante ressaltar que a intensidade do sinal de TVD recebido por meio de antena interna, amplificada ou não, em um ambiente *indoor* pode variar bastante, pois o sinal sofre múltiplas reflexões e rotação de polarização, dentre outros fenômenos eletromagnéticos. Durante os testes não foi permitida a movimentação de pessoas no ambiente para não causar perturbação nas medições. Em função dessa variação do sinal na recepção de TV, tentou-se ajustar o sinal de Rx de TV para valores próximos a -74 dBm.

Para a antena interna amplificada foi utilizada uma atenuação de 18 dB para fazer com que o sinal Rx de TV chegasse aos receptores em níveis próximos a -74 dBm. Observa-se que ocorreu interferência apenas para antena interna amplificada e apenas no caso em que o UE estava a um metro de distância.

A coluna Tx LTE mostra o valor de potência de transmissão que é indicado pelo sistema de controle do UE LTE, esse valor varia dinamicamente ao longo do tempo dentro das escalas apresentadas da Tabela 23 à Tabela 26.

A coluna Rx LTE expressa valores medidos pelo analisador de espectro usando os *presets* definidos na seção 2.5, em que é usado um detector RMS. O valor da potência do canal LTE é obtido por meio de uma média de 3000 varreduras. Ressalta-se também que a tráfego de dados LTE de 10% significa o uso de toda tráfego de dados em 10% do tempo. Assim, os valores apresentados na coluna Rx LTE para a tráfego de dados LTE de 10% são substancialmente menores que os valores para tráfego de dados LTE de 100%, porém ambas as tráfego de dados apresentam valores de pico semelhantes.

Tabela 23. Resultados do teste de interferência de *uplink* no cenário 1, com TVD operando no canal 51 e LTE com largura de faixa de 10 MHz nos blocos 2 e 3.

Antena	Carga LTE	Receptores	Distância	Tx TV [W]	Rx TV [dBm]	Tx LTE [dBm]	Rx LTE [dBm]	Atenuador de Rx [dB]	Interferência? Sim / Não
Interna Passiva	10%	Rx 1, Rx 2 e Rx 3	1,0 m	20,0	-73,7	16 ~ 23	-70,0	-	Não
			2,5 m	15,8	-74,8	2 ~ 22	-75,0	-	Não
	100%	Rx 1, Rx 2 e Rx 3	1,0 m	6,3	-74,0	6 ~ 24	-50,0	-	Não
			2,5 m	7,0	-74,0	6 ~ 24	-62,1	-	Não
Interna Amplificada	10%	Rx 1, Rx 2 e Rx 3	1,0 m	100,0	-42,4	3 ~ 22	-57,0	0,0	Sim
			1,0 m	100,0	-74,5	2 ~ 22	-69,0	18,0	Sim
			2,5 m	4,0	-74,1	2 ~ 22	-77,8	18,0	Não
	100%	Rx 1, Rx 2 e Rx 3	1,0 m	100,0	-44,0	24	-33,8	0,0	Sim
			1,0 m	100,0	-62,3	24	-45,0	18,0	Sim
			2,5 m	6,3	-74,0	23	-52,0	18,0	Não

Tabela 24. Resultados do teste de interferência de *uplink* no cenário 1, com TVD operando no canal 51 e LTE com largura de faixa de 20 MHz nos blocos 2 a 5.

Antena	Carga LTE	Receptores	Distância	Tx TV [W]	Rx TV [dBm]	Tx LTE [dBm]	Rx LTE [dBm]	Atenuador de Rx [dB]	Interferência? Sim / Não
Interna Passiva	10%	Rx 1, Rx 2 e Rx 3	1,0 m	6,3	-74,0	12 ~ 24	-74,7	-	Não
			2,5 m	6,3	-74,0	12 ~ 24	-77,0	-	Não
	100%	Rx 1, Rx 2 e Rx 3	1,0 m	7,9	-74,0	2 ~ 22	-66,2	-	Não
			2,5 m	7,9	-74,0	6 ~ 24	-70,3	-	Não
Interna Amplificada	10%	Rx 1, Rx 2 e Rx 3	1,0 m	10,0	-73,7	6 ~ 23	-71,7	18,0	Sim
			2,5 m	10,0	-74,0	6 ~ 24	-77,3	18,0	Não
	100%	Rx 1, Rx 2 e Rx 3	1,0 m	6,3	-74,0	12 ~ 24	-55,0	18,0	Sim
			2,5 m	7,9	-74,0	12 ~ 24	-70,5	18,0	Não

A Tabela 25 e a Tabela 26 apresentam os resultados dos testes de *uplink* no cenário 2. Os resultados mostram se ocorreu ou não interferência prejudicial para cada canal de TV, receptor e distância. Além dos receptores Rx1, Rx2 e Rx3, foi utilizado o receptor Rx4.

Para cada caso foi anotada a potência de transmissão ajustada no transmissor de TVD (Tx TV), a intensidade de sinal de TV medido com o analisador de espectro (Rx TV), nível de RSRP do sinal LTE recebido no UE (Rsrp LTE), potência de transmissão do UE (Tx LTE) e a intensidade de sinal de LTE medido com o analisador de espectro (Rx LTE).

Tanto no cenário 2 como no cenário 1 se aplicam as observações mencionadas anteriormente nesta seção.

Tabela 25. Resultados do teste de interferência de *uplink* no cenário 2, utilizando antena interna passiva, LTE com largura de faixa de 10 MHz nos blocos 2 e 3 e tráfego de dados de 10%.

Canal TV	Receptor	Distância	Tx TV [dBm]	Rx TV [dBm]	Rsrp LTE [dBm]	Tx LTE [dBm]	Rx LTE [dBm]	Interferência? Sim / Não
CH51	Rx1	1,0 m	32	-73	-113	-1 ~ 23	-68	Sim <sup>1</sup>
		1,0 m	35	-69	-115	-1 ~ 23	-68	Sim <sup>2</sup>
		2,5 m	32	-74	-116	2 ~ 23	-68	Não
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
	Rx 2	1,0 m	32	-73	-114	-1 ~ 23	-70	Sim <sup>2</sup>
		1,0 m	35	-69	-114	-1 ~ 23	-70	Sim <sup>1</sup>
		2,5 m	32	-74	-116	1 ~ 23	-68	Sim <sup>2</sup>
		2,5 m	35	-70	-116	1 ~ 23	-68 ~ -70	Não
	Rx 3	1,0 m	32	-73	-121	-2 ~ 23	-68	Sim <sup>2</sup>
		1,0 m	33	-72	-120	-1 ~ 23	-64	Não
		2,5 m	32	-74	-117	2 ~ 22	-67 ~ -68	Não
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
	Rx 4	1,0 m	32	-73	-113	-1 ~ 23	-68	Não
		1,0 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
CH39	Rx 2	1,0 m	39	-74	-113	4 ~ 22	-67 ~ -68	Não
		1,0 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-

Sim<sup>1</sup> : interferência intensa ou bloqueio do canal

Sim<sup>2</sup> : interferência pontual (três ou menos falhas visuais em 5 min.)

Tabela 26. Resultados do teste interferência de *uplink* no cenário 2, utilizando antena interna passiva, LTE com largura de faixa de 10 MHz nos blocos 2 e 3 e tráfego de dados de 100%.

Canal TV	Receptor	Distância	Tx TV [dBm]	Rx TV [dBm]	Rsrp LTE [dBm]	Tx LTE [dBm]	Rx LTE [dBm]	Interferência? Sim / Não
CH51	Rx1	1,0 m	32	-72	-115	1 ~ 23	-27	Sim <sup>2</sup>
		1,0 m	35	-69	-113	1 ~ 22	-30	Não
		2,5 m	32	-73	-117	6 ~ 22	-32 ~ -38	Não
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
	Rx 2	1,0 m	32	-73	-116	5 ~ 23	-30	Sim <sup>2</sup>
		1,0 m	35	-68	-113	2 ~ 23	-29	Sim <sup>2</sup>
		2,5 m	32	-73	-118	3 ~ 22	-38 ~ -35	Não
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
	Rx 3	1,0 m	32	-72	-113	0 ~ 22	-26	Não
		1,0 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
	Rx 4	1,0 m	32	-72	-115	0 ~ 22	-27	Não
		1,0 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
CH39	Rx 2	1,0 m	37	-74	-114	6 ~ 23	-31 ~ -29	Sim <sup>1</sup>
		1,0 m	42	-68	-112	4 ~ 23	-31 ~ -27	Sim <sup>2</sup>
		2,5 m	37	-74	-114	2 ~ 22	-37 ~ -34	Sim <sup>2</sup>
		2,5 m	40	-70	-114	7 ~ 22	-45 ~ -34	Não

Sim<sup>1</sup> : interferência intensa ou bloqueio do canal

Sim<sup>2</sup> : interferência pontual (três ou menos falhas visuais em 5 min.)

### 3.3 TESTE DE UPLINK: interferência nos receptores de TVD causada pelo UE LTE com ATPC desabilitado

O teste de *uplink* com o ATPC desabilitado tem como objetivo obter os pontos de TOV na situação em que o UE LTE configurado no bloco 1 (largura de faixa de 5 MHz) interfere na recepção do canal 51 usando antena interna.

#### 3.3.1 Descrição dos cenários do teste de interferência de *uplink* (com ATPC desabilitado)

A Figura 21 mostra o cenário utilizado para a realização dos testes de interferência de *uplink* com ATPC desabilitado. Nesse teste o UE foi colocado a 1 m de distância de forma alinhada às antenas de recepção interna passiva e amplificada. Tanto as antenas internas como o UE estavam a 1,5 m de altura em relação ao piso.

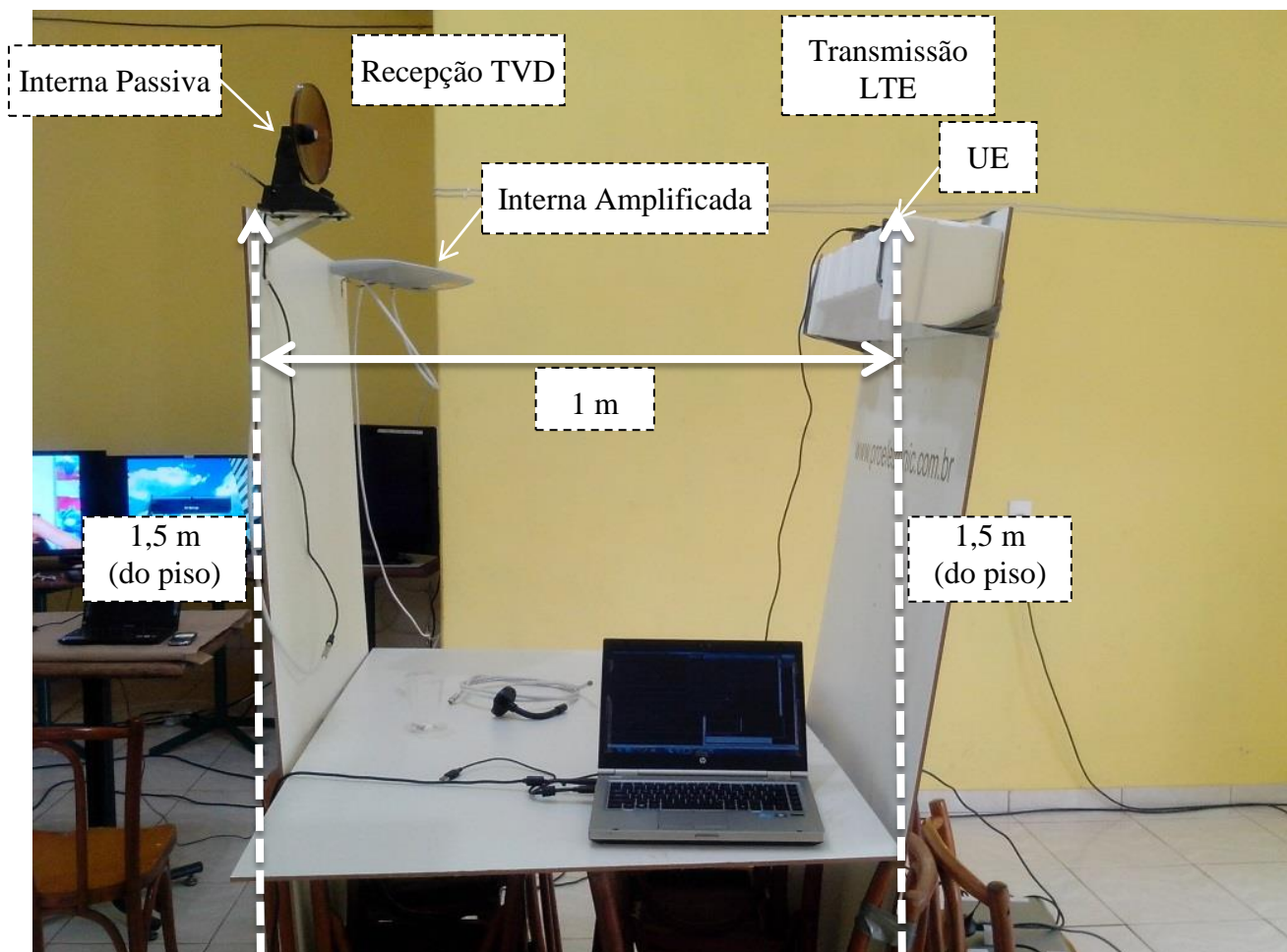


Figura 21. Descrição do cenário de teste de interferência de *uplink* (com ATPC desabilitado).

### 3.3.2 Metodologia para teste de interferência de *uplink* (com ATPC desabilitado)

Abaixo é descrita a metodologia para obtenção dos pontos de TOV no canal 51.

- a) Ajustar o sinal recebido de TVD para o canal 51, com nível de -74 dBm e modulação 64QAM;
- b) Verificar a imagem sendo exibida corretamente pelos receptores;
- c) Conferir o nível de sinal recebido pelo analisador de espectro no modo de medição de potência, para o canal de TV sob teste;
- d) Ajustar o sinal LTE para o bloco 1 de *uplink*, potência máxima de 23 dBm, com 100% de carregamento;
- e) Ajustar o nível do sinal LTE até que haja falha visível na imagem. A partir desse ponto diminuir o nível de LTE de 1 dB em 1 dB até que não sejam observadas falhas na imagem durante 5 minutos;
- f) Medir a potência recebida do sinal de TVD;
- g) Medir a potência recebida do sinal de LTE;
- h) Repetir os itens de a) à g) para o nível máximo de TVD (100 W) e para um nível intermediário.

Foi utilizada a mesma metodologia para avaliação do ponto falha subjetiva, conforme descrito na seção 3.1.2.

O procedimento anterior foi repetido para avaliação de relação de proteção co-canal (PR0). Esses testes foram realizados com os receptores de TV no ponto fixo, utilizando-se antena externa e com o UE posicionado a 75 m, formando um ângulo de 49° em relação à direção de máximo ganho da antena externa.

Foi utilizado o canal de TV 56 e o bloco 5 de *uplink* do LTE (5 MHz).

### 3.3.3 Resultados do teste de interferência de *uplink* (com ATPC desabilitado)

A Tabela 27 apresenta o resultado do teste interferência de *uplink* (com ATPC desabilitado) para TVD no canal 51 e LTE com largura de faixa de 5 MHz no blocos 1 e tráfego de dados de 100%.

Tabela 27. Resultado do teste interferência de *uplink* (com ATPC desabilitado) para TVD no canal 51 e LTE com largura de faixa de 5 MHz no blocos 1 e tráfego de dados de 100%.

Antena	Receptor	Data	Tx TV [W]	Tx LTE [dBm]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Rx TV - Rx LTE [dB]
Interna Passiva	Rx 3	26/02/2014	5,5	21,0	0,0	-74,0	-31,0	-43,0
		26/02/2014	10,0	23,0	0,0	-72,5	-28,6	-43,9
		26/02/2014	-	-	-	-	-	-
Interna Amplificada	Rx1	25/02/2014	2,0	17,0	18,0	-73,0	-32,2	-40,8
		26/02/2014	12,6	17,0	9,0	-55,3	-22,4	-32,9
		25/02/2014	100,0	17,0	0,0	-39,0	-13,2	-25,8
	Rx 2	25/02/2014	2,0	16,0	18,0	-73,0	-33,8	-39,2
		26/02/2014	12,6	16,0	9,0	-55,3	-22,7	-32,6
		-	100,0	13,0	0,0	-39,0	-15,9	-23,1
	Rx 3	25/02/2014	2,0	15,0	18,0	-73,0	-34,7	-38,3
		26/02/2014	12,6	17,0	9,0	-55,3	-22,4	-32,9
		25/02/2014	100,0	17,0	0,0	-39,0	-13,2	-25,8

## 3.4

### Medidas de ACLR do LTE (eNodeB e UE)

Avaliou-se o parâmetro ACLR do sistema de transmissão LTE (eNodeB e UE), comparando as potências de LTE dos blocos 1 (5 MHz), 2 e 3 (10 MHz) e 2 a 5 (20 MHz), *downlink* e *uplink*, nas condições de tráfego de dados utilizadas nos testes, com a potência das emissões indesejáveis sobre os canais de TV de interesse (38, 39, 40, 47, 48, 49 e 51).

O ACLR de *downlink* é definido pela emissão da eNodeB LTE e o ACLR de *uplink* é definido pela emissão do UE LTE.

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

Com o objetivo de padronizar as medições de ACLR a partir de uma referência, foi utilizadoo mesmo setup da , com o seguinte procedimento:

- Foi ajustado o sinal LTE para bloco de *downlink* de interesse, em potência máxima.
- Foi ajustado o tráfego de dados através do IPERF, conforme descrito na seção 2.5.2.
- O setup de medição de ACLR no analisador de espectro foi selecionado através da função “recall”.

- d) Os atenuadores foram ajustados para o menor valor possível a fim de gerar a máxima potência de sinal LTE suportada pelo analisador de espectro, para ter uma melhor percepção do nível de ruído.
- e) Após a medição realizada pelo analisador de espectro a tela foi salva através da função “print screen”.

A Figura 22 mostra o setup das medições de ACLR. A Tabela 28 mostra os valores de ACLR medidos para o RRU e UE LTE.

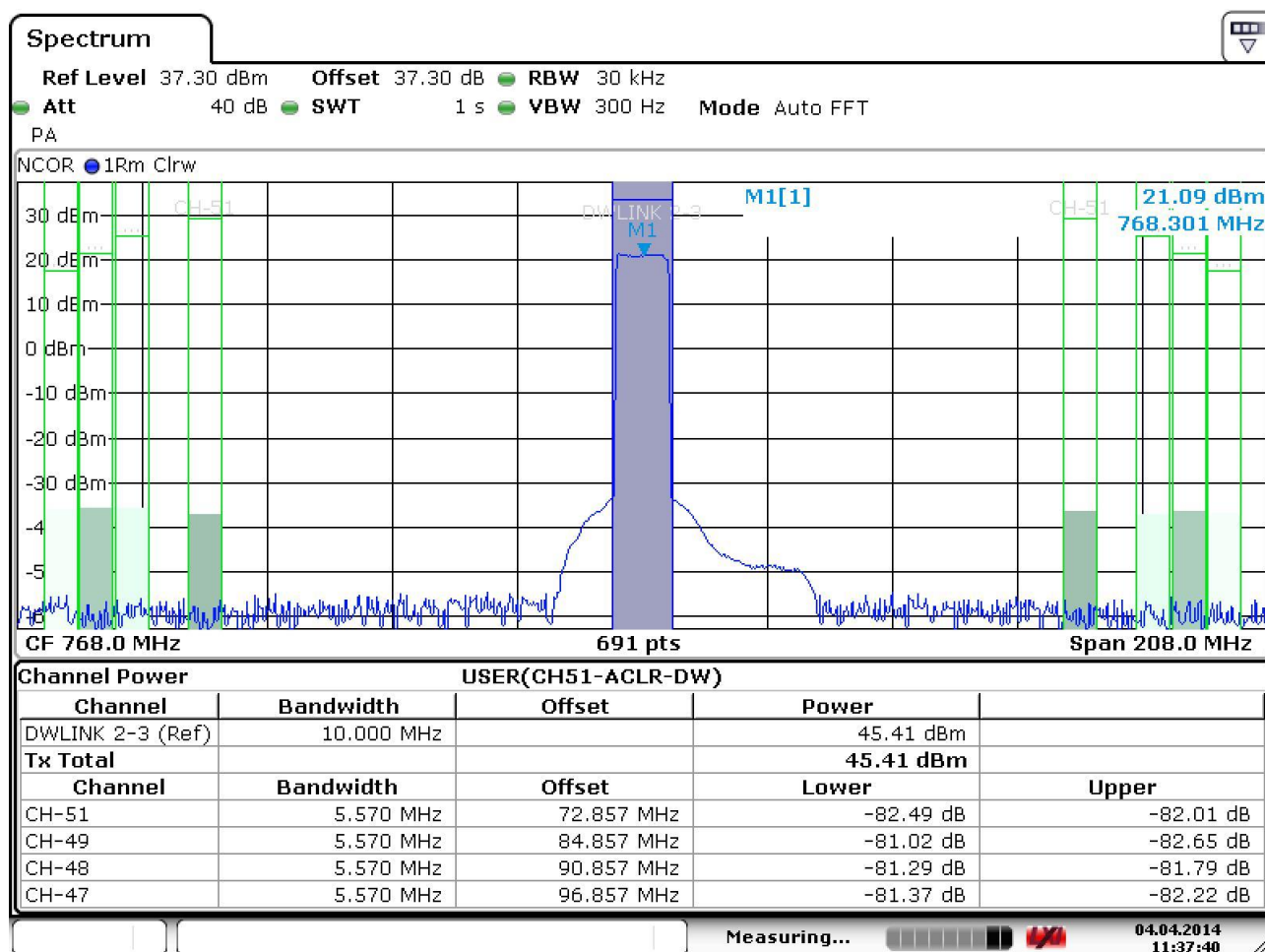


Figura 22. Setup de medida do ACLR.

Tabela 28. ACLR LTE.

LTE				ACLR [dB]						
Banda LTE		Carga	Potência [dBm]	CH38	CH39	CH40	CH47	CH48	CH49	CH51
Downlink	20 MHz	100%	45,48	-	-	-	-	-	-82,62	-82,34
	Blocos 2 a 5	0%	35,19	-	-	-	-	-79,28	-	-79,49
	10 MHz	100%	45,41	-	-	-	-81,37	-81,29	-81,02	-82,49
	Blocos 2 e 3	0%	35,79	-	-	-	-	-80,08	-	-80,49
	5 MHz	0%	36,61	-	-	-	-	-80,13	-	-81,20
Uplink (*)	20 MHz	100%	21,26	-86,21	-85,86	-86,09	-84,28	-84,18	-81,18	-66,93
	Blocos 2 a 5	10%	18,11	-84,49	-84,34	-84,03	-83,00	-83,66	-83,22	-80,84
		0%	18,38	-84,78	-84,29	-84,49	-83,19	-83,56	-83,54	-80,91
		10 MHz	100%	21,97	-100,61	-100,42	-100,45	-100,63	-100,48	-100,22
	Blocos 2 e 3	10%	15,39	-94,06	-93,87	-93,91	-94,10	-93,96	-93,74	-93,97
		0%	18,42	-97,09	-96,90	-96,94	-97,11	-96,97	-96,75	-96,95
		5 MHz	100%	21,69	-87,03	-86,34	-86,44	-85,21	-85,11	-84,67
	Bloco 1	10%	18,36	-84,85	-84,11	-83,99	-83,47	-83,37	-83,27	-78,31
		0%	15,22	-83,03	-81,90	-81,87	-81,00	-81,10	-80,87	-77,27

(\*) Terminal móvel

#### 4 TESTE DE INTERFERÊNCIA DA TVD NO LTE

O teste de interferência da TVD no LTE objetiva avaliar o impacto do sinal de TVD no funcionamento do sistema LTE. Em especial, foram avaliadas as situações em que a interferência causa perda de registro (*camping*) e degradação da taxa de transmissão (*throughput*).

Tanto o eNodeB quanto os terminais LTE possuem função de transmissão e recepção, assim, a interferência pode ocorrer tanto na recepção da eNodeB quanto na recepção do UE LTE.

No presente teste foram avaliadas:

- a interferência da TVD na recepção do eNodeB LTE;
- a interferência da TVD na recepção do CPE LTE;
- a interferência da TVD na recepção do UE LTE;

Nas seções seguintes serão apresentados a descrição dos cenários de teste, a metodologia utilizada e os resultados obtidos.

##### 4.1 Descrição do cenário do teste de interferência da TVD no LTE

A Figura 23 apresenta o diagrama esquemático montado para o teste de interferência da TVD na recepção da RRU. Os terminais de Rx da CPE não utilizados no teste foram terminados em carga de 50  $\Omega$ . Utilizou-se um conjunto de atenuadores (AT) que, quando ligados em série, permitiam aumentar ou diminuir a atenuação conforme diagrama. Os divisores de potência de RF podem ser utilizados para dividir ou combinar os sinais de RF. O diagrama apresenta ainda um gerador de sinal ISDB-T de TVD, que passa por um amplificador de potência e por um filtro passa-faixa. O sinal interferente, sinal de TVD após o filtro, é injetado no circuito de comunicação do LTE, sinal interferido. O sinal combinado (interferido + interferente) chega até os terminais de Rx da RRU, posição em que a interferência é avaliada. Uma amostra do sinal combinado é visualizada no analisador de espectro.

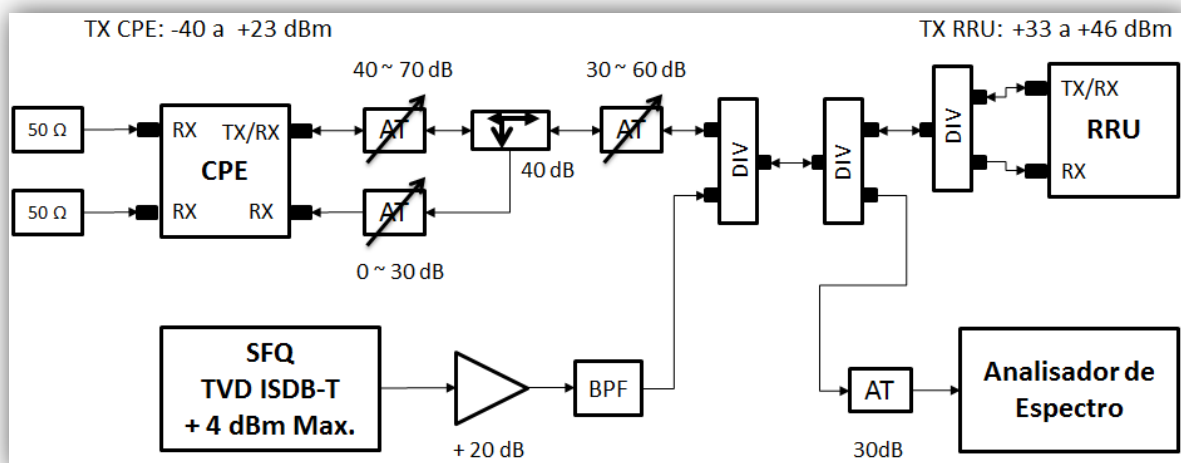


Figura 23. Diagrama esquemático utilizado para avaliar a interferência da TVD na recepção da RRU.

A Figura 24 apresenta o diagrama esquemático montado para o teste de interferência da TVD na recepção do CPE. A diferença principal em relação à Figura 23 é a inversão na posição da RRU e do CPE e os valores de atenuação necessária em cada trecho do circuito.

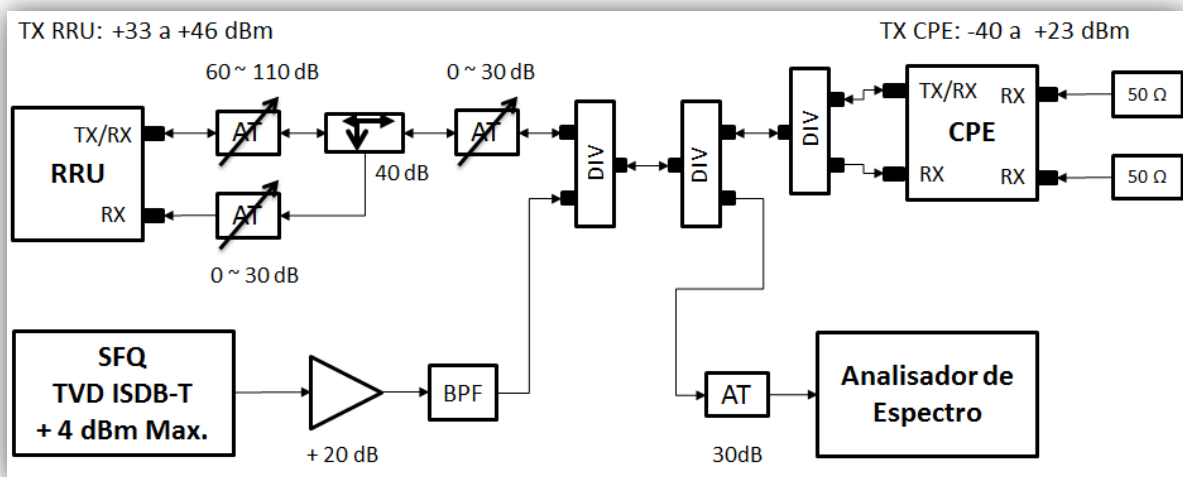


Figura 24. Diagrama esquemático utilizado para avaliar a interferência da TVD na recepção do CPE.

A Figura 25 apresenta o diagrama esquemático montado para o teste de interferência da TVD na recepção do UE LTE (Terminal). A diferença principal em relação à Figura 24 é a substituição do CPE pelo UE e os valores de atenuação necessária em cada trecho do circuito.

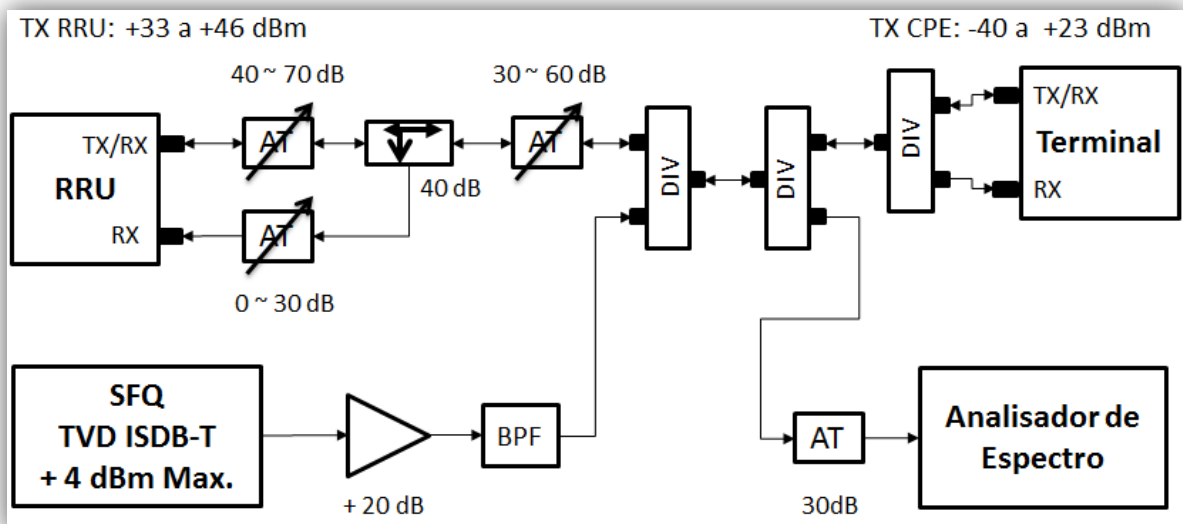


Figura 25. Diagrama esquemático utilizado para avaliar a interferência da TVD na recepção do UE (Terminal).

A Figura 26 e a Figura 27 mostram fotos dos equipamentos montados para a realização dos testes de interferência da TVD no LTE.

A Figura 28 mostra o UE utilizado nos testes e o detalhe de sua conectorização.



Figura 26. Setup de interferência TVD no LTE. Detalhe dos softwares de controle e do analisador de espectro utilizados.



Figura 27. Setup de interferência TVD no LTE. Detalhe da ligação dos equipamentos.



Figura 28. Detalhe da conectorização do terminal móvel utilizado (UE).

#### 4.2 Metodologia do teste de interferência da TVD no LTE

O sistema LTE emprega recursos dinâmicos e adaptativos frente à demanda de tráfego de dados, número de usuários, efeitos de propagação e interferências. Sendo assim, para a avaliação de efeitos interferentes sobre o LTE, é necessário considerar as acomodações sistêmicas que reagem frente aos fenômenos de propagação e sinais interferentes.

Os parâmetros sistêmicos do LTE, que sustentam o comportamento adaptativo, basicamente, são:

- Hierarquia de modulação (64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK)
- Número de resources blocks (número de subportadoras)
- Controle de potência dos transmissores
- Forward Error Code – FEC

Na metodologia de testes, avalia-se a convivência dos sistemas de LTE e TVD em dois comportamentos relevantes do sistema LTE:

- i) registro e *camping* da UE no sistema, e
- ii) operação de transferência de dados com influência no *throughput* em *uplink* e em *downlink*.

Para o registro e *camping* o sistema LTE utiliza poucas portadoras de referência do sistema cuja informação é transmitida com baixíssima taxa de dados e em hierarquia de modulação BPSK.

Como consequência, o nível de sensibilidade para o registro da UE é muito reduzido, da ordem de -110 dBm (RSRP). Assim, o registro é mais susceptível aos fenômenos interferentes.

A ocorrência de registro é verificada inicialmente sem a presença do sinal de TVD. O nível em que ocorre o registro é verificado partindo-se de potências de transmissão nulas, aumentando-se a potência de LTE, em passos de 1 dB, até que o CPE ou UE esteja registrado.

O registro é avaliado sob a perspectiva de interferência na recepção do CPE ou UE e, em outro momento, sob a perspectiva de interferência na recepção da eNodeB. Para distinguir as recepções, impõem-se níveis substanciais de recepção do LTE naquele em que não se deseja observar a interferência e, para a outra recepção, reduz-se o nível para que o sinal de TVD se configure interferente.

No nível limiar onde ocorreu o registro, repete-se o procedimento de registro, com a presença do sinal de TV em potência máxima. No caso de se identificar efeito de interferência, que cause a perda do registro, reduz-se o nível do sinal de TVD até que o mesmo não influa na ocorrência do registro.

Para a avaliação da influência da TVD, quando em operação de transmissão de dados devem ser consideradas as adaptações de hierarquias de modulação, que resultam em capacidades de transmissão diferentes. As hierarquias mais elevadas exigem níveis de recepção mais altos, bem como melhor relação do sinal LTE frente aos interferentes (C/I). O *throughput* é dependente da hierarquia de modulação e, assim, com o comportamento adaptativo, observa-se que a manutenção do serviço na presença de interferência e redução de recepção, se faz com a elevação de robustez do sistema. Por conseguinte, tal comportamento adaptativo resulta em redução no *throughput*.

Na Figura 29 indicam-se as regiões operacionais onde a possibilidade de interferência da TVD no LTE foi avaliada. Nessas 3 regiões constata-se:

- a. Manutenção de todas as portadoras em modulação 64QAM, em limiar de comutação de hierarquia de modulação para 16QAM
- b. Manutenção de todas as portadoras em modulação 16 QAM, em limiar de comutação de hierarquia de modulação para QPSK
- c. Manutenção de todas as portadoras em modulação QPSK, em limiar operacional, onde o sistema perde a capacidade de operar.

A primeira parte do teste é identificar tais regiões de operação em cada composição de blocos do sistema LTE. Uma vez identificadas, passa-se a inserir a interferência da TVD e observa-se seu efeito sobre a adaptação do sistema LTE, elevando sua robustez com a troca de hierarquia de modulação com uma redução de *Throughput* da ordem de 5%. Esse efeito caracteriza o ponto de interferência e é reavaliado para cada região operacional.

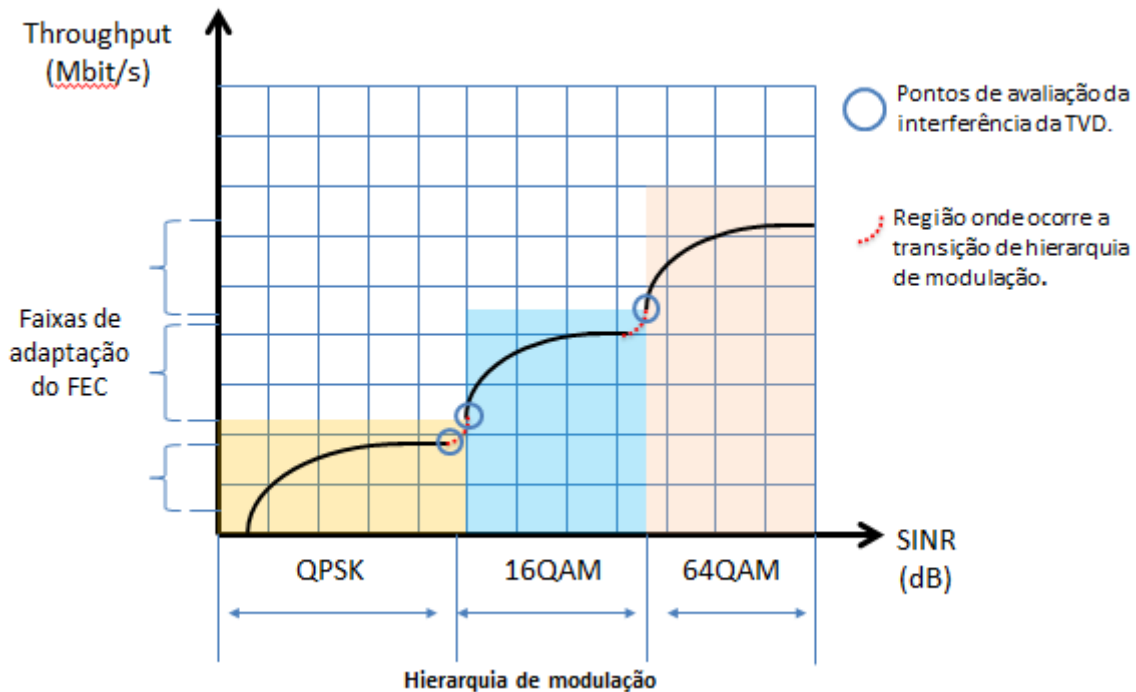


Figura 29. Característica típica *throughput* versus SINR de funcionamento do LTE. No detalhe, os pontos sobre os quais foi inserida a interferência da TVD.

Finalmente, para a composição do sinal LTE com o sinal interferente da TVD, seja na recepção da eNodeB ou do CPE ou UE, a configuração *MISO*, que apresenta múltiplas entradas de recepção e apenas uma de transmissão foi utilizada. Assim, pôde-se balancear a recepção, conforme a construção de hardware apresentada pelos sistemas em teste.

### 4.3 Resultados do teste de interferência da TVD no LTE

A Tabela 29, Tabela 30 e Tabela 31 apresentam os resultados para a interferência da TVD na recepção do eNodeB LTE com largura de faixa de, respectivamente, 5 MHz (bloco 1), 10 MHz (blocos 2 e 3), 20 MHz (blocos 2 a 5). Nestas tabelas as colunas estão descritas da seguinte forma:

- **Modulação:** define qual a modulação utilizada 64QAM, 16QAM ou QPSK;
- **Throughput (Mbit/s):** define a taxa de transferência de dados obtida. No teste de registro consta a palavra “*camping*”, pois não há transferência de dados nesse caso;
- **CH TVD #:** define o canal de TV utilizado;
- **TX TVD (dBm):** define a potência de saída do gerador de sinais utilizado para geração do sinal de TVD;
- **AMP TVD (dB):** define o ganho líquido entre a saída do gerador do sinal de TVD e a entrada da RRU, de acordo com a Figura 23;
- **Blocos LTE:** define o bloco LTE utilizado;
- **CPE PW TX (dBm):** define a potência de transmissão configurada no CPE;
- **CPE Atn RX (dB):** define a atenuação total entre a saída de Tx da RRU e entrada de Rx da CPE;
- **CPE PW RX (dBm):** calcula a potência recebida no terminal de Rx da CPE (**RRU PW TX - CPE Atn RX**);
- **RRU PW TX(dBm):** define a potência de Tx configurada na RRU;
- **RRU ATN int (RX)(dB):** define a atenuação interna configurada na RRU;

- **RRU Atn RX (dB)**: define a atenuação total entre a saída de Tx da CPE e entrada de Rx da RRU;
- **RRU RTWP (dBm)**: define o valor de RTWP obtido pelo software de controle da RRU;
- **RRU PW RX LTE (dBm)**: calcula a potência recebida no terminal de Rx da RRU (**CPE PW TX - RRU ATN int - RRU Atn RX**);
- **RRU PW RX TVD (dBm)**: calcula a potência do sinal de TVD recebido no terminal de Rx da RRU (**TX TVD + AMP TVD - RRU ATN int**);
- **D/U(dB)**: calcula a relação entre o sinal desejado (sinal LTE) e o sinal indesejado (sinal TVD) (**RRU PW RX LTE - RRU PW RX TVD**).

A Tabela 32, Tabela 33 e Tabela 34 apresentam os resultados para a interferência da TVD na recepção do CPE LTE com largura de faixa de, respectivamente, 5 MHz (bloco 1), 10 MHz (blocos 2 e 3), 20 MHz (blocos 2 a 5). Nestas tabelas as colunas estão descritas da seguinte forma:

- **Modulação**: define qual a modulação utilizada 64QAM, 16QAM ou QPSK;
- **Throughput (Mbit/s)**: define a taxa de transferência de dados obtida. No teste de registro consta a palavra “*camping*”, pois não há transferência de dados nesse caso;
- **CH TVD #**: define o canal de TV utilizado;
- **TX TVD (dBm)**: define a potência de saída do gerador de sinais utilizado para geração do sinal de TVD;
- **AMP TVD (dB)**: define o ganho líquido entre a saída do gerador do sinal de TVD e a entrada da CPE, de acordo com a Figura 24;
- **Blocos LTE**: define o bloco LTE utilizado;
- **RRU PW TX (dBm)**: define a potência de transmissão configurada na RRU;
- **RRU Atn RX (dB)**: define a atenuação total entre a saída de Tx do CPE e entrada de Rx da RRU;
- **RRU PW RX (dBm)**: calcula a potência recebida no terminal de Rx da RRU (**CPE PW TX - RRU Atn RX**);
- **CPE PW TX(dBm)**: define a potência de Tx configurada no CPE;
- **CPE Atn RX (dB)**: define a atenuação total entre a saída de Tx da RRU e entrada de Rx do CPE;
- **CPE RSSI (dBm)**: define o valor de RSSI obtido pelo software de controle da CPE;
- **CPE RSRP (dBm)**: define o valor de RSRP obtido pelo software de controle da CPE;
- **CPE sinr (dB)**: define o valor de SINR obtido pelo software de controle da CPE;
- **CPE RSRQ (dBm)**: define o valor de RSRQ obtido pelo software de controle da CPE;
- **CPE PW RX LTE (dBm)**: calcula a potência recebida no terminal de Rx do CPE (**RRU PW TX - CPE Atn RX**);
- **CPE PW RX TVD (dBm)**: calcula a potência do sinal de TVD recebido no terminal de Rx da CPE (**TX TVD + AMP TVD**);
- **D/U(dB)**: calcula a relação entre o sinal desejado (sinal LTE) e o sinal indesejado (sinal TVD) (**CPE PW RX LTE - CPE PW RX TVD**).

A Tabela 35 apresenta o resultado para a interferência da TVD na recepção do UE LTE com largura de faixa de 5 MHz, bloco 1, para o teste de *camping* e com largura de 20 MHz, blocos 2 a 5, para o teste de *throughput*.

- **Modulação**: define qual a modulação utilizada 64QAM, 16QAM ou QPSK;
- **Throughput (Mbit/s)**: define a taxa de transferência de dados obtida. No teste de registro consta a palavra “*camping*”, pois não há transferência de dados nesse caso;
- **CH TVD #**: define o canal de TV utilizado;

- **TX TVD (dBm)**: define a potência de saída do gerador de sinais utilizado para geração do sinal de TVD;
- **AMP TVD (dB)**: define o ganho líquido entre a saída do gerador do sinal de TVD e a entrada da CPE, de acordo com a Figura 25;
- **Blocos LTE**: define o bloco LTE utilizado;
- **RRU PW TX (dBm)**: define a potência de transmissão configurada na RRU;
- **RRU Atn RX (dB)**: define a atenuação total entre a saída de Tx do UE e entrada de Rx da RRU;
- **RRU PW RX (dBm)**: calcula a potência recebida no terminal de Rx da RRU (**UE PW TX - RRU Atn RX**);
- **UE PW TX (dBm)**: define a potência de Tx configurada no UE;
- **UE Atn RX (dB)**: define a atenuação total entre a saída de Tx da RRU e entrada de Rx do UE;
- **UE RSSI (dBm)**: define o valor de RSSI obtido pelo software de controle da UE;
- **UE RSRP (dBm)**: define o valor de RSRP obtido pelo software de controle da UE;
- **UE sinr (dB)**: define o valor de SINR obtido pelo software de controle da UE;
- **UE RSRQ (dBm)**: define o valor de RSRQ obtido pelo software de controle da UE;
- **UE PW RX LTE (dBm)**: calcula a potência recebida no terminal de Rx do UE (**RRU PW TX - UE Atn RX**);
- **UE PW RX TVD (dBm)**: calcula a potência do sinal de TVD recebido no terminal de Rx da UE (**TX TVD + AMP TVD**);
- **D/U (dB)**: calcula a relação entre o sinal desejado (sinal LTE) e o sinal indesejado (sinal TVD) (**UE PW RX LTE - UE PW RX TVD**).

Na coluna (D/U) de todas as tabelas descritas nesta seção, os campos em que são apresentados valores numéricos, referem-se a situações onde foi observada interferência da TVD no LTE. Os campos em que consta “não observado” referem-se a situações em que não foi observada interferência da TVD no LTE, para o limite máximo de potência de TVD utilizado.

Tabela 29. Resultado para a interferência da TVD na recepção do eNodeB LTE com largura de faixa de 5 MHz, bloco 1.

Modulação	Throughput (Mbit/s)	CH TVD #	TX TVD dBm	AMP TVD dB	Blocos LTE (5MHz)	CPE			RRU					D/U(dB)		
						PW TX (dBm)	Atn RX (dB)	PW RX (dBm)	PW TX(dBm)	ATN int(RX)(dB)	Atn RX (dB)	RTWP (dBm)	PW RX LTE (dBm)		PW RX TVD (dBm)	
	camping	51	-5	16	1 x x x	-18	108	-72,6	35,4	0	108	x	-126	11	-137	
	camping	51	-2	16		-15	108	-72,6	35,4	0	108	x	-123	14	Não observado	
	camping	51	-2	16		0	108	-72,6	35,4	0	108	x	-108	14	Não observado	
Sem sinal TVD interferente						Sem sinal TVD interferente										
64QAM	13,8	x	x	x		21	108	-72,6	35,4	0	108	-88	-87	x	x	
16QAM	5,4	x	x	x		7	108	-83,1	24,9	0	108	-99	-101	x	x	
QPSK	2,5	x	x	x		1	108	-83,1	24,9	0	108	-102	-107	x	x	
Com sinal TVD interferente						Com sinal TVD interferente										
64QAM	13,8	51	-20	16		21	108	-72,6	35,4	0	108	-88	-87	-4	-83	
16QAM	5,4	51	-18	16		7	108	-72,6	35,4	0	108	-99	-101	-2	-99	
QPSK	2,5	51	-17	16		1	108	-72,6	35,4	0	108	-102	-107	-1	-106	

Tabela 30. Resultado para a interferência da TVD na recepção do eNodeB LTE com largura de faixa de 10 MHz, blocos 2 e 3.

Modulação	Throughput (Mbit/s)	CH TVD #	TX TVD dBm	AMP TVD dB	Blocos LTE (10MHz)	CPE			RRU					D/U(dB)		
						PW TX (dBm)	Atn RX (dB)	PW RX (dBm)	PW TX(dBm)	ATN int(RX)(dB)	Atn RX (dB)	RTWP (dBm)	PW RX LTE (dBm)		PW RX TVD (dBm)	
	camping	51	-8	16	x 2 3 x	-18	108	-71,3	36,7	0	108	x	-126	8	-134	
	camping	51	0	16		-15	108	-71,3	36,7	0	108	x	-123	16	Não observado	
	camping	51	0	16		0	108	-71,3	36,7	0	108	x	-108	16	Não observado	
Sem sinal TVD interferente						Sem sinal TVD interferente										
64QAM	27	x	x	x		23	108	-71,3	36,7	0	108	-86	-85	x	x	
16QAM	13,4	x	x	x		12	108	-71,3	36,7	0	108	-95	-96	x	x	
QPSK	6,2	x	x	x		5	108	-71,3	36,7	0	108	-99	-103	x	x	
Com sinal TVD interferente						Com sinal TVD interferente										
64QAM	27	51	-16	16		23	108	-71,3	36,7	0	108	-87	-85	0	-85	
16QAM	13,4	51	-12	16		12	108	-71,3	36,7	0	108	-95	-96	4	-100	
QPSK	6,2	51	-14	16		6	108	-71,3	36,7	0	108	-99	-102	2	-104	

Tabela 31. Resultado para a interferência da TVD na recepção do eNodeB LTE com largura de faixa de 20 MHz, blocos 2 a 5.

Modulação	Throughput (Mbit/s)	CH TVD #	TX TVD dBm	AMP TVD dB	Blocos LTE (20MHz)	CPE			RRU					D/U(dB)	
						PW TX (dBm)	Atn RX (dB)	PW RX (dBm)	PW TX(dBm)	ATN int(RX)(dB)	Atn RX (dB)	RTWP (dBm)	PW RX LTE (dBm)		PW RX TVD (dBm)
	camping	51	-4	16	2 3 4 5	-17	108	-71,5	36,5	0	108	x	-125	12	-137
	camping	51	-3	16		-14	108	-71,5	36,5	0	108	x	-122	13	-135
	camping	51	-2	16		0	108	-71,5	36,5	0	108	x	-108	14	Não observado
sem interferente da TVD						sem interferente da TVD									
64QAM	44,7	x	x	x		-10	78	-41,5	36,5	0	78	-86	-88	x	x
16QAM	19,6	x	x	x		-19	78	-41,5	36,5	0	78	-89	-97	x	x
QPSK	13,1	x	x	x		-22	78	-41,5	36,5	0	78	-89,7	-100	x	x
com interferente da TVD						com interferente da TVD									
64QAM	44,7	51	-18	16		-10	78	-41,5	36,5	0	78	-86	-88	-2	-86
16QAM	19,6	51	-16	16		-19	78	-41,5	36,5	0	78	-89	-97	0	-97
QPSK	13,1	51	-16	16		-22	78	-41,5	36,5	0	78	-89,7	-100	0	-100

Tabela 32. Resultado para a interferência da TVD na recepção do CPE LTE com largura de faixa de 5 MHz, bloco 1.

Modulação	Throughput (Mbit/s)	CH TVD #	TX TVD dBm	AMP TVD dB	Blocos LTE (5MHz)	RRU			CPE					D/U(dB)			
						PW TX (dBm)	Atn RX (dB)	PW RX (dBm)	PW TX(dBm)	Atn RX (dB)	RSSI (dBm)	RSRP(dBm)	sinr (dB)		RSRQ(dB)	PW RX LTE (dBm)	PW RX TVD (dBm)
	camping	51	-2	16	1 x x x	25,3	107	-84,4	22,6	138	-101	-128	-3	-12	-112,7	14	Não observado
	camping	51	-2	16		28,3	107	-84,4	22,6	138	-99	-125	0,3	-10	-109,7	14	Não observado
	camping	51	-2	16		31	107	-84,4	22,6	138	-96	-116	9,5	-5	-107	14	Não observado
Sem sinal TVD interferente						Sem sinal TVD interferente											
64QAM	9	x	x	x		40,7	107	-92	15	128	-92	-113	12	-7	-87,3	x	x
16QAM	4,8	x	x	x		34,7	107	-92	15	128	-97	-120	5,5	-8	-93,3	x	x
QPSK	1,1	x	x	x		40,5	107	-92	15	138	-100	-127	-1,2	-12	-97,5	x	x
Com sinal TVD interferente						Com sinal TVD interferente											
64QAM	9	51	-2	16		40,7	107	-92	15	128	-92	-114	-11,8	-7	-87,3	14	Não observado
16QAM	4,8	51	-2	16		34,7	107	-92	15	128	-97	-120	5,5	-8	-93,3	14	Não observado
QPSK	1,1	51	-2	16		40,5	107	-92	15	138	-99	-127	-1,3	-12	-97,5	14	Não observado

Tabela 33. Resultado para a interferência da TVD na recepção do CPE LTE com largura de faixa de 10 MHz, bloco 2 e 3.

Modulação	Throughput (Mbit/s)	CH TVD #	TX TVD dBm	AMP TVD dB	Blocos LTE (10MHz)	RRU			CPE						D/U(dB)		
						PW TX (dBm)	Atn RX (dB)	PW RX (dBm)	PW TX(dBm)	Atn RX (dB)	RSSI (dBm)	RSRP(dBm)	sinr (dB)	RSRQ(dB)		PW RX LTE (dBm)	PW RX TVD (dBm)
	camping	51	-2	16	x 2 3 x	27,9	107	-86	21	128	88	-114	8	-10	-100,1	14	Não observado
	camping	51	-2	16		30,9	107	-86	21	128	-86	-111	9	-9	-97,1	14	Não observado
	camping	51	-2	16		36,8	107	-86	21	128	-82	-105	19	-5	-91,2	14	Não observado
Sem sinal TVD interferente						Sem sinal TVD interferente											
64QAM	17,3	x	x	x		41,8	107	-86	21	128	-90	-115	11	-8	-86,2	x	x
16QAM	9,5	x	x	x		35,7	107	-86	21	128	-94	-121	5	-9	-92,3	x	x
QPSK	5,6	x	x	x		32,6	107	-86	21	128	-96	-125	1,4	-10	-95,4	x	x
Com sinal TVD interferente						Com sinal TVD interferente											
64QAM	17,3	51	-2	16		41,8	107	-86	21	128	-90	-115	11	-8	-86,2	14	Não observado
16QAM	9,5	51	-2	16		35,7	107	-86	21	128	-94	-121	5	-9	-92,3	14	-106,3
QPSK	5,6	51	-2	16		32,6	107	-86	21	128	-96	-125	1,4	-10	-95,4	14	-109,4

Tabela 34. Resultado para a interferência da TVD na recepção do CPE LTE com largura de faixa de 20 MHz, bloco 2 a 5.

Modulação	Throughput (Mbit/s)	CH TVD #	TX TVD dBm	AMP TVD dB	Blocos LTE (20MHz)	RRU			CPE						D/U(dB)		
						PW TX (dBm)	Atn RX (dB)	PW RX (dBm)	PW TX(dBm)	Atn RX (dB)	RSSI (dBm)	RSRP(dBm)	sinr (dB)	RSRQ(dB)		PW RX LTE (dBm)	PW RX TVD (dBm)
	camping	51	-2	16	2 3 4 5	32,2	107	-92	15	138	-82	-111	5	-10	-105,8	14	Não observado
	camping	51	-2	16		35,2	107	-92	15	138	-82	-108	10	-7	-102,8	14	Não observado
	camping	51	-2	16		36,2	107	-92	15	138	-81	-107	11	-6	-101,8	14	Não observado
Sem sinal TVD interferente						Sem sinal TVD interferente											
64QAM	29,8	x	x	x		39,8	107	-93,1	13,9	128	-89	-117	10	-8	-88,2	x	x
16QAM	18	x	x	x		42,8	107	-88,7	18,3	148	-92	-121	5,3	-9	-105,2	x	x
QPSK	10,7	x	x	x		38,8	107	-88,7	18,3	148	-94	-125	1,1	-11	-109,2	x	x
Com sinal TVD interferente						Com sinal TVD interferente											
64QAM	29,8	51	-9	16		36,8	107	-93,1	13,9	128	-89	-117	9,5	-8	-91,2	7	-98,2
16QAM	18	51	-14	16		42,8	107	-88,7	18,3	148	-92	-122	5,1	-9	-105,2	2	-107,2
QPSK	10,7	51	-13	16		37,7	107	-88,7	18,3	148	-93	-125	1,1	-11	-110,3	3	-113,3

Tabela 35. Resultado para a interferência da TVD na recepção do UE LTE com largura de faixa de 5 MHz, bloco 1, para o teste de *camping* e com largura de 20 MHz, blocos 2 a 5, para o teste de *throughput*.

Modulação	Throughput (Mbit/s)	CH TVD #	TX TVD dBm	AMP TVD dB	Blocos LTE (5MHz)				RRU			UE						D/U(dB)		
									PW TX (dBm)	Atn RX (dB)	PW RX (dBm)	PW TX(dBm)	Atn RX (dB)	RSSI (dBm)	RSRP(dBm)	sinr (dB)	RSRQ(dB)		PW RX LTE (dBm)	PW RX TVD (dBm)
	camping	51	-5,8	13	1	x	x	x	26,8	107	-84,4	22,6	138	-102	-127	x	-11,5	-111,2	7,2	Não observado

Modulação	Throughput (Mbit/s)	CH TVD #	TX TVD dBm	AMP TVD dB	Blocos LTE (20MHz)				RRU			Terminal Móvel						D/U(dB)		
									PW TX (dBm)	Atn RX (dB)	PW RX (dBm)	PW TX(dBm)	Atn RX (dB)	RSSI (dBm)	RSRP(dBm)	sinr (dB) com TV	RSRQ(dB)		PW RX LTE (dBm)	PW RX TVD (dBm)
Sem sinal TVD interferente																				
64QAM	29,6	51	x	x	1	2	3	4	41,8	107	-85	22	128	-91	-119	x	-7,13	-86,2	x	x
Com sinal TVD interferente																				
64QAM	29,6	51	-3	13					41,8	107	-93,1	13,9	128	-91	-119	x	-7	-86,2	10	Não observado

#### 4.4 Medidas de ACLR da geração de sinal de TVD

Nesta seção são apresentados os resultados das medições de ACLR da geração de sinal de TVD. A geração do sinal de TVD é composta pelo gerador de sinais vetoriais Rohde & Schwarz SFQ, amplificador de RF Hitachi Linear e filtro de máscara crítica Contech (referido na Tabela 5), ligados em cascata.

A Figura 30 mostra a tela do analisador de espectro contendo a medida de ACLR do sinal de TVD. A Tabela 36 apresenta os valores de ACLR do sinal de TVD.

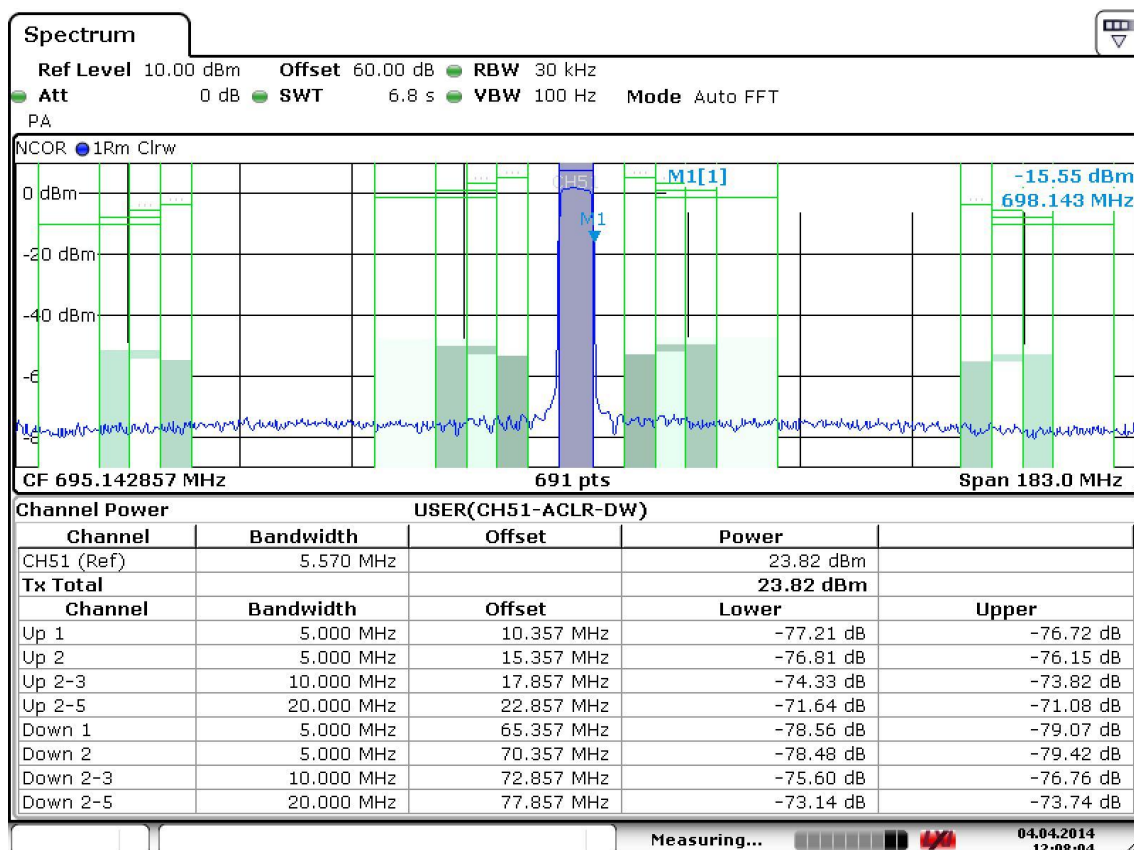


Figura 30. Medição de ACLR do sinal de TVD.

Tabela 36. Resultado da medição de ACLR do sinal de TVD.

TVD		
Canal	Largura de faixa	Potência [dBm]
51	5,57 MHz	23,82
LTE		
Banda LTE		ACLR [dB]
Uplink	5 MHz - Bloco 1	-76,72
	5 MHz - Bloco 2	-76,15
	10 MHz - Blocos 2 e 3	-73,82
	20 MHz - Blocos 2 a 5	-71,08
Downlink	5 MHz - Bloco 1	-79,07
	5 MHz - Bloco 2	-79,42
	10 MHz - Blocos 2 e 3	-76,76
	20 MHz - Blocos 2 a 5	-73,74

## 5 TÉCNICAS DE MITIGAÇÃO UTILIZADAS

As técnicas de mitigação avaliadas nos testes em campo foram:

- uso de filtro passa-baixa nos receptores de TVD;
- ajustes no posicionamento das antenas receptoras de TVD;
- uso de filtro passa-faixa no eNodeB.

A seção 5.1 apresenta os resultados para a mitigação da interferência do LTE na TVD, em que é aplicado o uso de filtro passa-baixa nos receptores de TVD e ajustes no posicionamento das antenas receptoras de TVD.

A seção 5.2 apresenta os resultados da mitigação da interferência do LTE na TVD, em que é aplicado o uso de filtro passa-faixa no eNodeB.

A seção 5.3 apresenta as características dos filtros utilizados nos testes em campo.

### 5.1 Mitigação da interferência do LTE na TVD

#### 5.1.1 Mitigação da interferência do eNodeB LTE nos receptores de TVD

Na seção 3.1.3, podem ser observadas situações limites, quando se rompe o ponto de TOV, ocorrendo a interferência do sistema de transmissão LTE na TVD.

Para o estudo de mitigação destas interferências, a UM foi posicionada no ponto 1 de medidas, onde se encontram o maior número destas situações.

A Tabela 37 e a Tabela 38 mostram o resultado do uso alternado de dois modelos diferentes de filtros, ambos do tipo passa baixa, instalados na entrada da antena de recepção de TVD.

A Tabela 37 mostra a interferência causada pelo sistema LTE no canal 51 de TVD, que é o canal mais próximo da faixa do LTE em 700 MHz. Pode-se notar nesta tabela que, com os níveis de sinal de TVD e LTE apresentados e nas condições testadas, o uso do filtro resolveu todos os casos.

Considerando, ainda, os resultados apresentados na Tabela 37 pode-se verificar que, para cada tipo de antena foram utilizados 3 receptores (Rx1, Rx2 e Rx3), sendo avaliado o uso dos filtros para cada um deles.

Nas situações em que não foi possível obter o nível de sinal recebido de TVD próximo a -74 dBm, foram utilizados atenuadores na entrada do circuito, que atenuam tanto o sinal de TVD como o sinal de LTE. Adicionalmente, para cada caso é mostrado o resultado sem o uso de tais atenuadores, recebendo o menor nível de TVD possível de ser gerado nos testes em campo, com o transmissor operando em 1,6 W.

A Tabela 38 mostra a interferência causada pelo sistema LTE no canal 48 de TVD, que é um dos canais imagem dos blocos 2 e 3 de *downlink* LTE. Note que no caso de antena externa com amplificador, com o uso do filtro 1 não houve interferência, porém com o uso do filtro 2 não foi possível cessar a interferência quando o Tx LTE estava em potência máxima (40 W).

A situação da tabela anterior em que, mesmo com o uso do filtro 2, a interferência não foi suprimida, foi mitigada ora por meio da diminuição da potência de Tx LTE, ora pelo aumento da potência de Tx TVD, conforme apresentado na Tabela 39.

Tabela 37. Uso do filtro no *downlink* canal adjacente

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Interferência? Sim / Não
Externa Passiva	Rx1	6,3	40,0	10,0	-74,3	-77,8	Com Filtro 1: Não
		1,6	40,0	0,0	-71,5	-72,3	Com Filtro 1: Não
		4,0	40,0	10,0	-74,1	-51,1	Com Filtro 2: Não
		1,6	40,0	0,0	-69,0	-43,8	Com Filtro 2: Não
	Rx 2	6,3	40,0	10,0	-74,3	-77,8	Com Filtro 1: Não
		1,6	40,0	0,0	-71,5	-72,3	Com Filtro 1: Não
		4,0	40,0	10,0	-74,1	-51,1	Com Filtro 2: Não
		1,6	40,0	0,0	-69,0	-43,8	Com Filtro 2: Não
	Rx 3	6,3	40,0	10,0	-74,3	-77,8	Com Filtro 1: Não
		1,6	40,0	0,0	-71,5	-72,3	Com Filtro 1: Não
		4,0	40,0	10,0	-74,1	-51,1	Com Filtro 2: Não
		1,6	40,0	0,0	-74,1	-51,1	Com Filtro 2: Não
Externa com Amplificador	Rx1	1,6	40,0	0,0	-52,5	-55,5	Com Filtro 1: Não
		1,6	40,0	0,0	-50,0	-27,0	Com Filtro 1: Não
		2,5	40,0	23,0	-74,1	-68,3	Com Filtro 2: Não
		1,6	40,0	23,0	-73,3	-49,8	Com Filtro 2: Não
	Rx 2	1,6	40,0	0,0	-52,5	-55,5	Com Filtro 1: Não
		1,6	40,0	0,0	-50,0	-27,0	Com Filtro 1: Não
		2,5	40,0	23,0	-74,1	-68,3	Com Filtro 2: Não
		1,6	40,0	23,0	-73,3	-49,8	Com Filtro 2: Não
	Rx 3	1,6	40,0	0,0	-52,5	-55,5	Com Filtro 1: Não
		1,6	40,0	0,0	-50,0	-27,0	Com Filtro 1: Não
		2,5	40,0	23,0	-74,1	-68,3	Com Filtro 2: Não
		1,6	40,0	23,0	-73,3	-49,8	Com Filtro 2: Não

Tabela 38. Uso do filtro no *downlink* canal imagem

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Interferência? Sim / Não
Externa Passiva	Rx 2	1,6	40,0	0,0	-72,1	-69,6	Com Filtro 1: Não
		1,6	40,0	3,0	-75,5	-72,9	Com Filtro 1: Não
		1,6	40,0	0,0	-70,8	-41,7	Com Filtro 2: Não
		1,6	40,0	10,0	-74,4	-50,1	Com Filtro 2: Não
Externa com Amplificador	Rx 2	1,6	40,0	0,0	-53,9	-57,1	Com Filtro 1: Não
		1,6	40,0	20,0	-74,4	-65,0	Com Filtro 1: Não
		1,6	40,0	0,0	-53,4	-57,1	Com Filtro 2: Sim

Tabela 39. Mitigação da situação apresentada na ultima linha da Tabela 38.

Antena	Receptor	Tx TV [W]	Tx LTE [W]	Aten. Rx [dB]	Rx TV [dBm]	Rx LTE [dBm]	Interferência? Sim / Não
Externa com Amplificador	Rx 2	1,6	6,3	0,0	-53,4	-40,8	Com Filtro 2: Não
		15,8	40,0	0,0	-43,4	-32,7	Com Filtro 2: Não

### 5.1.1.1 Mitigação por ajustes na antena de recepção

Uma forma de mitigar as interferências existentes entre os sistemas de TVD e LTE é alterar o posicionamento da antena receptora de TV, ajustando características como apontamento e altura da antena.

Os testes por apontamento e altura da antena de recepção de TVD, visam o estudo dos efeitos de acoplamento eletromagnético entre a recepção do sinal desejado e a fonte geradora de sinais indesejados de radiofrequência. Estes efeitos são técnicas de mitigação em ambientes de co-localização, isto é, quando uma estação rádio base do LTE encontra-se instalada nas proximidades de antenas de recepção externa de TVD.

A Tabela 40 mostra o resultado do teste de variação do azimute da antena receptora de TVD em relação à antena transmissora de LTE. Nota-se que foi possível obter uma atenuação de 27,3 dB do sinal interferente pela variação de 90° no apontamento da antena em relação à fonte deste sinal.

Tabela 40. Perda do sinal de TVD e LTE por variação no azimute da antena de recepção de TV.

Azimute da Antena de Rx	Tx TV [W]	Rx TV [dBm]	Perda de sinal TVD [dB]	Tx LTE [W]	Rx LTE [dBm]	Perda de sinal LTE [dB]
0°	100	-48,0	0,0	40	4,0	0,0
-90°	100	-72,0	24,0	40	-23,3	27,3
-180°	100	-69,0	21,0	40	-15,8	19,8

A Tabela 41 mostra o resultado do teste de variação da altura da antena receptora de TV em relação à antena transmissora de LTE. Nota-se que foi possível obter uma atenuação de até 29,5 dB do sinal interferente pela alteração relativa altura da antena de Rx de TVD, nas condições testadas.

Tabela 41. Variação da altura da antena de recepção de TV

Altura do Tx LTE [m]	Altura do Rx TVD [m]	Rx LTE [dBm]	Perda de sinal LTE [dB]	Ângulo [°]
12,4	3,3	-48,6	29,5	42,3
12,4	5,0	-46,4	27,3	36,5
12,4	6,0	-44,0	24,9	32,6
12,4	8,0	-49,8	30,7	23,7
12,4	9,0	-38,9	19,8	18,8
12,4	10,0	-31,5	12,4	13,5
12,4	11,0	-24,3	5,2	8,0
12,4	12,0	-19,1	0,0	2,3

### 5.1.1.2 Mitigação por polarização na antena de transmissão do LTE

Uma forma de mitigar a interferência do LTE na TVD é utilizar apenas a polarização vertical na transmissão do eNodeB LTE.

Salienta-se que a polarização das antenas de recepção externa de TVD é horizontal e que a instalação disponível em campo não possibilitava alterar a polarização da antena de transmissão do LTE. Assim, para se obter o efeito equivalente à polarização ortogonal entre os sistemas, foi alterada apenas a polarização da antena de recepção de TVD.

A Tabela 42 mostra os resultados do teste de variação da polarização da antena receptora de TV em relação à antena transmissora de LTE. São utilizados dois modos de transmissão do sistema LTE, o modo 1T2R e o modo 2T2R. Nota-se que na situação de polarização cruzada entre as antenas de Tx LTE e Rx TVD o sinal interferente foi atenuado de 24,6 dB.

Tabela 42. Perda do sinal LTE por variação na polarização da antena de recepção de TV.

Modo de transmissão LTE	Polarização da Antena de Tx LTE [m]	Polarização da Antena de Rx TVD [m]	Tx LTE [W]	Rx LTE [dBm]	Perda de sinal LTE [dB]
1T2R	+ 45°	0° - Horizontal	40,0	-19,2	<b>3,8</b>
	+ 45°	+ 45°	40,0	-15,4	<b>0,0</b>
	+ 45°	- 45°	40,0	-40,0	<b>24,6</b>
2T2R	+ 45°	0° - Horizontal	40,0	-15,2	<b>-1,6</b>
	+ 45°	+ 45°	40,0	-16,8	<b>0,0</b>
	+ 45°	- 45°	40,0	-16,4	<b>-0,4</b>

### 5.1.2 Mitigação para interferência do UE LTE nos receptores de TVD

Os resultados dos testes apresentados na Tabela 43 e Tabela 44 mostram que, nas condições testadas para o *uplink*, a mitigação por meio de uso do filtro na recepção de TV resolveu o problema de interferência em todos os casos considerados.

A Tabela 43 refere-se à mitigação dos casos identificados na Tabela 25.

A Tabela 44 refere-se à mitigação dos casos identificados na Tabela 26.

Duas situações foram mitigadas: a situação em que havia interferência capaz de bloquear o canal de TV a uma distância de 1 m ou a situação em que a interferência se mantinha a 2,5 m de distância.

Tabela 43. Resultados do teste de mitigação com uso do filtro na recepção de TV utilizando antena interna passiva, LTE com largura de faixa de 10 MHz nos blocos 2 e 3 e tráfego de dados de 10%.

Canal TV	Receptor	Distância	Tx TV [dBm]	Rx TV [dBm]	Rsrp LTE [dBm]	Tx LTE [dBm]	Rx LTE [dBm]	Interferência? Sim / Não
CH51	Rx1	1,0 m	34	-74	-114	2 ~ 23	-81 ~ -78	Com Filtro 1: Não
		1,0 m	32	-74	-114	2 ~ 23	-72 ~ -73	Com Filtro 2: Não
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
	Rx 2	1,0 m	34	-74	-114	2 ~ 23	-83 ~ -80	Com Filtro 1: Não
		1,0 m	32	-74	-115	4 ~ 23	-74 ~ -72	Com Filtro 2: Não
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-

Tabela 44. Resultados do teste de mitigação com uso do filtro na recepção de TV utilizando antena interna passiva, LTE com largura de faixa de 10 MHz nos blocos 2 e 3 e tráfego de dados de 100%.

Canal TV	Receptor	Distância	Tx TV [dBm]	Rx TV [dBm]	Rsrp LTE [dBm]	Tx LTE [dBm]	Rx LTE [dBm]	Interferência? Sim / Não
CH51	Rx 2	1,0 m	34	-74	-116	6 ~ 23	-55 ~ -60	Com Filtro 1: Não
		1,0 m	32	-74	-118	4 ~ 23	-42 ~ -38	Com Filtro 2: Não
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
CH39	Rx 2	1,0 m	37	-74	-112	7 ~ 23	-49 ~ -50	Com Filtro 1: Não
		1,0 m	41	-74	-113	7 ~ 23	-41 ~ -32	Com Filtro 2: Não
		2,5 m	-	-	-	-	-	-
		2,5 m	-	-	-	-	-	-

Adicionalmente, foram realizados outros testes de mitigação de *uplink*, com tempo de observação reduzido, utilizando separação entre o terminal móvel LTE e a antena interna passiva inferiores a 1 m e sem a diferença de altura de 0,5 m apresentada na Figura 18. Nesse teste alinhou-se a altura da antena interna com a do UE, com este ativado para 10% de tráfego de dados. Em seguida foi aproximado da antena interna. A recepção de TVD era no canal 51 recebido a aproximadamente -74 dBm no Rx 1. A interferência do LTE na TV causada pela aproximação do terminal passou a bloquear a recepção de TV em distâncias entre 1 m e 50 cm. Nessa situação ao inserir o filtro 1 ou o filtro 2 a TV voltou a operar normalmente. Na sequência, com um dos filtros inseridos na recepção da TV, foi necessário aproximar mais ainda o terminal móvel para obter novamente o bloqueio do canal de TV. Isso ocorreu em distâncias entre 25 e 50 cm. Por fim, utilizou-se o filtro 1 conectado em cascata com o filtro 2 e nessa situação, com o terminal a uma distância aproximada de 25 cm, a interferência cessou sem que fosse necessário aumentar a potência de transmissão de TV (o sinal Rx de TV com os filtros em série estava na ordem de -80 dBm).

Foram realizados, também, testes com uma antena interna amplificada trazida do Japão cuja especificação técnica informa que opera até 710 MHz, alinhada com a canalização japonesa. Assim, foram realizados testes iniciais com o transmissor de TV no canal 53 e com o LTE operando com 10 MHz, frequência central de *uplink* em 725 MHz e de *downlink* em 780 MHz, de modo a manter o espaçamento espectral equivalente caso a antena operasse até 698 MHz (canalização brasileira). Porém, como esses testes não indicaram melhores resultados em relação à antena interna amplificada testada anteriormente, decidiu-se por não aprofundá-lo.

## 5.2 Mitigação para interferência da TVD no LTE

A Tabela 45 apresenta os resultados do teste de mitigação da interferência da TVD no LTE. O teste de mitigação foi realizado para o caso de interferência na recepção do eNodeB LTE com largura de faixa de 10 MHz (blocos 2 e 3), por meio de uso do filtro passa-faixa descrito na seção 5.3.3. A utilização de filtro externo não se aplica à recepção do UE ou do CPE.

A Tabela 45 refere-se à mitigação dos casos de interferências identificados na Tabela 30. Comparando-se estas tabelas, verifica-se que a mitigação se mostrou efetiva em minimizar a interferência. Porém, observou-se uma queda inferior a 5% em relação ao *throughput* obtido com ausência do canal 51 de TVD.

Tabela 45. Resultado do teste de mitigação da interferência da TVD na recepção do eNodeB LTE com largura de faixa de 10 MHz, blocos 2 e 3.

Modulação	Throughput (Mbist/s)	CH TVD #	TX TVD dBm	AMP TVD dB	Blocos LTE (10MHz)				CPE			RRU					D/U(dB)	Observações			
									PW TX (dBm)	Atn RX (dB)	PW RX (dBm)	PW TX(dBm)	ATN int(RX)(dB)	Atn RX (dB)	RTWP (dBm)	PW RX LTE (dBm)			PW RX TVD (dBm)		
sem Filtro	camping	51	-13	15,6					-15	110	-73,3	36,7	0	110	x	-125	2,6	-127,6	-		
com Filtro	camping	51	-2	-35,3					-14	111,1	-74,4	36,7	0	109	x	-123	-37,3	Não observado	-		
Sem sinal TVD interferente									Sem sinal TVD interferente												
64QAM	23,7	x	x	x	x	2	3	x	21	110	-73,3	36,7	0	110	x	-89	x	x	-		
16QAM	12,1	x	x	x					13	110	-73,3	36,7	0	110	x	-97	x	x	x	-	
QPSK	6,2	x	x	x					8	110	-73,3	36,7	0	110	x	-102	x	x	x	-	
Com sinal TVD interferente													Com sinal TVD interferente								
64QAM	23,7	51	-19	15,6					21	110	-73,3	36,7	0	110	x	-89	-3,4	-85,6	-		
16QAM	12,1	51	-18	15,6					13	110	-73,3	36,7	0	110	x	-97	-2,4	-94,6	-		
QPSK	6,2	51	-18	15,6					8	110	-73,3	36,7	0	110	x	-102	-2,4	-99,6	-		
Com sinal TVD interferente - COM FILTRO					Rejeição do Filtro				Com sinal TVD interferente - COM FILTRO												
64QAM	24,3	51	-2	15,6			50,9		22	111,1	-74,4	36,7	0	110	x	-88	-37,3	-50,7	não ultrapassou 5% de queda		
16QAM	12,1	51	-2	15,6			50,9		14	111,1	-74,4	36,7	0	110	x	-96	-37,3	-58,7	não ultrapassou 5% de queda		
QPSK	6,2	51	-2	15,6			50,9		9	111,1	-74,4	36,7	0	110	x	-101	-37,3	-63,7	não ultrapassou 5% de queda		

### 5.3 Filtros utilizados nos testes de campo

Nos testes de mitigação da interferência do LTE na TVD foram utilizados dois modelos de filtro passa-baixa, denominados filtro 1 e filtro 2. Enquanto nos testes de mitigação da interferência da TVD no LTE foi utilizado um filtro passa-faixa. As seções seguintes apresentam a descrição de cada filtro utilizado.

#### 5.3.1 Filtro passa-baixa – Filtro 1

A Figura 31 mostra uma foto do filtro 1. Este produto é um protótipo desenvolvido pela Proeletronic para o presente teste.

A Figura 32 apresenta a curva de resposta em frequência S21 do filtro 1 utilizado em campo.



Figura 31. Filtro passa-baixa – filtro 1 utilizado no teste.



Figura 32. Resposta em frequência do filtro 1 utilizado no teste.

### 5.3.2 Filtro passa-baixa – Filtro 2

A Figura 33 mostra uma foto do filtro 2. Este produto é um protótipo desenvolvido pela Hitachi-Yagi para o presente teste.

A Figura 34 apresenta a referência de resposta em frequência do filtro 2.



Figura 33. Filtro passa-baixa – filtro 2 utilizado no teste.

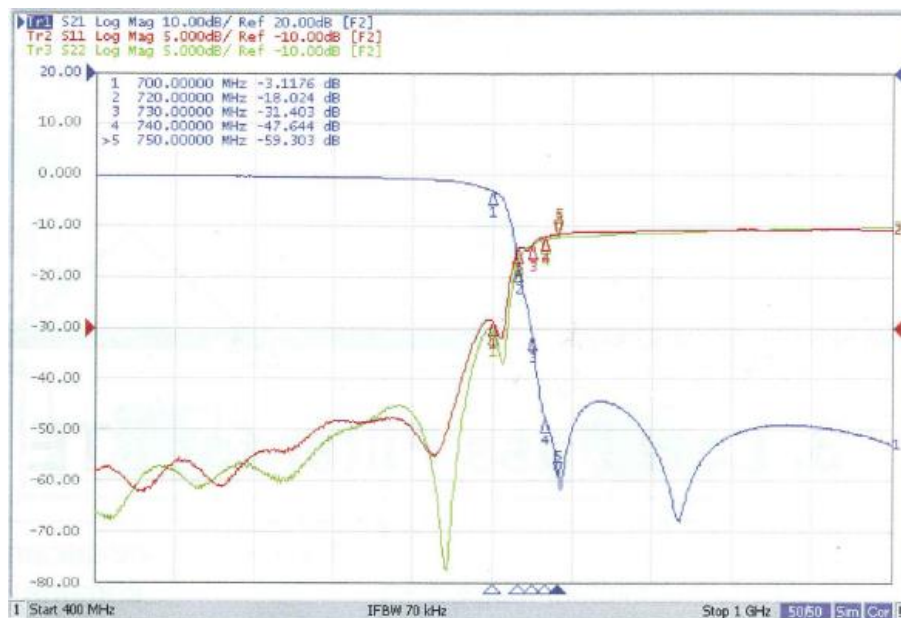


Figura 34. Referência de resposta em frequência do filtro 2.

### 5.3.3 Filtro passa-faixa

A Figura 35 mostra uma foto do filtro passa-faixa. Este produto é um protótipo desenvolvido pela Proeletronic para o presente teste.

A Figura 36 apresenta a referência de resposta em frequência do filtro passa-faixa.



Figura 35. Filtro passa-faixa utilizado no teste.

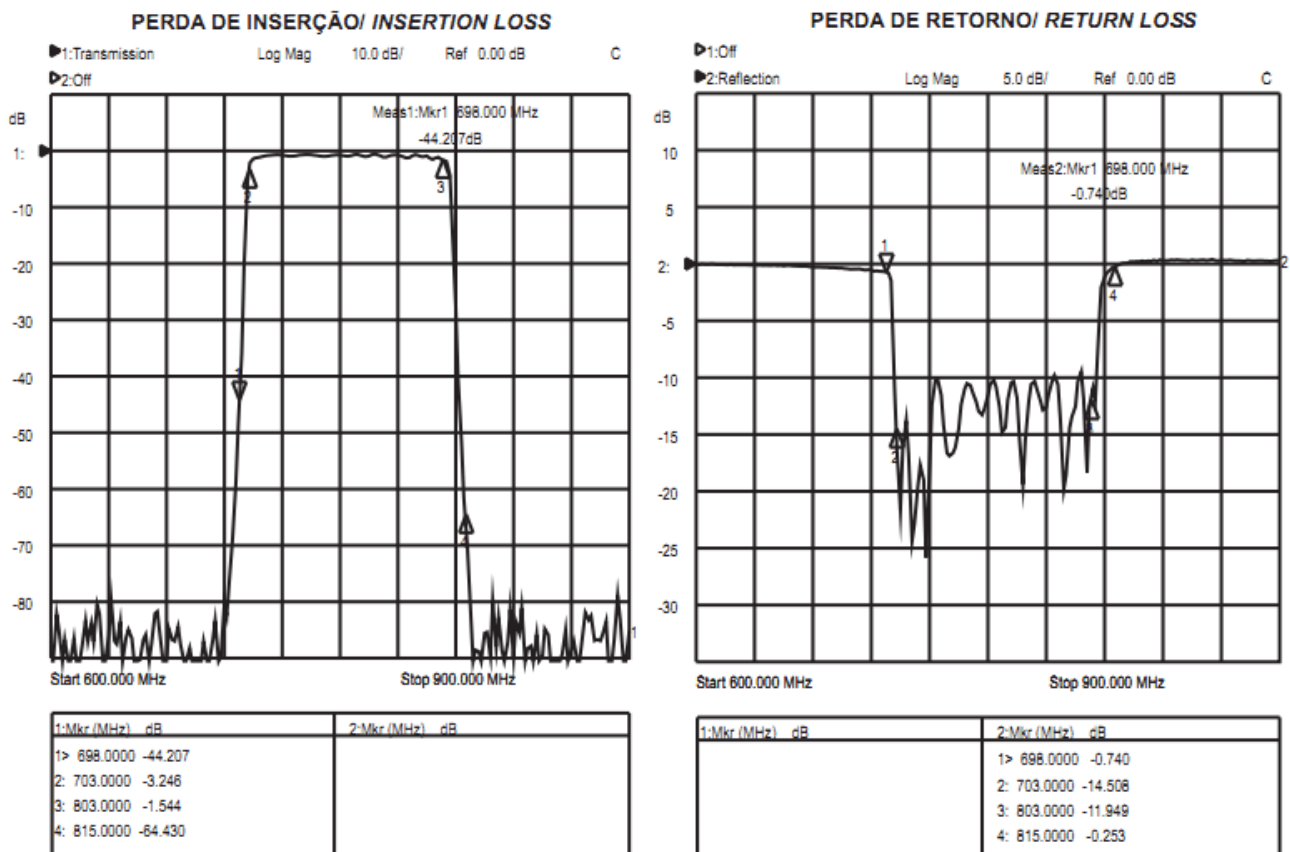


Figura 36. Referência de resposta em frequência do filtro passa-faixa.

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES DE CONVIVÊNCIA

### 6.1 Interferência do LTE na TVD

Nos testes de interferência do LTE na TVD buscou-se isolar os efeitos da interferência do *downlink* e do *uplink* LTE sobre a recepção de TVD. Os cenários de testes representam os casos em que um dos interferentes - *downlink* ou *uplink* - é recebido com potência muito maior que o outro - *uplink* ou *downlink* - no receptor interferido, representando situações típicas de convivência.

As diferenças entre os valores obtidos nas medições de relação de proteção em campo (Pirenópolis) e em laboratório (Santa Rita do Sapucaí) são devidas aos fenômenos de propagação envolvidos e a diferença de setup de testes (equipamentos e configurações utilizadas). De forma geral, foi observada uma degradação de relações de proteção nas medidas de campo em relação às de laboratório.

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). Assim como observado no teste em laboratório, foi observada uma dispersão no desempenho dos receptores testados em campo.

Quando da utilização de amplificador, integrado ou não à antena de TVD, sua influência é mais significativa do que a interferência gerada pelos espúrios do sistema LTE, pois o efeito no patamar de ruído é muito significativo.

O amplificador é mais susceptível ao efeito de saturação, pois os receptores de TV, tipicamente, apresentam maior robustez à saturação. No caso do amplificador se encontrar em condição de saturação, independente do nível de TVD ou LTE que ele está recebendo a decodificação do sinal de TVD ficará inviável. Se o amplificador for integrado à antena, não há como aplicar a mitigação por utilização de filtro, restando apenas seu afastamento da fonte interferente.

Com o uso de antena interna a recepção de TV se torna mais susceptível a interferência originada pelo sinal de *uplink* do sistema LTE. Porém a possibilidade de interferência é uma combinação de diferentes fatores, como a potência transmitida pelo *uplink* (que é função do nível de recepção do sinal proveniente do eNodeB), a potência recebida de TV do canal sintonizado e das distâncias (espectral e geométrica) relativas entre eles.

Os terminais utilizados nos testes em campo, CPE e UE, apresentavam potências máxima nominal de +23 dBm +/- 2 dB.

A Tabela 46 apresenta um resumo das medições nas quais foi possível estabelecer a relação de proteção entre TVD/LTE.

Tabela 46. Medições realizadas para estabelecer a relação de proteção de canal adjacente e canal imagem.

SINAL INTERFERENTE			RECEPTOR	SINAL INTERFERIDO	
LINK	CARGA	BLOCO		CANAL	ANTENA
<i>UPLINK</i>	100%	BL1 (5MHz)	RX1 RX2 RX3	51	Interna passiva Interna amplificada
<i>DOWNLINK</i>	Idle	BL1 (5MHz) BL2-3 (10MHz) BL2-5 (20MHz)	RX1 RX2 RX3		Interna amplificada Externa passiva Externa com amplificador
	100%	BL2-3 (10MHz) BL2-5 (20MHz)	RX1 RX3 RX5		
	100%	BL2-3 (10MHz)	RX2	48	Externa passiva Externa com amplificador

O uso de polarização vertical no eNodeB LTE como técnica de mitigação pode ser adequada para o bloco 1, dado que a recepção de TVD com antena externa ocorre com polarização horizontal.

### 6.1.1 *Downlink* do LTE

As medidas de interferência do canal imagem do *downlink* foram feitas no Ponto 1 para antenas externas. Tal escolha decorre deste ponto refletir o caso mais crítico dentre os pontos avaliados.

Verificou-se que o valor de ACLR, no canal 51, apresentado pelo eNodeB utilizado em teste era, em média, 17 dB maior que os calculados a partir dos limiares de emissão de espúrios estabelecidos pela Resolução nº 625/2013. Ressalta-se que quanto maior for o valor de ACLR, melhor a convivência entre os sistemas, diminuindo a possibilidade de interferências.

Os valores de relação de proteção são função da ACS do receptor de TV digital e do ACLR do eNodeB. O ACS e o ACLR são, em geral, considerados juntos, pois os efeitos coexistem. Considerando os valores normativos de ACLR calculados a partir da Resolução nº 625 e os valores calculados de ACS a partir das medições em campo, apresentamos na Tabela 47 um resumo de valores da correção de PR'.

Tabela 47. Tabela resumo de PR'.

	Banda	Canal	Antena	Sintonizador	PR	Oth	PR0	ACS	ACLR'	PR'		
DOWNLINK IDLE	10 MHz (Bloco 2-3)	51	interna ativa	si-tuner	-42	-17	3	45	64,2	-42		
				can-tuner	-20	NO	5	25	64,2	-20		
			externa passiva	si-tuner	-67	NO	3	70	64,2	-61		
				can-tuner	-69	6	5	74	64,2	-59		
			externa com booster	si-tuner	-63	-1	3	66	64,2	-59		
				can-tuner	-66	-2	5	71	64,2	-59		
	20 MHz (Bloco 2-5)	51	externa passiva	si-tuner	-62	4	0	66	64,2	-62		
				can-tuner	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
			externa com booster	si-tuner	-46	NO	0	46	64,2	-46		
				can-tuner	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
DOWNLINK 100%	5 MHz	51	interna ativa	si-tuner	-39	-18	18	58	64,2	-39		
				can-tuner	-43	-18	18	61	64,2	-41		
			externa passiva	si-tuner	-59	-1	18	99	64,2	-46		
				can-tuner	-69	0	18	ND	64,2	ND		
			externa com booster	si-tuner	-57	-5	18	79	64,2	-46		
				can-tuner	-64	-5	18	ND	64,2	ND		
			10 MHz (Bloco 2-3)	51	interna ativa	si-tuner	-33	NO	14	47	64,2	-33
						can-tuner	-33	NO	14	47	64,2	-33
	externa passiva	si-tuner			-61	0	14	77	64,2	-50		
		can-tuner			ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	externa com booster	si-tuner			-59	-7	14	75	64,2	-49		
		can-tuner			ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	48	externa passiva		si-tuner	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
				can-tuner	-59	-8	14	75	64,2	-35		
		externa com booster		si-tuner	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
				can-tuner	-39	-28	14	54	64,2	-33		
		20 MHz (Bloco 2-5)		51	externa passiva	si-tuner	-53	NO	11	78	64,2	-53
						can-tuner	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	externa com booster		si-tuner		-51	NO	11	73	64,2	-53		
			can-tuner		ND	ND	ND	ND	ND	ND		

NA: Não aplicável

ND: Não disponível

Analogamente à análise feita para os dados de laboratório, é necessário considerar os limites normativos para as emissões indesejáveis estabelecidas na Resolução nº 625/2013, avaliando-se PR' com e sem filtro, conforme apresentado na Tabela 48.

Tabela 48. PR' com e sem filtro passa baixa considerando ACLR normativo.

	Banda	Canal	Antena	Sintonizador	Medição sem filtro	Sem filtro	Com filtro
					PR	PR'	PR'
DOWNLINK IDLE	10 MHz (Bloco 2-3)	51	interna ativa	si-tuner	-42	-42	-61
				can-tuner	-20	-20	-59
			externa passiva	si-tuner	-67	-61	-61
				can-tuner	-69	-59	-59
			externa com booster	si-tuner	-63	-59	-61
				can-tuner	-66	-59	-59
	20 MHz (Bloco 2-5)	51	externa passiva	si-tuner	-62	-62	-62
				can-tuner	ND	ND	ND
externa com booster			si-tuner	-46	-46	-62	
			can-tuner	ND	ND	ND	
DOWNLINK 100%	5 MHz (Bloco 1)	51	interna ativa	si-tuner	-39	-39	-46
				can-tuner	-43	-41	-46
			externa passiva	si-tuner	-59	-46	-46
				can-tuner	-69	ND	ND
			externa com booster	si-tuner	-57	-46	-46
				can-tuner	-64	ND	ND
	10 MHz (Bloco 2-3)	51	interna ativa	si-tuner	-33	-33	-50
				can-tuner	-33	-33	-50
			externa passiva	si-tuner	-61	-50	-50
				can-tuner	ND	-50	-50
			externa com booster	si-tuner	-59	-49	-50
				can-tuner	ND	-50	-50
		48	externa passiva	si-tuner	NA	NA	NA
				can-tuner	-59	-35	-50
	20 MHz (Bloco 2-5)	51	externa passiva	si-tuner	-53	-53	-53
				can-tuner	ND	ND	ND
externa com booster			si-tuner	-51	-53	-53	
			can-tuner	ND	-53	-53	

\* obs1: O filtro 1 solucionou todos os casos de interferência identificados.

\* obs2: O filtro 2 solucionou todos os casos de interferência identificados, exceto interferência no canal imagem. Entretanto, utilizando-se 2 desses filtros em série, a mitigação é factível.

### 6.1.2 Uplink do LTE

Foram realizados testes com o UE a 1 e 2,5 metros da antena, para a convivência entre os canais 39 e 51 de TVD e os blocos 2 e 3 do LTE.

Foi avaliada a relação de proteção para o canal 51 e o bloco 1 do LTE a 1 metro.

Verificou-se que os valores de ACLR medidos no UE aumentam com o afastamento espectral entre o *uplink* do LTE (blocos fixos) e o canal de TV considerado (canais 51, 50, 49, etc.). Para a mesma banda de guarda os valores de ACLR com canal de 10 MHz foram superiores aos observados no canal de 20 MHz. Em todos os casos considerados os valores de ACLR observados foram superiores (média de 32 dB em relação ao canal 51) aos calculados a partir dos limiares de emissões indesejáveis estabelecidos pela Resolução nº 625/2013.

Os testes de interferência com 10% de tráfego de dados consideraram a execução de um script no qual se buscou a alocação concentrada em 10% do tempo, com potência máxima, no sistema LTE. Essa metodologia procurou observar uma condição de convivência mais crítica devido ao comportamento do CAG do receptor de TV. Na avaliação dos resultados, entretanto, observou-se uma alocação dinâmica no tempo e na frequência. Nota-se que a duração dos períodos ativo e inativo configurada nos testes em campo (30 e 270 ms respectivamente) foi superior à utilizada na configuração laboratorial (1 e 9 ms respectivamente), que implica em um impacto diferente no CAG dos receptores.

Ressalta-se que a presença de sinal interferente variante no tempo (pulsante) ocasiona degradação no desempenho da relação de proteção e no limiar de bloqueio (Oth), devido à ação do CAG dos receptores de TVD.

Na metodologia de medição para recepção com antena interna amplificada, o atenuador colocado à frente do receptor de TVD funciona como elemento de mitigação de interferência. Portanto, o setup utilizado e os resultados da Tabela 23 e Tabela 24, para esses casos, não é o mais adequado para a avaliação da eficácia do filtro. Uma interpretação possível nesse caso é o de que o receptor estava sendo testado com um afastamento equivalente a aproximadamente 20m da antena e não mais a 2,5 m. Outra interpretação possível é que a potência do UE estava 18 dB abaixo do valor medido, o que é factível, uma vez que a variação entre a potência máxima e a potência mínima transmitida pelo UE é superior a 60 dB.

Para antena interna passiva, em um primeiro momento com uso de divisor 1:4, quando da avaliação da interferência LTE dos blocos 2-3 no canal 51, não se identificou interferência para as mesmas distâncias (1 m e 2,5 m). Porém, removendo-se esse divisor, cuja perda de inserção é de 8 dB, se identificou algumas falhas visuais (*artifacts*) na recepção de TV a 1 metro, que foram resolvidos com inserção de um filtro passa baixa à frente da recepção de TV. O uso de antena externa reduz a possibilidade de interferência de *uplink*, devido a maior distância entre o terminal de usuário e a antena de recepção de TV.

O resultado no levantamento de relação de proteção utilizou potência fixa, anulando-se o controle automático de potência, conforme Tabela 49.

Tabela 49. Relação de proteção do *uplink* bloco 1 (sem ATPC).

	Banda	Canal	Antena	Sintonizador	PR	Oth	PR0	ACS	ACLR'	PR'
UPLINK 100%	5 MHz (Bloco 1)	51	interna passiva	si-tuner	-43	NO	23	67	49,2	-26
				can-tuner	ND	ND	ND	ND	ND	ND
			Interna ativa	si-tuner	-39	-22	23	63	49,2	-26
				can-tuner	-39	-23	23	63	49,2	-26

Analogamente à análise na Tabela 48, a consideração para os limites normativos para as emissões indesejáveis estabelecidas na Resolução nº 625/2013, avaliando-se PR' com e sem filtro.

Tabela 50. PR' com e sem filtro para *uplink* 100%.

	Banda	Canal	Antena	Sintonizador	Sem filtro	Com filtro
					PR'	PR'
UPLINK 100%	5 MHz (Bloco 1)	51	Interna passiva	si-tuner	-26	-26
				can-tuner	ND	ND
			Interna ativa	si-tuner	-26	-26
				can-tuner	-26	-26

Conforme apresentado na Tabela 50, a relação de proteção corrigida não teve modificação com o uso de filtro uma vez que o elemento dominante na interferência é o ACLR. Isto é, para outros terminais que apresentem ACLR mais próximo ao limite normativo, o uso do filtro testado pode não ser eficaz isoladamente, de tal forma que outra técnica de mitigação deve ser adotada em conjunto.

As medidas de mitigação pela inclusão de filtros no *uplink* não avaliaram o limiar de visibilidade. Assim essas medidas não permitem quantificar o efeito do filtro no sistema, constituindo apenas em análise qualitativa. A ausência desses dados não permite a adequada especificação de filtros de mitigação para interferência do *uplink*.

Dos testes realizados em campo não é possível estabelecer a especificação definitiva do filtro para a faixa de frequência de *uplink*.

## 6.2 Interferência da TVD no LTE

A avaliação de interferência do TVD no LTE foi realizada em cenário de ambiente controlado, onde se utilizou o sistema LTE real instalado em Pirenópolis. Entretanto, devido ao sistema de TVD apresentar potência de transmissão reduzida, foi utilizado um gerador de sinais de TVD para inserir diretamente à entrada dos receptores LTE o sinal interferente. A Figura 23, Figura 24 e Figura 25 apresentam as configurações utilizadas. Destaca-se que foram testados 2 terminais de usuário (CPE e UE). Não houve qualquer alteração nas funcionalidades padrões programadas no eNodeB da Huawei para o objetivo de controle de interferências.

### 6.2.1 Recepção do eNodeB

Da avaliação de interferência da TVD no LTE observou-se que o eNodeB, no universo testado, demonstrou elevada robustez. Entretanto, identificaram-se situações onde ocorreram interferências, as quais podem ser interpretadas como casos de proximidade com estações de transmissão de TVD, devido ao elevado nível de sinal de TVD medido na recepção do eNodeB. Estas interferências se manifestaram em dois casos distintos: no registro/*camping* dos terminais e na redução do *throughput*.

Para a mitigação de interferências na recepção do eNodeB considerou-se a possibilidade de aplicar três alternativas (entre outras existentes):

- inserção de filtro à frente do eNodeB (1 filtro por porta de recepção); ou

- afastamento entre o eNodeB e o transmissor de TVD; ou
- desalinhamento das antenas.

Nas condições de teste de mitigação, canal 51 e blocos 2 e 3 do LTE, foi utilizado como técnica de mitigação a inserção de filtro passa faixa (*uplink + downlink*) à frente do eNodeB. Observou-se que a aplicação dessa estratégia de mitigação aumentou a robustez do sistema, cerca de 17 dB, porém, não tem efeito sobre as emissões de espúrios de TVD que se sobrepõe à faixa de LTE. Com a potência máxima de TVD que pôde ser verificada houve uma perda da capacidade de *throughput* inferior a 5%, que é valor de perda de *throughput* definido como rompimento da relação de proteção. Esta perda é decorrente da emissão de espúrios proveniente do gerador de TVD.

Esse comportamento é determinado pelo ACLR do gerador de TVD, caracterizado em sua medição conforme Figura 30.

Foi verificada também a efetividade do uso do filtro eliminando a possibilidade de interferência na condição de registro/*camping*. É necessário ressaltar que mesmo sem o uso do filtro a relação D/U já era elevada (da ordem de -127 dB).

### 6.2.2 Recepção do Terminal de Usuário

Da avaliação de interferência da TVD no LTE observou-se que o CPE e o UE, no universo testado, demonstraram elevada robustez. Para o UE, não se identificou interferência para as condições testadas. Para a CPE identificaram-se situações onde é possível a ocorrência de interferência. Porém, os valores em que ocorreram tais interferências não são representativos para recepção em ambiente interno.

Para os casos de interferência no CPE e UE, não será possível estabelecer técnicas de mitigação além de seu afastamento da fonte interferente.

## 7 CONCLUSÕES

O teste em campo na cidade de Pirenópolis avaliou a convivência mútua entre sistemas LTE operando na faixa de 700 MHz e TVD em ambiente de propagação suburbano, incluindo o estudo de técnicas de mitigação.

O sistema de transmissão de TVD consistia de um transmissor com possibilidade de alteração do canal, incluindo-se o uso de filtro de máscara crítica. A potência máxima de emissão foi de 100 W. A recepção foi avaliada com receptores comerciais com tecnologia *silicon tuner* e *can tuner*, que apresentam uma dispersão de desempenho. Os testes foram realizados em quatro pontos distintos com antenas internas e externas, com e sem amplificador.

O sistema LTE foi composto por estação rádio base e CPE, ambos fornecidos pela Huawei e terminal móvel (UE) fornecido pela Qualcomm. A potência máxima do eNodeB era de 46 dBm/layer MIMO e do CPE/UE era de 23 dBm.

Os terminais apresentaram desempenho superior aos requisitos mínimos de emissões indesejadas, estabelecidos pela Resolução 625/2013, conforme verificado nos capítulos 3, 4 e 5. O terminal móvel Qualcomm é um protótipo de smartphone, que serve de referência para o desenvolvimento de equipamentos comerciais.

Os cenários de testes buscaram situações extremas de convivência, dentro das condições específicas do setup (propagação e ecossistema), de tal forma que resolvido o problema de interferência nestes casos, outras situações de interferência no mesmo cenário poderiam ser resolvidas com as mesmas técnicas de mitigação ou outras.

No caso de interferência do *downlink* do eNodeB em uma recepção com antena interna ou externa, que não utilizem amplificador integrado, o uso do filtro passa-baixa de TV é a solução mais recomendada. Esse filtro pode ser inserido na entrada RF da televisão ou logo após a antena. Eventualmente, pode ser necessário o uso de filtros em cascata, principalmente nos casos de antena externa, conectada a um amplificador.

No caso de amplificadores integrados à antena não há como aplicar a mitigação por filtro.

No caso de interferência do *uplink* do terminal na recepção de TVD com antena interna passiva, os resultados dos testes mostraram que o filtro resolveu os problemas de interferência nas condições dos testes. Considerando uma combinação de fatores, como: a) recepção do sinal de TVD próxima ao limiar de recepção do aparelho, recebendo o canal 51 ou um canal cuja frequência imagem coincida com o LTE; b) cobertura do LTE 700 MHz próxima ao limiar de recepção, de tal forma a maximizar a potência de transmissão do terminal (condição similar ao ambiente testado); poderá ser necessário o distanciamento entre o terminal móvel e a antena de recepção, devido às emissões indesejáveis do terminal e/ou as emissões na faixa do terminal LTE. O relaxamento de qualquer uma das condições anteriores diminui as chances de ocorrência desse tipo de interferência.

O parâmetro ACLR, que reflete as emissões indesejáveis do terminal, é um fator determinante na relação de proteção das interferências oriundas do *uplink*. No contexto do terminal testado, este parâmetro não foi o preponderante. Porém, espera-se que se utilizado um terminal com o ACLR mais próximo ao limite normativo, o uso de filtro passa-baixa poderia não ser eficaz.

No que se refere as interferências decorrentes das emissões na faixa de *uplink* do LTE, estas podem ser mitigadas pelo uso de filtro passa-baixa. Destaca-se que a influência na recepção de TVD incide no comportamento do CAG do receptor de TVD. Este comportamento é ainda agravado quando o sinal LTE apresenta características de sinais pulsados.

Os resultados de testes não permitem concluir sobre a suscetibilidade da TV a interferências oriundas do *uplink* no Bloco 1 do LTE.

No caso de interferência da TVD na recepção do eNodeB, os testes indicaram que pode ser necessário o uso de filtros em sua recepção, em situações nas quais o eNodeB esteja próximo da estação de radiodifusão operando no canal 51. Embora os resultados apresentem uma robustez do eNodeB a interferências, percebe-se que em casos extremos poderá ocorrer degradação no *throughput* devido emissões indesejáveis do sistema de TVD, não mitigáveis pelo uso de filtro. Outra técnica de mitigação adotada foi a variação de potência do transmissor de TVD simulando diferentes distâncias entre os transmissores de TVD e o eNodeB. Observa-se que a adoção do planejamento adequado do apontamento das antenas são fatores importantes para a mitigação.

No caso de interferência da TVD na recepção do terminal móvel ou CPE, os testes indicaram que a intensidade de interferência no qual se identificou uma degradação na qualidade do sistema LTE, seja no *throughput*, seja no uso de uma modulação ou código corretor de erros mais robustos, são valores altos, que não são comumente identificados em ambientes práticos.

Adicionalmente, os testes apontaram que o uso de antena externa, em contrapartida ao uso de antena interna, aumenta o nível do sinal recebido de TVD, além de diminuir o potencial de interferência do sinal de *uplink* do sistema LTE.

O uso de filtro passa-baixa tem efeito favorável na mitigação da interferência de sinal *uplink* e *downlink* LTE. Porém, sua especificação deve ser definida de forma a minimizar o impacto na recepção de TVD.

Tendo em vista ter se verificado variação e suscetibilidade à interferência nos receptores de TVD em situações diversas de convivência, se recomenda perseguir a melhor evolução construtiva destes receptores pelo aprimoramento e adequação da especificação as condições de convivência entre os sistemas avaliados. Aplica-se este mesmo entendimento para outros elementos utilizados na recepção de sinais de TVD, como antenas e amplificadores.

Considera-se ainda, que é necessário, visando à redução das ações de mitigação, que se desenvolva esforço no sentido de disponibilizar terminais móveis, para uso na faixa de 700 MHz na tecnologia LTE, com melhor desempenho, frente à máscara de emissão de espúrios dos transmissores de eNodeB e dos transmissores de terminais, estes últimos predominantes na possibilidade de interferência sobre a recepção de TVD. Tal assunto deve ser tratado nos fóruns pertinentes.