

Relatório dos Testes de Convivência entre o IMT Operando na Faixa de 3,5 GHz e Sistemas Satelitais Operando em Faixa Adjacente

Outubro/2020 Versão 1.0

Relatório dos Testes de Convivência entre o IMT Operando na Faixa de 3,5 GHz e Sistemas Satelitais Operando em Faixa Adjacente

Outubro/2020

Agência Nacional de Telecomunicações

SAUS Quadra 06 Blocos C, E, F e H
CEP 70070-940
Brasília/DF
Tel:(061) 2312-2000

Superintendência de Outorga e Recursos à Prestação – SOR

Vinicius Oliveira Caram Guimarães – Superintendente
Agostinho Linhares de Souza Filho – Gerente
Alex Pires de Azevedo
Frederico Fernandes Neves
Marcelo Tapajoz de Arruda

Superintendência de Fiscalização – SFI

Igor de Moura Leite Moreira – Superintendente
Alexandre Campos Moraes
André Luiz da Costa Barcellos
Eduardo Hiroshi Murakami
José Umberto Sverzut
Leandro Marques Santos

Assessoria Técnica - ATC

Humberto Bruno Pontes Silva – Chefe da ATC
Paulo Rodrigo de Moura
Pedro Borges Griese
Renato Couto Rampaso
Sérgio Augusto Costa Macedo

O trabalho apresentado neste relatório foi desenvolvido em conjunto pela Superintendência de Outorga e Recursos à Prestação – SOR, Superintendência de Fiscalização – SFI e Assessoria Técnica – ATC. A análise dos resultados e elaboração do Relatório foi desenvolvida pela SOR. Possíveis opiniões expressas neste trabalho são exclusivamente do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da Agência Nacional de Telecomunicações.

Coordenação dos testes de Campo

Frederico Fernandes Neves (Gerência de Espectro, Órbita e Radiodifusão)

Marcelo Tapajoz de Arruda (Gerência de Espectro, Órbita e Radiodifusão)

Execução dos Testes em Campo

André Luiz da Costa Barcellos (Gerência Regional nos Estados do Rio de Janeiro e no Espírito Santo)

Carlos Alberto Camardella (colaborador externo, Claro)

Daniel Ozaki (colaborador externo, Globo)

Frederico Fernandes Neves (Gerência de Espectro, Órbita e Radiodifusão)

José Stefano Michelon (colaborador externo, Sky)

Leandro Marques Santos (Gerência Regional nos Estados do Rio de Janeiro e no Espírito Santo)

Picasso Fonseca de Freitas (colaborador externo, Vivo)

Observadores dos Testes em Campo

Alberto Boaventura (Oi), Alexandre Ataíde Gonçalves Oliveira (Anatel), Alexandre Della Santa Barros (Elsys), Ana Carolina Pedreira Capella Vilela (TIM), Anderson Ferreira (Greatek), André Luis Martins (Proeletronic), Andre Trindade (Trinidade), Carlos Lauria (Huawei), Carlos Ottoboni (Century), Celso Fernando Valerio (Telefonica Vivo), Charles Costa (Sinditelebrasil), Christian Rodrigues (TV Globo), Daniel Ozaki (TV Globo), Delson Meira (CPQD), Luiz Eduardo Pereira (Century), Emerson Nilton de Souza (Telefonica Vivo), Emílio Abud (Brasilsat), Erica Sousa Neves (Claro), Fábio Fonseca (Rede Vida de Televisão), Fernando Basseto (CPQD), Fernando Rodini (Qualcomm), Francisco Peres (TV Globo), Gislene Maria Miri de Oliveira Amorim (Rádio e Televisão Bandeirantes), Guilherme Boscolo dos Santos (Rádio e Televisão Bandeirantes), Halley Lima Gomes (TIM), Ítalo Fernando Aureliano (Rádio e Televisão Bandeirantes), Jadir Antonio da Silva (CPQD), John Flechas (PROBRAND), Luciano Camilo Alexandre (Inatel), Luciano Charlita de Freitas (Anatel), Luiz Abraão (ABERT), Marcelo Martins (Bendisat), Marcelo Trapani da Silveira (Oi), Marconi Magalhaes Mendes (Telefonica Vivo), Marcus Aurélio Ribeiro Manhães (CPQD), Marcus Vinicius Brunetti (Telefonica Vivo), Martim Jales Hon (Anatel), Matheus Figueiredo (CPQD), Paulo Bernardocki (Ericsson), Paulo Bertram dos Santos Reis Vieira (Embratel Star One), Paulo Mota (Visiontec), Picasso Fonseca de Freitas (Telefonica Vivo), Raul Campos (Claro), Scott Cook (PROBRAND), Sebastiao Sergio De Oliveira Junior (TIM), Sergio Kern (SindiTelebrasil), Takeshi Ikeda (Anatel), Tiago Braga Borgo (Anatel), Tiago Machado (Ericsson), Wender Sousa (Abratel), Wilson Cardoso (Nokia), Wilson De Alcantara Machado Silva (Oi) e Yasuaki Ito (CPQD).

SUMÁRIO

1	Introdução.....	7
1.1	Objetivo	7
1.2	Escopo	7
1.3	Diferenças entre o teste de campo anterior (2019) e o atual (2020).....	8
1.4	Testes realizados por outras instituições.....	12
1.4.1	Estudo realizado pelo CPqD em novembro de 2019.....	12
1.4.2	Ensaio em laboratório realizado pelo CPqD em janeiro de 2020.	13
1.4.3	Teste de laboratório realizado pelo CPqD em setembro de 2020.....	14
2	Ambiente de Testes de Campo.....	28
2.1	Descrição do sistema de interferido.....	33
2.2	Descrição do sistema interferente.....	34
2.3	Descrição do <i>Setup</i> de testes.....	35
2.4	Procedimentos e cenários de testes.....	38
3	Resultados dos Testes de Campo.....	42
4	Análise dos resultados	49
4.1	Avaliação dos impactos das emissões indesejáveis da gNodeB B43 e das distorções não lineares nos LNBFs testados.....	52
5	Conclusão.....	66
	Apêndice A – Análises Estatísticas dos Dados de Medições.....	69
	Apêndice B – Gabaritos feitos para padronização de montagem dos dispositivos	71
	Apêndice C – <i>Setup</i> de teste de emulação de campo	72
	Apêndice D – Sobre a Necessidade de Requisitos mais Restritivos de Emissões Indesejáveis em Relação ao 3gpp.....	76
	Apêndice E – Possíveis Requisitos para Avaliação da Conformidade dos LNBFs.....	79
	Apêndice F – Considerações gerais caso seja decidido pela mitigação em Banda C.....	82
	Apêndice G – Diferença de nível dos Frames das gNodeBs B43 e N78 em modo teste...84	

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistemas e faixas de operação consideradas neste relatório.....	7
Figura 2 – Diagrama do LNB típico com filtro na entrada.....	9
Figura 3 – Diagrama do LNBF típico com filtro na saída do LNA.....	9
Figura 4 – Diagrama do LNBF típico.....	9
Figura 5 – Exemplo do teste de sweep com 2 portadoras CWs para avaliação de intermodulação na faixa passante.....	16
Figura 6 – Amostra 6: ganho em função da frequência com potência recebida de -80 dBm.....	17
Figura 7 – Amostra 6: ponto de compressão de 1 dB em função da frequência.....	17
Figura 8 – Amostra 6: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz; polarização vertical; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.....	17
Figura 9 – Amostra 6: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz ; polarização horizontal; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.....	18
Figura 10 – Amostra 6: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização vertical.....	18
Figura 11 – Amostra 6: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização horizontal.....	18
Figura 12 – Amostra 6: temperatura de ruído e ganho em função da frequência fornecida pelo fabricante; polarização horizontal e vertical.....	19
Figura 13 – Amostra 7: ganho em função da frequência com potência recebida de -80 dBm.....	19
Figura 14 – Amostra 7: ponto de compressão de 1 dB em função da frequência.....	19
Figura 15 – Amostra 7: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz; polarização vertical; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.....	20
Figura 16 – Amostra 7: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz; polarização horizontal; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.....	20
Figura 17 – Amostra 7: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização vertical.....	20
Figura 18 – Amostra 7: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização horizontal.....	21
Figura 19 – Amostra 10: ganho em função da frequência com potência recebida de -80 dBm.....	21
Figura 20 – Amostra 10: ponto de compressão de 1 dB em função da frequência.....	21
Figura 21 – Amostra 10: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz; polarização vertical; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.....	22
Figura 22 – Amostra 10: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz; polarização horizontal; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.....	22
Figura 23 – Amostra 10: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização vertical.....	23
Figura 24 – Amostra 10: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização horizontal.....	23
Figura 25 – Amostra 6: exemplo de distorção presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal TV Record (3.874 MHz, analógico).....	24
Figura 26 – Amostra 7: exemplo de distorção presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal TV Record (3.874 MHz, analógico).....	25
Figura 27 – Amostra 10: exemplo de distorção presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal TV Record (3.874 MHz, analógico).....	25

Figura 28 – Amostra 6: exemplo de intermodulação presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal Saúde (4.085 MHz).	26
Figura 29 – Amostra 7: exemplo de intermodulação presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal Saúde (4.085 MHz).	26
Figura 30 – Amostra 10: exemplo de intermodulação presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal TV Escola Digital (3.965 MHz).	27
Figura 31 – Ambiente de testes de campo e o posicionamento do sistemas interferidos (TVRO) e interferente (5G).	28
Figura 32 – Torre com sistemas 5G.	29
Figura 33 – Vista do prédio com a torre na linha de visada a partir das antenas TVRO.	30
Figura 34 – Vista frontal das antenas TVRO a partir da linha de visada da torre 5G.	30
Figura 35 – Vista aérea das antenas.	31
Figura 36 – Vista aérea das antenas TVRO detalhando o posicionamento do veículo que abrigava os instrumentos de medições.	31
Figura 37 – Detalhe da antena de 1,7 m montada com LNBF e sonda e posicionamento da antena de controle R&S HF906.	32
Figura 38 – Detalhe da van utilizada como sala de monitoração	32
Figura 39 – Detalhe dos instrumentos de monitoração.	33
Figura 40 – <i>Setup</i> de testes.	35
Figura 41 – Atenuação dos cabos utilizados no <i>setup</i>	38
Figura 42 – Dispersão e.i.r.p. transmitida por potência recebida antena de controle e limiar do LNBF.	50
Figura 43 – Detalhe da antena de 1,7 m com LNBF com sonda e antena de controle (R&S HF906).	51
Figura 44 – Densidade espectral de potência e sinal no domínio do tempo para situação de 100% de carga no 5G.	51
Figura 45 – Multiplexação dos <i>beams</i> entre diferentes usuários.	51
Figura 46 – Banda de guarda entre IMT-2020 (5G) e Sistema Satelital (residencial ou profissional).	52
Figura 47 - Exemplo do espectro em Banda L, região de 3,8 GHz sem nenhuma gNodeB ligada.	53
Figura 48 - Exemplo do espectro em Banda L, região de 3,8 GHz, com gNodeB B43 ligada com portadora em 3,65 GHz e BW = 100 MHz configurada com máxima potência do sistema.	53
Figura 49 - Exemplo do espectro em Banda L, região de 3,8 GHz, observação dos canais digitais no início da faixa do TVRO.	54
Figura 50 – Hipótese do impacto devido às emissões fora da faixa da gNodeB B43 na região inicial da faixa do TVRO.	56
Figura 51 – <i>Setup</i> de medida de emissões fora da faixa da gNodeB B43.	56
Figura 52 – Medida em RF das emissões fora da faixa da gNodeB B43.	57
Figura 53 – Medida em banda L das emissões fora da faixa da gNodeB B43.	57
Figura 54 – Medida em RF das emissões fora da faixa da gNodeB B43, portadora centrada em 3,65 GHz/60 MHz.	58
Figura 55 – Medida em RF das emissões fora da faixa da gNodeB B43, portadora centrada em 3,65 GHz/100 MHz.	58
Figura 56 – Hipótese do impacto devido à conjunção dos dois fenômenos na região inicial da faixa do TVRO: emissões fora da faixa da gNodeB B43 e não linearidades na faixa inicial do LNBF.	59
Figura 57 – Medida em banda L com gNodeB N78 (filtro HW de 3,41 GHz a 3,7 GHz) para a portadora de 3,65 GHz mais a gNodeB B42 para a portadora de 3,55 GHz.	60

Figura 58 – Medida em banda L com somente a gNodeB N78 (filtro HW de 3,41 GHz a 3,7 GHz) com portadora de 3,65 GHz/100 MHz.....	60
Figura 59 – Medida em banda L com as duas gNodeB desativadas.....	61
Figura 60 – Amostra 10, medida em banda L sem interferência ativa.....	62
Figura 61 – Amostra 10, medida em banda L gNodeB B43 somente portadora 3,65 GHz/100 MHz e <i>backoff</i> de 0 dB.....	62
Figura 62 – Amostra 10, medida em banda L gNodeB B42 portadora 3,55 GHz/100 MHz e <i>backoff</i> de 0 dB.....	63
Figura 63 – Amostra 10, medida em banda L gNodeB HW B43 e B42 portadoras 3,65 GHz e 3,55 GHz, ambas com BW de 100 MHz e <i>backoff</i> de 10 dB.	63
Figura 64 – Amostra 10, medida em banda L gNodeB HW B43 e B42 portadoras 3,65 GHz e 3,55 GHz, ambas com BW de 100 MHz e <i>backoff</i> de 15 dB.	64
Figura 65 – Amostra 10, medida em banda L gNodeB HW B43 e B42 portadoras 3,65GHz e 3,55 GHz, ambas com BW de 100 MHz e e.i.r.p max 58 dBm.	64
Figura 66 – Exemplo do projeto do kit de fixação.....	71
Figura 67 – Exemplo da construção das peças na impressora 3D.....	71
Figura 68 – Exemplo de uso dos dispositivos.	71
Figura 69 – <i>Setup</i> de teste de emulação de campo.....	72
Figura 70 – Exemplo com configuração multicarrier gerada pelo M9384B VXG.....	73
Figura 71 – Exemplo com a verificação de uma portadora gerada pelo M9384B VXG.....	73
Figura 72 – Detalhe do <i>Setup</i> com o gerador vetorial.....	74
Figura 73 – Detalhe do ortomode posicionado no foco da antena para o teste de emulação de campo.	74
Figura 74 – Detalhe da configuração de teste de emulação de campo.	74
Figura 75 – Filtro e ortomode utilizados no setup.....	75
Figura 76 – Bloco de frequências destinado ao IMT.	76
Figura 77 – Piso de ruído <i>inband</i> de um transmissor.....	77
Figura 78 – Estação Base com banda passante de 3,6 GHz a 3,8 GHz.	77
Figura 79 – Exemplo de estação rádio base com faixa passante de 3,4 GHz a 3,6 GHz, portadora em 3,45 GHz, com largura de faixa de 100 MHz.	77
Figura 80 – Simulação da emissão de um <i>hardware</i> B43 com a faixa de 3,7 GHz a 3,8 GHz (projetado para outros países) após a passagem pelo filtro da estação de recepção do FSS de 3,7 GHz a 4,2 GHz.	78
Figura 81 – Exemplo medição de emissão de um <i>hardware</i> B43 com a faixa de 3,7 GHz a 3,8 GHz após a passagem pelo filtro em guia da estação de recepção do FSS de 3,7 GHz a 4,2 GHz.....	78
Figura 82 – Exemplo de <i>Setup</i> de teste de LNBF.	80
Figura 83 – Exemplo de <i>Setup</i> de teste de LNB/LNBF.	80
Figura 84 – Exemplo de equipamento Gerador para avaliação de coexistência entre 5G e DVB-S2.	80
Figura 85 – Exemplo de equipamento Receptor para avaliação de coexistência entre 5G e DVB-S2.....	80
Figura 86 – Exemplo de avaliação do sinal DVB-S2.....	81
Figura 87 – Exemplo de situações não mitigáveis pelo LNBF em banda C.	83
Figura 88 – Variação de nível dos frames no modo de teste das gNodeBs B43 e N78.....	84

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Canais de avaliação testes CPqD.....	24
Tabela 2 – Coordenadas geográficas dos sistemas interferidos.....	29
Tabela 3 – Coordenadas geográficas, altura e tilt dos sistemas interferentes.	29
Tabela 4 – Detalhamento dos canais avaliados.....	34
Tabela 5 – Sistemas 5G utilizados.....	34
Tabela 6 – Lista de instrumentos utilizados no <i>setup</i>	37
Tabela 7 – Configuração do analisador de espectro para medidas em banda L.....	38
Tabela 8 – Combinações dos cenários de teste.....	40
Tabela 9 – Potência equivalente recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento. Teste padrão B42 e B43, antena de 1,7 m.....	42
Tabela 10 – Potência equivalente média recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento. Teste padrão B42 e B43, antena de 1,5 m.	43
Tabela 11 – Potência equivalente média recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento. Teste complementar B42 e B43, antena de 1,7 m.....	44
Tabela 12 – Potência equivalente média recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento. Teste complementar B42 e B43, antena de 1,5 m.....	45
Tabela 13 – Potência equivalente média recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento. Teste padrão B42 e N78, apenas amostra 6.	46
Tabela 14 – Potência equivalente média recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento. Teste complementar B42 e N78, apenas amostra 6.....	46
Tabela 15 – Diferenciais de potência (<i>backoffs</i>) entre as gNodeBs B42 e B43, antena 1,7 m.....	47
Tabela 16 – Diferenciais de potência (<i>backoffs</i>) entre as gNodeBs B42 e B43, antena 1,5 m.....	48
Tabela 17 – Valor máximo de e.i.r.p configurado na gNodeB B43 para que os canais iniciais da faixa continuassem em operação.	54
Tabela 18 – Limiares médios de funcionamento a amostr 6 sob interferência de um sinal 5G com duas portadoras de 100 MHz e com 100% de carga.....	68
Tabela 19 – Coeficientes de regressão do modelo linear de e.i.r.p. com dados dos ensaios de campo com sistemas 5G.....	69
Tabela 20 – Limiares de funcionamento dos LNBFs sob interferência do sistema 5G, 2 ou 3 portadoras: frequência central 3,65 GHz; 3,55 GHz; 3,45 GHz - BW= 100 MHz - carga de 100%.	75

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

Avaliar a convivência entre sistemas *International Mobile Telecommunications 2020* (IMT-2020) operando na faixa de 3,5 GHz, utilizando tecnologia *5G New Radio Non-Standalone TDD* (*Time Division Duplex*), com a canalização compreendida na faixa de frequências entre 3.300¹ e 3.700² MHz, e sistemas de recepção de satélite de recepção de sons e imagens via satélite (*Television Receive-Only* – TVRO, TV aberta recebida por satélite), com LNBs (*Low Noise Block Feedhorn*) pré-selecionados, operando na faixa de frequências de 3.800 MHz a 4.200 MHz³, conforme Figura 1, considerando situações críticas, espécies de interferências e possíveis medidas de mitigação.

Figura 1 – Sistemas e faixas de operação consideradas neste relatório.



1.2 Escopo

Avaliar LNBs para recepção de sinais de recepção de sons e imagens via satélite, em especial os de “nova geração”, desenvolvidos a partir dos resultados de testes anteriores e que atendam as seguintes especificações preliminares, definidas pela equipe técnica da Anatel como requisito para participação nestes testes:

- Frequência de entrada: 3,8–4,2 GHz;
- Ponto de compressão de 1 dB: superior à -30 dBm (desejável: superior à -25 dBm) nas faixas de 3,3–3,7 GHz e 4,8–4,99 GHz;
- Temperatura de ruído: inferior à 50 K (desejável) ou inferior à 100 K (considerando a operação do satélite StarOne C2 ou D2).
- Atendidos os requisitos acima, os sistemas de recepção com os novos LNBs devem continuar recebendo os canais abertos provenientes do satélite StarOne C2 ou D2 nas mesmas condições de quando é utilizado um LNB legado disponível no mercado.

Comprovar a eficácia e as eventuais limitações dos dispositivos disponibilizados para testes pelos fabricantes.

¹ Já havia destinação da faixa de 3.400 MHz a 3.600 MHz ao Serviço Móvel Pessoal (SMP), utilizando um arranjo FDD, conforme Resolução nº 537/2010. Tal resolução foi revogada pela Resolução nº 711, de 28 de maio de 2019, a qual destinou ao SMP a faixa de 3.300 MHz a 3.400 MHz, além de manter a destinação da faixa de 3.400 MHz a 3.600 MHz, adotando um arranjo TDD.

² No momento da elaboração deste relatório a destinação do SMP na faixa de 3,5 GHz está compreendida entre 3.300 MHz e 3.600 MHz, conforme a Resolução nº 711/2019, porém a Anatel avalia no âmbito do Edital 5G (processo nº 53500.004083/2018-79) estender essa destinação até 3.700 MHz. Caso isso não ocorra, as análises e conclusões do presente relatório permanecem válidas, bastando transladar o término da faixa de operação do SMP de 3.700 MHz para 3.600 MHz.

³ No contexto apresentado na nota anterior (nota de rodapé nº 2) o *downlink* dos sistemas do Serviço Fixo por Satélite (FSS) operando em banda C compreende a faixa de 3.700 MHz a 4.200 MHz, sendo que a aplicação de TVRO ficaria restrita à faixa de 3.800 MHz a 4.200 MHz em função da limitação tecnológica de produção de LNBs (*Low Noise Block Feeder*) a preços razoáveis e que possibilite a convivência com o 5G utilizando uma banda de guarda inferior a 100 MHz.

Conduzir testes de interferência causada pela transmissão da estação rádio base dos sistemas 5G NR (denominadas gNodeB), isto é, causada pelo *downlink*, em sistemas TVRO para uso doméstico com uso de LNBFs que limitem ou tolerem a presença de sinais de sistemas operando na faixa de 3.300 MHz a 3.700 MHz.

Não faz parte do escopo realizar testes de interferência causada pelo *uplink*⁴ visto que é predominante a interferência causada pelo *downlink*⁵. Os testes foram realizados com configuração “DDDSU” do quadro TDD, que representa cerca de 70% do tempo para *downlink* e 30% para *uplink*.

1.3 Diferenças entre o teste de campo anterior (2019) e o atual (2020)

O primeiro teste de campo para avaliação dos dispositivos LNBFs (teste de convivência), coordenado pelo Comitê do Uso do Espectro e da Órbita (CEO) da Anatel, com a participação de diversos representantes dos setores envolvidos, foram realizados entre abril e maio de 2019, no Centro de Referência Tecnológica (CRT) da prestadora Claro, situado no Rio de Janeiro/RJ.

Os resultados foram então compilados em um detalhado Relatório⁶, concluído em julho de 2019, que foi disponibilizado na página do CEO no portal da Anatel, na Internet. O local de testes disponibilizado pela Claro foi considerado adequado por possuir, desde novembro de 2018, ecossistemas 4G e 5G com suas respectivas antenas montadas em uma torre *outdoor*, ambos na faixa de 3,5 GHz. Além disso, não existiam outros transmissores operando na faixa de 3,5 GHz em um raio de pelo menos 5 km no entorno do CRT, não havendo, portanto, interferências de sistemas externos, nem sistemas externos sendo interferidos durante os testes de convivência.

O escopo de trabalho foi “Avaliar produtos de recepção de satélite em especial o de recepção de sons e imagens via satélite já existentes no mercado ou que estão sendo desenvolvidos para promover a convivência com os sistemas operando em faixas adjacentes. Comprovar a eficácia e as eventuais limitações relativas de diversos produtos e soluções disponibilizadas pelos fabricantes de produtos (filtros, *Low Noise Blocks* – LNBs/*Low-Noise Block Feedhorns* – LNBFs, etc) para recepção satelital.”

Os testes de campo de 2019 foram conduzidos em quatro protótipos de três fabricantes. Esses LNBFs eram soluções consideradas “melhoradas” em relação LNBFs comercializados até então, que basicamente conjugam o uso de um LNA (*Low Noise Amplifier*) mais robusto em conjunto com um filtro posicionado após o LNA para reduzir o nível do sinal interferente que chegaria ao mixer e aos demais estágios de amplificação em banda L. Também foram testadas duas amostras de mercado, sendo um LNBF monoponto e um LNBF multiponto.

Conforme descrito no Relatório dos testes de 2019, os principais mecanismos de interferência conhecidos entre a recepção de TVRO e os sistemas operando em faixa adjacente são:

- 1) Saturação do receptor de TV: ocorre em banda L;
- 2) Interferência no oscilador local do LNB/LNBF: causada por baixa isolação em relação ao misturador de entrada;

⁴ A e.i.r.p (*Effective Isotropic Radiated Power*) do gNodeB é significamente maior do que a e.i.r.p do UE (*User Equipment*, como é denominada a estação terminal dos sistemas 5G NR) e na configuração padrão em TDD há maior ocupação temporal do *downlink* em relação ao *uplink*.

⁵ L. C. Fernandes e A. Linhares, “*Coexistence conditions of LTE-advanced at 3400–3600 MHz with TVRO at 3625–4200 MHz in Brazil*,” *Wireless Networks*, vol. 25, pp. 105-115, 1 2017.

⁶ Relatório dos Testes de Convivência entre o IMT Operando na Faixa de 3,5 GHz e Sistemas Satelitais Operando em Faixa Adjacente - Julho/2019 - Versão 3.0. Disponível para consulta no processo nº 53500.030065/2019-23, documento SEI nº 4457230.

3) Saturação e/ou intermodulação no LNB/LNBF: nível excessivo do sinal (agregado) na entrada; e

4) No LNBF multiponto, além da saturação e a intermodulação, existe outra espécie de interferência: a superposição dos sinais convertidos. Este efeito independia do nível de potência interferente.

A Figura 2 e a Figura 3 ilustram, de forma simplificada, o circuito do típico de um LNB e um LNBF enquanto a Figura 4 mostra a forma como se dá a interferência do sinal IMT-2020 no TVRO.

Figura 2 – Diagrama do LNB típico com filtro na entrada.

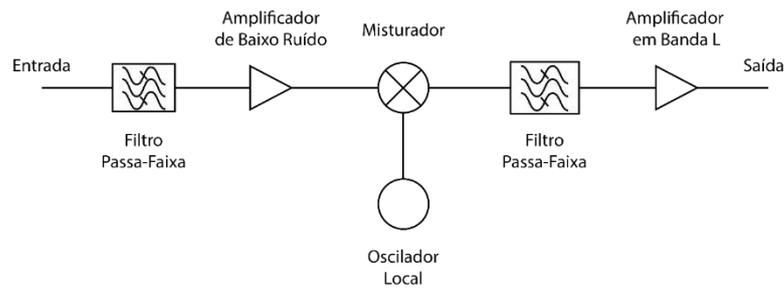


Figura 3 – Diagrama do LNBF típico com filtro na saída do LNA.

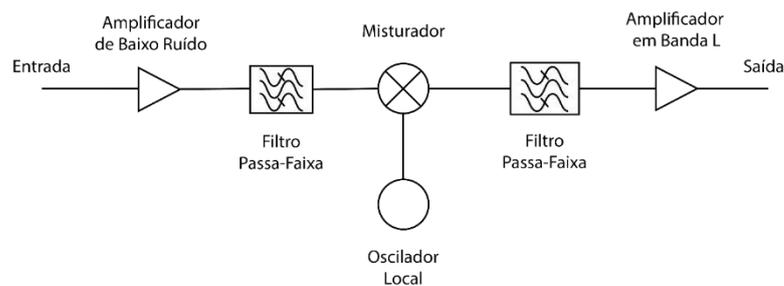
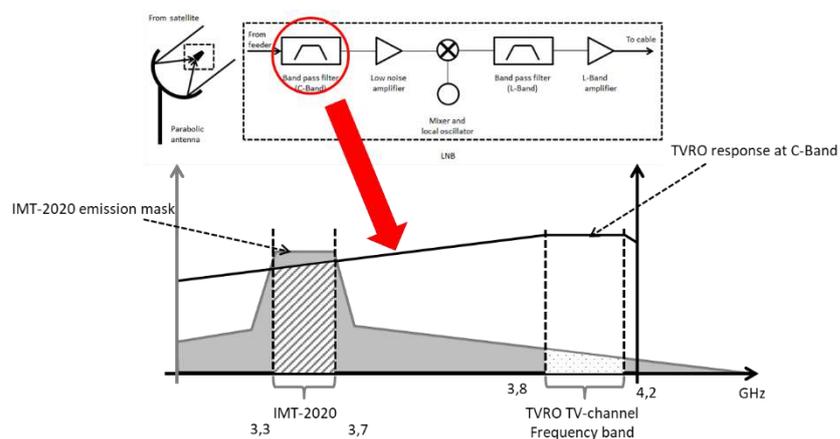


Figura 4 – Diagrama do LNBF típico.



De acordo com o Relatório dos testes de 2019, e que também pode ser visto em vasta literatura técnica, para mitigar a interferência entre sistemas IMT e os sistemas de satélite é recomendável a adoção de uma série de medidas abrangentes, tais como: adição de um filtro de entrada à estação terrena, isolamento geográfico, instalação de blindagem, substituição do sintonizador, redução da potência de transmissão da estação rádio base 5G, ajuste da direção máxima de radiação da antena da estação rádio base 5G, entre outros. Conforme visto no Relatório de testes de 2019 o uso do filtro

externo na frente do LNB profissional o protege de forma eficaz contra interferência da faixa adjacente, sendo esse o primeiro passo de proteção a ser adotado nos sistemas profissionais.

Com relação ao desempenho dos dispositivos LNBFs testados o Relatório de 2019 destacam-se os seguintes pontos:

“Em relação ao sistema TVRO doméstico, ao todo, foram avaliados 17 modelos de LNBFs em laboratório, a maioria dos quais indicavam a existência de filtros anti-Wimax feitos para eliminar a existência de sinais terrestres em faixas adjacentes. Os resultados laboratoriais indicaram que alguns modelos de LNBF de mercado podem ser facilmente saturados/intermodulados com sinais da ordem de -60 dBm ou até menos, em frequências a partir de 2,9 GHz.

Foram escolhidos, para a avaliação em campo, quatro modelos “melhorados” de melhor desempenho (modelos que foram apresentados até o período de realização de pré-testes em campo - março de 2019, pois o objetivo era verificar os melhores LNBFs disponíveis). Esses LNBFs eram soluções melhoradas que basicamente conjugam o uso de um LNA com maior limiar de saturação em conjunto com um filtro posicionado após o primeiro estágio do LNA para reduzir o nível do sinal interferente que chegaria ao mixer e aos demais estágios de amplificação em banda L. Também foram testados duas amostras de mercado, sendo um LNBF monoponto e um LNBF multiponto.

O melhor modelo de LNBF “melhorado” suportou em média aproximadamente -45 dBm em sua entrada antes da degradação do sinal de TV, quando o sistema 5G operava com potência e.i.r.p. na ordem de 55 dBm por polarização, distância entre 65 a 70 metros e canais satelitais operando com modulação 8-PSK, por exemplo, o canal em 3685 MHz.”

Cabe também destacar em relação ao Relatório de 2019 que:

“Não se observa nas amostras testadas nenhum LNBF capaz de eliminar totalmente a interferência através de filtragem do sinal na banda adjacente testada (3,4 a 3,6 GHz) sem a necessidade de redução na potência recebida do IMT.”

No LNBF, aumentar a faixa de guarda ou afastamento em frequência do sinal interferente, não melhora consideravelmente a imunidade do sistema, pois o filtro que existe se localiza após o primeiro estágio do LNA. Entre as alternativas técnicas conhecidas para melhorar de forma significativa a imunidade do sistema é necessário: aumentar o ponto de compressão do LNA, melhorar a seletividade do primeiro estágio, aumentar a isolamento do oscilador local, dentre outras;

No LNBF, quando ocorre a saturação do LNA, independentemente da frequência de operação do IMT, não é possível a recepção adequada de nenhum canal de TVRO;

Os testes indicaram que os canais de TV operando na porção inicial da banda C estendida são atenuados pelo próprio filtro do LNBF (após o LNA). Essa atenuação diminui a SNR dos sinais na faixa inicial da banda C estendida, diminuindo sua robustez, e assim eles tendem a ser mais sensíveis à interferência externa. Esse fato é agravado quando se utiliza antena com menor diâmetro, por exemplo 1,5 m. Observa-se que roll-off do filtro utilizado implica que atenuação se inicie próximo a 3,7 GHz;

Quando ocorre interferência devido à intermodulação no LNA, canais mais robustos (por exemplo, QPSK em relação à 8-PSK) ou que operam com maior separação espectral são mais imunes à interferência;

A amostra do LNBF “A - melhorada” teve um desempenho muito superior às demais de mercado, na ordem de 15 dB no limiar de interferência nas frequências acima de 3,7 GHz. Na banda C estendida essa melhoria de desempenho foi da ordem de 10 dB;

No LNBF o filtro em banda L é fundamental para evitar a saturação ou distorção do receptor, minimizando o resíduo do sinal interferente em sua entrada;

...

e) Alteração de projetos de LNBFs:

e.1) Utilização de filtros em microstrip line (fabricados com substratos com menor perdas) ou outra tecnologia como, por exemplo, BAW (Bulk Acoustic Waves) na frente do LNA, em conjunto com antenas de maior ganho para compensar a perda de inserção;

e.2) A utilização de guias de ondas mais “fechadas” (menor diâmetro do guia) para melhorar a seletividade dos LNBFs em conjunto com a possível adoção de uma faixa de guarda maior;

e.3) Dentre outros.”

A conclusão do primeiro teste causou uma movimentação de alguns atores do mercado. Alguns fabricantes em conjunto com algumas prestadoras iniciaram diversas ações no intuito de sanar os problemas indicados no Relatório de 2019. Essas ações compreenderam, entre outros, o desenvolvimento de novos protótipos, novos testes de laboratório e um teste de campo realizado de forma particular pelo Sinditelebrasil em novembro de 2019.

Essas ações culminaram em uma nova solicitação de avaliação perante a Anatel dos novos dispositivos que foram desenvolvidos em 2020, denominados LNBFs de nova geração. Com isso foi iniciada uma nova etapa de testes em março de 2020, mas que devido a situação de pandemia do Covid, foi interrompida ainda em sua fase de pré-testes. Somente em setembro de 2020, com uma situação mais estável na segurança sanitária, decidiu-se retomar a execução dos testes.

Dessa forma os testes de campo foram retomados em 14 de setembro de 2020, após um período de pré-testes e ajustes de *setup*. Considerando a necessidade de manter um protocolo de segurança higiene, os testes de 2020 foram executados pela equipe técnica da própria Agência com a participação de alguns poucos colaboradores externos. No entanto, no sentido ampliar a transparência, foi facultada a possibilidade de participação de representantes de diversas empresas, associações e sindicatos dos setores interessados (indústria móvel, satelital e radiodifusão) por meio da transmissão *online* ao vivo da execução dos testes, assim como a disponibilização dos arquivos de trabalho com os dados brutos coletados.

Para os testes de 2020 foram enviadas três amostras de nova geração⁷ do tipo monoponto selecionadas entre diversas amostras, que foram pré-avaliadas em laboratório pelo CPqD. Os LNBFs de nova geração são protótipos desenvolvidos para uso por sistemas domésticos de recepção TVRO com o objetivo de permitir a convivência entre os sistemas objeto do presente teste.

Feito esse breve resumo dos testes anteriores, a seguir são destacadas as diferenças entre o teste de campo anterior (2019) e o atual (2020):

- Utilização de antenas para recepção doméstica de TVRO somente de 1,5 m e 1,7 m de diâmetro;
- Escolha de novos canais a serem avaliados em função do rearranjo ocorrido na frequência dos canais em operação no satélite Starone C2 e em observação ao objetivo do teste atual (operação dos canais de 3,8 GHz a 4,2 GHz). Foi mantida a escolha da modulação 8 PSK para os canais digitais avaliados, mas para atender a avaliação nas proximidades da faixa de 3,8 GHz foram usados, também, canais SATHD regional, inclusive na etapa de pré-testes;

⁷ De acordo com relatório do CPqD (DOT- 09693.RT.01-C): “Para LNBFs adequados ao TVRO, várias amostras foram avaliadas, das quais três delas, 6, 7 e 10 foram consideradas aptas para representar a efetividade de operar adequadamente frente à transmissão IMT-2020”. Relatório disponível para consulta no processo nº 53500.011701/2020-51, documento SEI nº 5969253.

- Introdução de uma antena de controle conectada a um segundo instrumento de medição de potência do sinal recebido nas proximidades das antenas de recepção de TVRO;
- Existência de quatro gNodeBs de três fabricantes distintos com as seguintes faixas de operação: duas na faixa 3.400–3.600 MHz, uma na faixa 3.410–3.700 MHz e uma na faixa 3.600–3.800 MHz;
- Uso de gabaritos para facilitar a montagem e garantir o ajuste e posicionamento correto do disco escalar⁸;
- Avaliação apenas na situação de 100% de carga, por se tratar de uma situação de maior impacto. Com isso não foi considerada a avaliação do sistema 5G operando em modo *idle*.
- Verificação e análise contínua dos sinais em banda L utilizando os modos normal e *realtime* dos analisadores de espectro, inclusive na estapa de pré-testes, com intuito de aprimorar a detecção de distorções nos sinais recebidos; e,
- Introdução de dois sinais interferentes simultâneos⁹ para aprimorar a avaliação da ocorrência de intermodulação nos dispositivos sob teste.

As alterações, em relação ao teste de campo anterior (2019), foram feitas com o objetivo de aumentar o nível de controle e exigência nos testes, em especial, a introdução dos novos instrumentos para observação dos sinais e a realização de testes com duas portadoras com largura de faixa de 100 MHz.

1.4 Testes realizados por outras instituições

Conforme mencionado anteriormente, após a conclusão dos testes de campo de 2019, houve por parte dos interessados diversas ações com objetivo de identificar e fomentar melhorias no desempenho dos LNBFs para permitir a coexistência com o IMT-2020, com a realização de testes e obtenção de informações relevantes.

Nesta seção são destacados os principais resultados de três desses testes realizados por outras instituições.

1.4.1 Estudo realizado pelo CPqD em novembro de 2019.

Trata-se do “Estudo de Convivência entre o Sistema de Recepção Residencial de TV via Satélite em banda C (TVRO) e o Sistema 5G na faixa de frequência de 3,5 GHz”, relatório DOT-08453.RT.01-C, realizado pelo CPqD em novembro de 2019 a pedido do SindiTelebrasil, que está disponível para consulta no processo nº 01250.058893/2019-11, documento SEI nº 4909797.

Esse estudo foi remetido à Agência em 18 de novembro de 2019 pelo então Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) por meio do Ofício nº 44226/2019/DETEL/SETEL/MCTIC (SEI nº 4909797). No mesmo processo, encontra-se a resposta da Anatel ao referido ofício, nos termos do Ofício nº 548/2019/GPR-Anatel (SEI nº 4992705), de 5 de dezembro de 2019, do qual se destaca:

“De fato, parece haver alguma melhora no desempenho dos sistemas com esses dispositivos LNBF de “nova geração”, todavia, sem que se conheçam em detalhes as características técnicas e operacionais dos mecanismos por eles empregados, não é possível modelar e simular, com

⁸ Vide apêndice B.

⁹ Isso foi necessário, pois os dispositivos que foram testados em laboratório pelo CPqD demonstraram que o requisito de saturação estava começando a ser atendido, fazendo com a intermodulação passasse então a ter maior relevância nas distorções observadas nos dispositivos.

a precisão necessária, a probabilidade de ocorrência de interferências prejudiciais e, por conseguinte, a eficácia e eficiência da solução técnica sugerida. (negrito original)

No âmbito das discussões acerca das possibilidades do leilão 5G, o SindiTelebrasil por meio da Nota Técnica 002/2019¹⁰, de 2 de dezembro de 2019, apresentou uma proposta de liberação de 100 MHz adicionais ao espectro da faixa de 3,5 GHz para o uso pelo IMT-2020:

“Assim, uma eventual liberação de faixa entre 3,6 GHz e 3,7 GHz para o IMT, por exemplo, requer desde já outra possível solução tecnicamente viável, como o deslocamento dos canais transmitidos em TVRO para acima da faixa de 3,8 GHz, mantendo a banda de guarda virtual de 100 MHz entre os dois sistemas, por exemplo, pelo simples deslocamento de poucos canais analógicos redundantes para a porção inferior do espectro. Além disso, implicaria o projeto de outro modelo de LNBF, com frequência de corte em 3,8 GHz, o que é totalmente factível de ser realizado, uma vez que tal produto já está disponível em alguns países, sendo de fácil replicação para o contexto nacional.”

Com isso o SindiTelebrasil, mediante o ofício Sind. 106/2019 (SEI nº 5075504), informou que iria complementar os estudos realizados pelo CPqD para avaliar o desempenho da nova geração de LNBF com foco na faixa passante de 3,8 GHz a 4,2 GHz. O objetivo da complementação dos estudos era dispor de maiores informações sobre a convivência entre os sistemas IMT-2020 operando na faixa de 3,5 GHz e TVRO, bem como endereçar as considerações constantes do Informe nº 265/2019/ORDER/SOR (SEI nº 4954291).

1.4.2 Ensaio em laboratório realizado pelo CPqD em janeiro de 2020.

Trata-se de “Ensaio em Laboratório de dispositivos LNBFs para avaliação da Convivência entre o sistema IMT 5G e TVRO envolvendo frequências a partir de 3,7 GHz e de 3,8 GHz”, relatório DOT-09313.RT.01-B, realizado pelo CPqD em janeiro de 2020 a pedido do SindiTelebrasil, que está disponível para consulta no processo nº 53500.055890/2019-31, documento SEI nº 5174104.

Os ensaios em laboratório, complementares aos estudos realizados pelo CPqD anteriormente, foram realizados em suas instalações no período de 13 a 20 de janeiro de 2020. Os resultados foram discutidos em reunião presencial no dia 21, subsequente.

A Agência apresentou as suas considerações sobre esses ensaios de laboratório, no Informe nº 1/2020/CEO (SEI nº 5175265), do qual se destaca o seguinte trecho:

“Foram avaliados dois diferentes tipos de dispositivos:

- Tipo 1: LNBF com faixa de operação entre 3,7 MHz e 4,2 GHz, denominado LNBF de 3,7 GHz, que considera a faixa de alocação do IMT entre 3,3 GHz e 3,6 GHz; e,

- Tipo 2: LNBF com faixa de operação entre 3,8 GHz e 4,2 GHz, denominado LNBF de 3,8 GHz, que considera a faixa de alocação do IMT entre 3,3 GHz e 3,7 GHz.

Foram testados quatro dispositivos do Tipo 1, sendo três modelos do tipo monoponto e um modelo do tipo multiponto. Foram testados, também, dois dispositivos do Tipo 2, sendo ambos modelos do tipo monoponto. Além destes, foi realizado um novo teste em um dispositivo de mercado, que havia sido testado em laboratório em outubro de 2018 pela Anatel/CPqD, servindo como parâmetro de comparação para as novas amostras.

Os testes em laboratório consistiram nas seguintes avaliações: ganho; ponto de compressão e saturação; rejeição à polarização cruzada; e testes de intermodulação, tanto para a faixa passante do LNBF (3,7 GHz

¹⁰ Disponível para consulta no processo nº 53500.052501/2019-15, documento SEI nº 4991988.

a 4,2 GHz ou 3,8 GHz a 4,2 GHz, a depender do tipo de dispositivo) quanto para a faixa de rejeição do LNB (3,3 GHz a 3,6 GHz ou 3,3 GHz a 3,7 GHz e também para a frequência de 4,8 GHz.

...

Particularmente, o desempenho do dispositivo LNB do Tipo 1 (LNB de 3,7 GHz), em termos de sensibilidade à interferência operante na faixa entre 3,3 e 3,6 GHz, mostrou-se superior aos LNB hoje disponíveis no mercado.

Quanto ao dispositivo do Tipo 2 (LNB de 3,8 GHz), do qual se esperava um desempenho na faixa de 3,7 GHz similar ao do Tipo 1 na faixa de 3,6 GHz (translado), o resultado ficou abaixo da expectativa. Existe, portanto, espaço para melhoria de desempenho e otimização de resposta dos dispositivos, lembrando que foram utilizados protótipos, que ainda podem ter seus componentes e projeto técnico aprimorados.

Além disso, em metade das amostras surgiram sinais indesejados dentro da faixa de operação da TVRO quando o LNB foi submetido à presença de um sinal interferente, com níveis mais altos, em faixa adjacente. Por exemplo, ao se gerar um sinal interferente na frequência de 3,3 GHz (FI = 1.850 MHz), em alguns LNB, surgiu um sinal na frequência intermediária de 1.450 MHz (que correspondente a um sinal de 3,7 GHz na entrada). Tal comportamento pode, em tese, provocar uma degradação de desempenho em campo dos dispositivos do Tipo 1, o que não é desejável.

Esses ensaios em laboratório, muito embora não tenham sido exaustivos tampouco conclusivos, apesar de promissores, produziram dados relevantes para a análise de viabilidade técnica de convivência e ajudaram a evidenciar pontos de atenção e melhoria.

Tais dados contribuem com informações importantes para o estabelecimento de um conjunto de normas e requisitos técnico-operacionais que viabilize uma coexistência entre os serviços de radiocomunicação livre de interferências prejudiciais, etapa essencial para a administração do espectro radioelétrico, a coordenação de uso de radiofrequência e a certificação de produtos e equipamentos.”

Os resultados de tais ensaios levou o Comitê de Uso do Espectro e da Órbita (CEO) a planejar novos testes em campo.

Dessa forma, em março de 2020, foram iniciados os preparativos para os novos testes de campo. Porém em 27 de março de 2020, devido à pandemia, houve a suspensão, por tempo indeterminado, dos testes de campo. Nesse momento, o CEO solicitou aos atores envolvidos que fosse continuada a mobilização pelo desenvolvimento de melhorias nos protótipos de LNB.

Em maio de 2020, a Agência desenvolveu estudo por meio de simulações computacionais¹¹ que resultaram na definição dos requisitos mínimos, descritos na seção 1.2 deste relatório, a serem observados pelo fornecedores no desenvolvimento e prototipagem dos novos LNBs.

Em julho de 2020, já havia amostras desenvolvidas para atender aos requisitos mínimos, cujos testes foram acompanhados em reunião virtual.

1.4.3 Teste de laboratório realizado pelo CPqD em setembro de 2020.

Trata-se de “Estudo de convivência entre o Sistema de recepção de TV via Satélite Banda C e o Sistema IMT-2020 em 3,5 GHz”, relatório DOT- 09693.RT.01-C, realizado pelo CPqD em setembro de 2020 a pedido do SindiTelebrasil, que está disponível para consulta no processo nº 53500.043787/2020-81, documento SEI nº 5978116.

Esse é o relatório dos testes nos protótipos desenvolvidos com o objetivo de atender os requisitos mínimos estipulados pela Agência.

¹¹ Relatório disponível para consulta no processo nº 53500.021160/2020-70, documento SEI nº 5549020.

O documento reporta que em julho e agosto de 2020 foram realizados testes de laboratório em dez amostras de LNBFs com o objetivo de qualificar amostras para serem testadas em campo pela Anatel.

Nesses testes de laboratório foram consideradas as seguintes medições:

- 1) Ganho do LNBF, com potência de RF de entrada de -80 dBm, para frequências específicas: 3,8 GHz, 3,9 GHz, 4 GHz, 4,1 GHz, 4,2 GHz;
- 2) Identificação do ponto de compressão de 1 dB para frequências específicas: 3,3 GHz, 3,4 GHz, 3,5 GHz, 3,6 GHz, 3,7 GHz, 3,8 GHz, 3,9 GHz, 4 GHz, 4,1 GHz, 4,2 GHz e 4,8 GHz;
- 3) Identificação do ponto de saturação para frequências específicas: 3,3 GHz, 3,4 GHz, 3,5 GHz, 3,6 GHz, 3,7 GHz, 3,8 GHz, 3,9 GHz, 4 GHz, 4,1 GHz, 4,2 GHz e 4,8 GHz;
- 4) *Sweep* entre 3,3 e 5 GHz, com potência de RF de entrada (P1dB -3 dB) referente a banda de passagem;
- 5) *Sweep* entre 3,3 e 3,7 GHz, com potência de RF de entrada (P1dB -3 dB) referente à banda de rejeição;
- 6) Limiar de linearidade para portadoras na faixa de passagem em 3,9 GHz e 4 GHz;
- 7) Limiar de linearidade para portadoras fora faixa de passagem em 3,7 GHz e 3,5 GHz; e,
- 8) Figura de ruído 3,8 a 4,2 GHz.

Segundo consta no relatório, das dez amostras avaliadas, três foram consideradas adequadas para serem submetidas aos testes de campo, são elas: as amostras 6, 7 e 10.

Abaixo, são registradas as principais observações com relação aos testes de laboratório realizado no CPqD, que são de interesse para o presente teste.

Nos primeiros testes foram identificados problemas para a avaliação da temperatura de ruído. Esses problemas eram decorrentes de limitações no próprio *setup* disponível, a saber: as dimensões do *feedhorn* da amostra 6 são bem menores que o guia utilizado para acoplamento na jiga de teste, fazendo com que as diferenças de dimensões e as folgas associadas provocassem uma degradação na medida realizada; e, o sensor de medida de temperatura de ruído utilizada era o *noise sensor* 346B da HP, com ENR (*Excess Noise Ratio*) de 15 dB, mais adequado para valores mais altos de temperatura de ruído.

Não foram observados problemas de realimentação de sinal de entrada, devido a falta de isolamento nos circuitos do LNBF, que provocava o surgimento de sinais na faixa passante do LNBF. Tal fenômeno tinha sido observado nos protótipos apresentados em janeiro de 2020 e reportados no Informe nº 1 /2020/CEO¹².

Foram solicitados, pela equipe técnica da Anatel, testes adicionais para verificação da intermodulação dos LNBFs. Conforme explicado na figura 13 do Relatório de Testes de Campo de 2019¹³, a presença de sinais interferentes na entrada do LNBF pode propagar dentro de sua faixa passante sinais não-lineares devido aos produtos de intermodulação. Foram feitos testes exploratórios a pedido da Anatel, nos dias 22 a 24 de julho de 2020, mirando justamente aspectos de linearidades dos dispositivos que estavam sendo testados pelo CPqD. A Figura 5 ilustra um exemplo

¹² Disponível para consulta no processo nº 53500.055890/2019-31, documento SEI nº 5175265.

¹³ Relatório dos Testes de Convivência entre o IMT Operando na Faixa de 3,5 GHz e Sistemas Satelitais Operando em Faixa Adjacente - Julho/2019 - Versão 3.0. Disponível para consulta no processo nº 53500.030065/2019-23, documento SEI nº 4457230.

do teste de *sweep* com duas portadoras CWs para avaliação de intermodulação na faixa passante do LNBF¹⁴. Observa-se, nesse exemplo, que a intermodulação tem um forte efeito de invasão na faixa passante. O que se procurou investigar com esse tipo de teste era quais dispositivos poderiam suportar nível de entrada objetivada pela Agência ao mesmo tempo avaliar o quanto essas distorções devido às intermodulações poderiam prejudicar o desempenho do dispositivo.

Figura 5 – Exemplo do teste de sweep com 2 portadoras CWs para avaliação de intermodulação na faixa passante.



A pré-avaliação do resultado do teste em laboratório de *sweep* das amostras 6, 7 e 10 indicavam que o impacto para a amostra 6 seria limitado enquanto para as amostras 7 e 10 o impacto seria muito mais significativo quando tomado como base sinais de entrada com nível na ordem de -30 dBm. Essa pré-avaliação motivou a adequação do caderno de teste de campo para a verificação das amostras utilizando dois sinais interferentes, isto é, duas portadoras 5G cada uma com largura de faixa de 100 MHz.

Para as três amostras selecionadas foram feitas também medições observando o comportamento dos LNBFs quando sujeitos a sinais interferentes na frequência de 4,8 GHz. Observou-se que o comportamento dos LNBFs testados foi satisfatório, conseguindo boa rejeição de sinais em 4,8 GHz, mesmo com níveis acima de -30 dBm.

Principais resultados da Amostra 6

A Figura 6 apresenta o ganho do LNBF com potência de RF de entrada de -80 dBm em função da frequência.

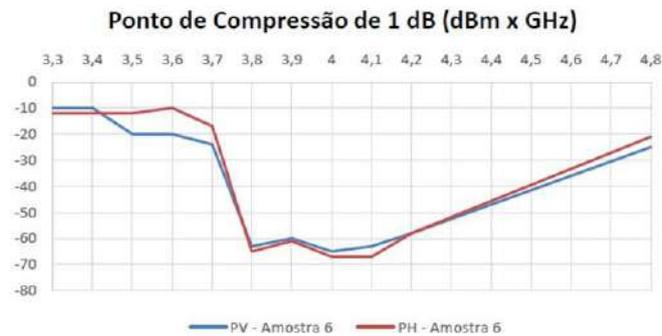
¹⁴ O exemplo abaixo se refere a uma amostra que não foi posteriormente selecionada pelo CPQD para envio aos testes de campo.

Figura 6 – Amostra 6: ganho em função da frequência com potência recebida de -80 dBm.



A Figura 7 apresenta o ponto de compressão de 1 dB em função da frequência.

Figura 7 – Amostra 6: ponto de compressão de 1 dB em função da frequência.



A Figura 8 e a Figura 9 apresentam o *sweep* entre 3,3 e 3,7 GHz, com potência de RF de entrada P1dB -3 dB referente a faixa de rejeição.

Figura 8 – Amostra 6: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz; polarização vertical; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.



Figura 9 – Amostra 6: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz ; polarização horizontal; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.



A Figura 9 e a Figura 10 apresentam a temperatura de ruído de 3,8 a 4,2 GHz.

Figura 10 – Amostra 6: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização vertical.

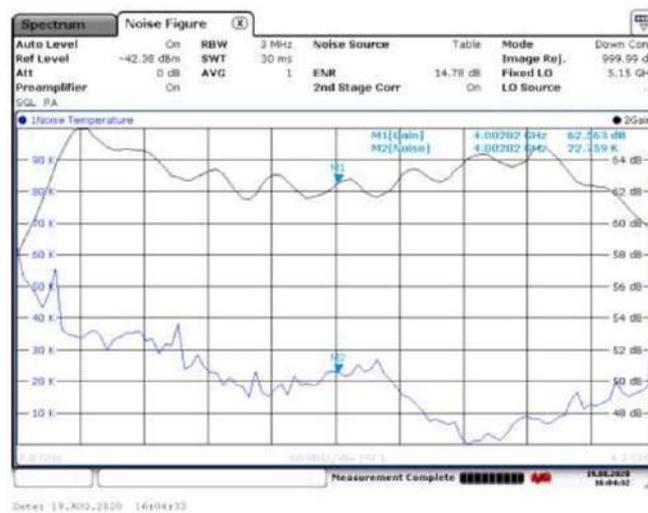
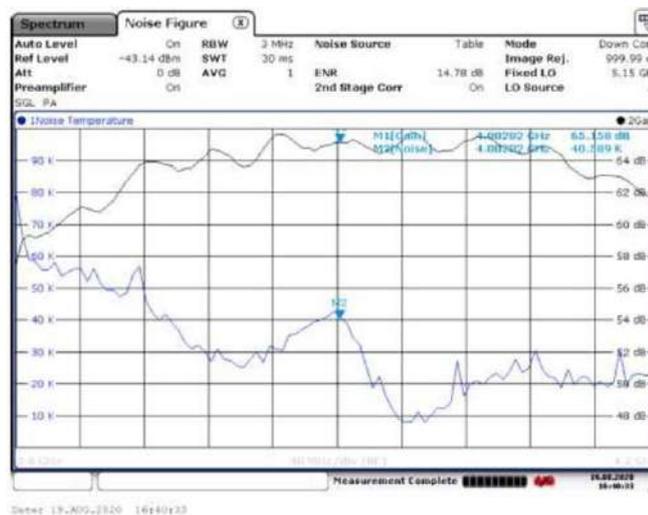
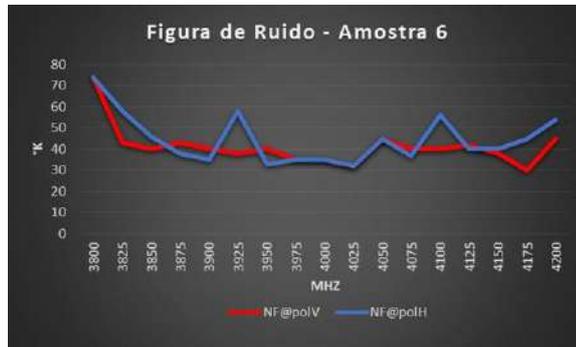


Figura 11 – Amostra 6: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização horizontal.



Para a amostra 6, foi disponibilizado pelo o fabricante a temperatura de ruído medida em seu próprio laboratório. Essa medida de primeira parte foi feita com a adaptação mecânica adequada para garantir a qualidade de medição, além disso o fabricante informou que usou uma fonte de ruído com ENR de 5 dB. Conforme pode ser visto na Figura 12, o valor medido respeita o requisito mínimo de 100 K.

Figura 12 – Amostra 6: temperatura de ruído e ganho em função da frequência fornecida pelo fabricante; polarização horizontal e vertical.



Principais resultados da Amostra 7

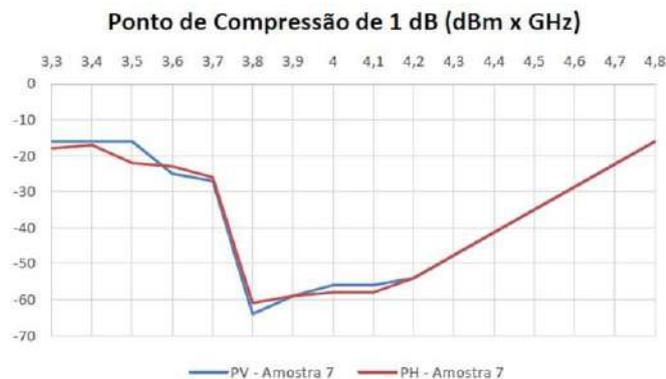
A Figura 13 apresenta o ganho do LNBF com potência de RF de entrada de -80 dBm em função da frequência.

Figura 13 – Amostra 7: ganho em função da frequência com potência recebida de -80 dBm.



A Figura 14 apresenta o ponto de compressão de 1 dB em função da frequência.

Figura 14 – Amostra 7: ponto de compressão de 1 dB em função da frequência.

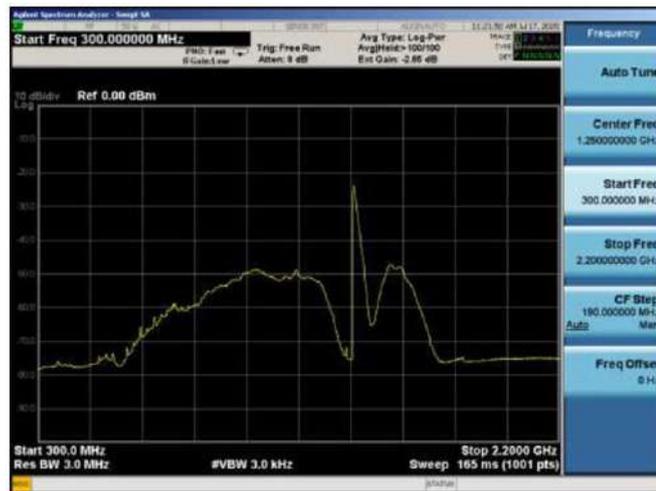


A Figura 15 e a Figura 16 apresentam o sweep entre 3,3 e 3,7 GHz, com potência de RF de entrada (P1dB -3 dB) referente a faixa de rejeição.

Figura 15 – Amostra 7: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz; polarização vertical; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.



Figura 16 – Amostra 7: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz; polarização horizontal; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.



A Figura 17 e a Figura 18 apresentam a temperatura de ruído de 3,8 a 4,2 GHz.

Figura 17 – Amostra 7: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização vertical.

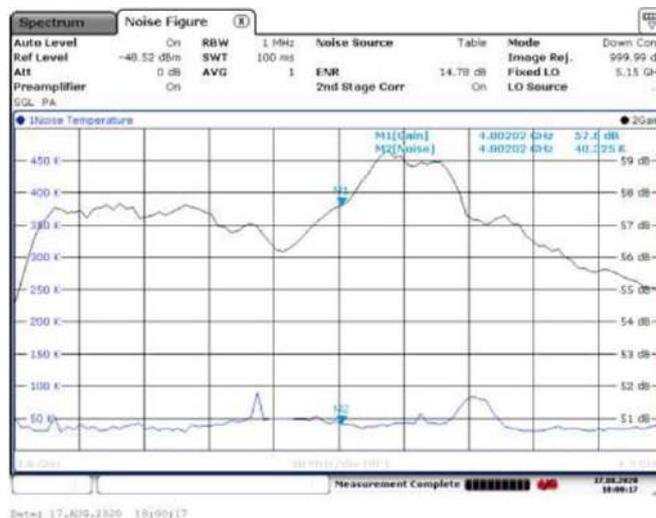
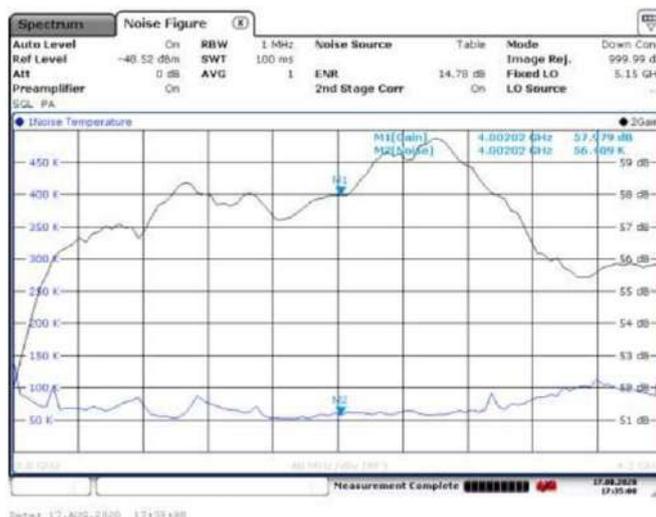


Figura 18 – Amostra 7: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização horizontal.

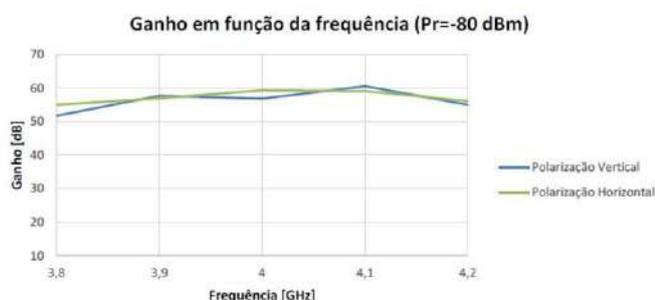


Observa-se que amostra 7 apresentou temperatura de ruído com valores acima de 100 K para frequências no início e fim da faixa.

Principais resultados da Amostra 10

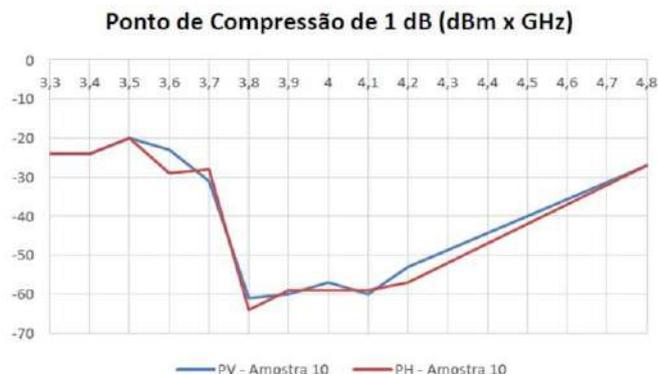
A Figura 19 apresenta o ganho do LNBF com potência de RF de entrada de -80 dBm em função da frequência.

Figura 19 – Amostra 10: ganho em função da frequência com potência recebida de -80 dBm.



A Figura 20 apresenta o ponto de compressão de 1 dB em função da frequência.

Figura 20 – Amostra 10: ponto de compressão de 1 dB em função da frequência.



A Figura 21 e a Figura 22 apresentam o *sweep* entre 3,3 e 3,7GHz, com potência de RF de entrada (P1dB -3dB) referente a faixa de rejeição.

Figura 21 – Amostra 10: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz; polarização vertical; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.



Figura 22 – Amostra 10: resposta em frequência de 3,3 a 3,7 GHz; polarização horizontal; nível de entrada: (ponto de compressão de 1 dB) -3 dB.



A Figura 23 e a Figura 24 apresentam a temperatura de ruído de 3,8 GHz a 4,2 GHz.

Figura 23 – Amostra 10: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização vertical.

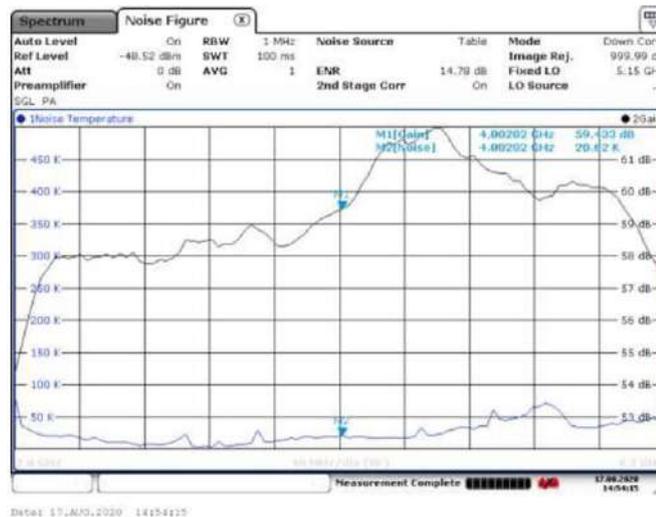
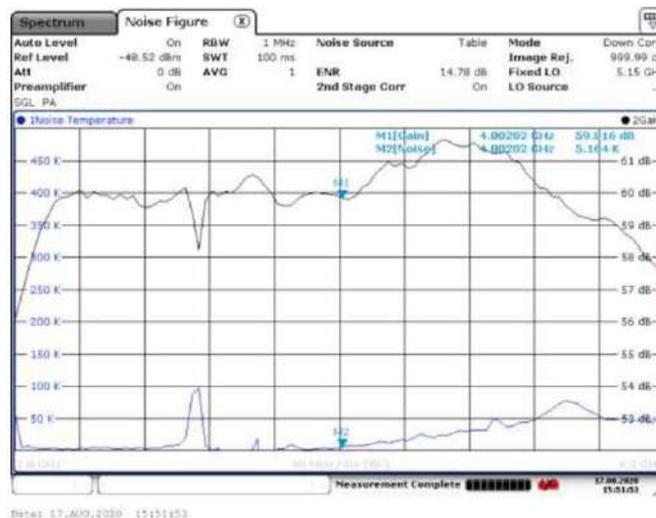


Figura 24 – Amostra 10: temperatura de ruído e ganho em função da frequência; polarização horizontal.



Pré-avaliação de campo pelo CPqD

Adicionalmente aos testes de laboratório, o CPqD realizou em suas instalações uma emulação de teste de campo, de forma a ajudar na qualificação de quais amostras seriam selecionadas para os testes de campo objeto do presente Relatório. A emulação de testes de campo foi feita utilizando antenas de tela com diâmetros de 1,7 m e 1,9 m. Foi utilizado um *setup* de recepção para auxiliar na avaliação do limiar de visibilidade dos canais de TV satelital.

A

Tabela 1 apresenta quais canais foram utilizados para avaliação. A avaliação da recepção desses canais foi feita da seguinte forma:

- a) Sem presença do IMT-2020;
- b) Com IMT-2020 F0 3.670 MHz@BW 60 MHz; e;
- c) Com IMT-2020 F0 3.430 MHz@BW 60 MHz.

Tabela 1 – Canais de avaliação testes CPqD.

Emissora	POL	Banda L (MHz)	Banda C (MHz)
Canais de teste horizontais			
Rede Século 21 HD 8 PSK 3/4	H	1.039	4.111
Canal do Boi QPSK 2/3	H	1.157	3.993
TV Justiça QPSK 3/4	H	1.225	3.925
Canais de teste verticais			
Canal Saúde QPSK 3/4	V	1.065	4.085
Tv Escola Digital QPSK 2/3	V	1.185	3.965
TV Record HD 8 PSK 3/4	V	1.276	3.874

Da

Tabela 1 verifica-se que não foram avaliados canais abaixo de 3.874 MHz e que a maioria dos canais testados tinham modulação PSK. Conforme se observa nos testes de laboratório do CPqD e como será evidenciado mais adiante no presente Relatório, a faixa entre 3.800 MHz e 3.900 MHz assume um papel importante na observação e no controle de intermodulações. A esse respeito cabe mencionar que mesmo nos testes de emulação de campo promovido pelo CPqD ocorreram os eventos de intermodulação nas proximidades da faixa de 3800 MHz, no entanto a degradação da performance não foi observada nos canais iniciais da TVRO, uma vez que não faziam parte do elenco de canais escolhidos para avaliação.

A Figura 25, Figura 26 e a Figura 27 ilustram, para as amostras 6, 7 e 10, respectivamente, a degradação no início da faixa de operação (elevação do nível de ruído) provocada por distorções não lineares observadas na avaliação do canal TV Record (3.874 MHz, analógico).

Figura 25 – Amostra 6: exemplo de distorção presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal TV Record (3.874 MHz, analógico).



Figura 169 – Espectro Total em V - IMT-2020 com 60 MHz em 3670 MHz

Figura 26 – Amostra 7: exemplo de distorção presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal TV Record (3.874 MHz, analógico).



Figura 204 – Espectro Total em V - IMT-2020 com 60 MHz em 3670 MHz

Figura 27 – Amostra 10: exemplo de distorção presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal TV Record (3.874 MHz, analógico).



Figura 239 – Espectro Total em V - IMT-2020 com 60 MHz em 3670 MHz

A Figura 28 e a Figura 29 ilustram, para as amostras 6 e 7, respectivamente, a degradação no início da faixa de operação (elevação do nível de ruído) provocada por distorções não lineares observadas na avaliação do canal Saúde (4.085 MHz).

Figura 28 – Amostra 6: exemplo de intermodulação presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal Saúde (4.085 MHz).

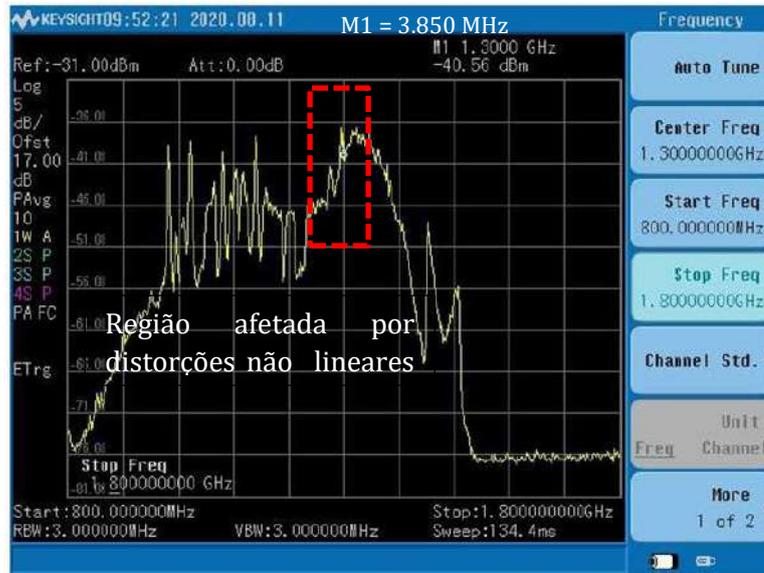


Figura 165 – Espectro Total em V - IMT-2020 com 60 MHz em 3670 MHz

Figura 29 – Amostra 7: exemplo de intermodulação presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal Saúde (4.085 MHz).



Figura 200 – Espectro Total em V - IMT-2020 com 60 MHz em 3670 MHz

A Figura 30 ilustra, para as amostras 10, a degradação no início da faixa de operação (elevação do nível de ruído) provocada por distorções não lineares observadas na avaliação do canal TV Escola Digital (3.965 MHz).

Figura 30 – Amostra 10: exemplo de intermodulação presente no início da faixa; polarização vertical; avaliação do canal TV Escola Digital (3.965 MHz).



Figura 237 – Espectro Total em V - IMT-2020 com 60 MHz em 3670 MHz

Os resultados obtidos no teste de emulação de campo feito pelo CPqD tendem a ser mais otimistas do que os que serão apresentados mais adiante neste Relatório, uma vez que, visando a melhor caracterização das distorções não lineares em toda faixa passante dos LNBF sob teste, incluiu-se na avaliação um canal no início da faixa.

2 AMBIENTE DE TESTES DE CAMPO

O Centro de Referência Tecnológica (CRT) da Claro está instalado em uma área de 19.000 m² na Ilha do Fundão, no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), na Rua Pascoal Lemme, 80, no Rio de Janeiro/RJ. Possui acreditação CRL-0139 do INMETRO para a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 e, lotados no CRT, estão engenheiros e técnicos esp

cializados na administração de uma infraestrutura que permite a realização de testes nas áreas de Dados, Telefonia (Móvel e Fixa) e Transmissão.

Esse local foi escolhido por possuir, desde novembro de 2018, ecossistemas 5G com suas respectivas antenas montadas em uma torre *outdoor*, ambos na faixa de 3,5 GHz Além disso, não existiam outros transmissores operando na faixa de 3,5 GHz em um raio de pelo menos 5 km no entorno do CRT, não havendo, portanto, interferências de sistemas externos, nem sistemas externos sendo interferidos durante os testes de convivência.

A Figura 31 mostra o posicionamento das antenas 5G (sistema interferente) e das antenas parabólicas de TVRO (sistema interferido) utilizadas nos testes em campo. A Tabela 2 e Tabela 3 apresentam as coordenadas geográficas consideradas e as alturas e tilts mecânico e elétrico, das antenas 5G.

Figura 31 – Ambiente de testes de campo e o posicionamento do sistemas interferidos (TVRO) e interferente (5G).



Tabela 2 – Coordenadas geográficas dos sistemas interferidos¹⁵.

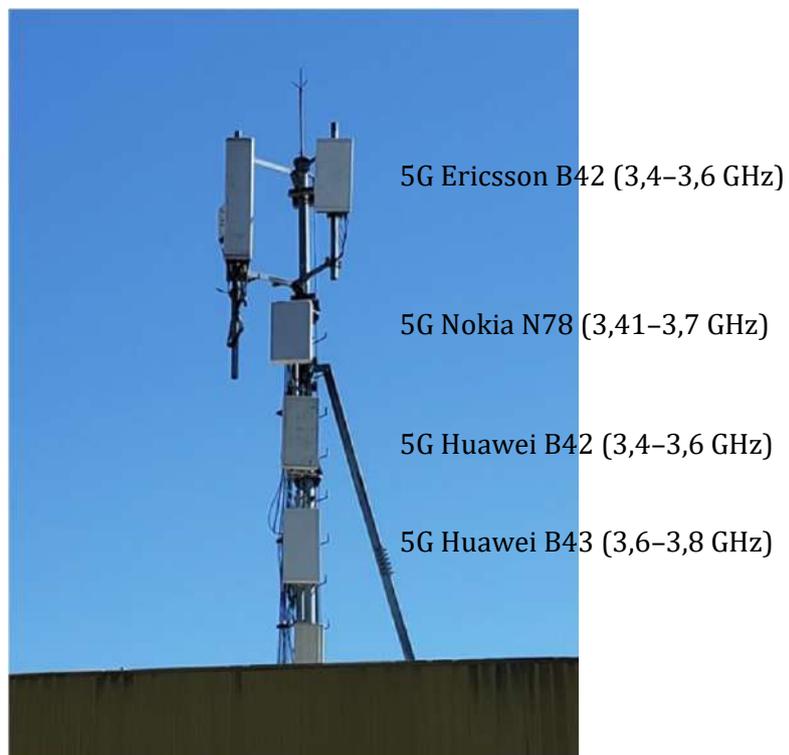
Antenas Receptoras TVRO		
Diâmetro	Latitude	Longitude
1,5 m Tela	22°51'47,736" S	43°13'11,600" O
1,7 m Tela	22°51'47,736" S	43°13'11,600" O

Tabela 3 – Coordenadas geográficas, altura e tilt dos sistemas interferentes.

Antenas 5G		
Latitude/Longitude	22°51'45,98"S	43°13'12,91"O
	Antena 5G Ericsson B42	Antena 5G Nokia N78
Altura	14 metros	12 metros
Tilt mecânico	0°	0°
Tilt elétrico	3°	6°
	Antena 5G Huawei B42	Antena 5G Huawei B43
Altura	11 metros	10,6 metros
Tilt mecânico	8°	8°
Tilt elétrico	0°	0°

Detalhes da instalação dos sistemas 5G podem ser vistos na Figura 32 e Figura 33 a seguir. Na Figura 34, Figura 35 e Figura 36 são apresentadas fotos dos sistemas de recepção TVRO, vistas frontais e aéreas e posicionamento relativo do veículo que abrigava os instrumentos de medição.

Figura 32 – Torre com sistemas 5G.



¹⁵ As antenas de 1.5 m e 1.7 m de diâmetro foram posicionadas muito próximas uma da outra, de forma que não existe diferença significativa nas coordenadas de latitude e longitude.

Figura 33 – Vista do prédio com a torre na linha de visada a partir das antenas TVRO.



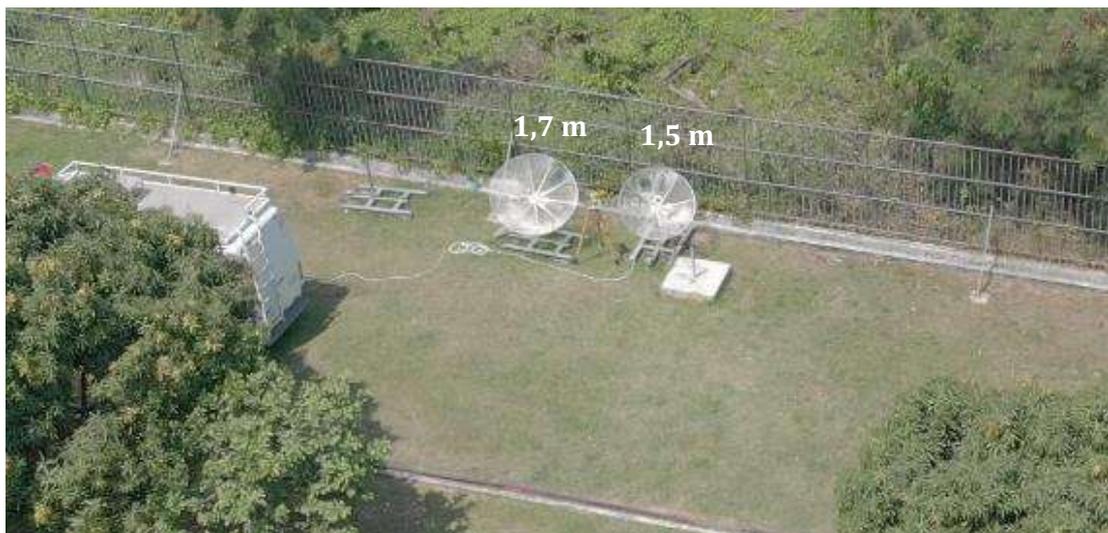
Figura 34 – Vista frontal das antenas TVRO a partir da linha de visada da torre 5G.



Figura 35 – Vista aérea das antenas.

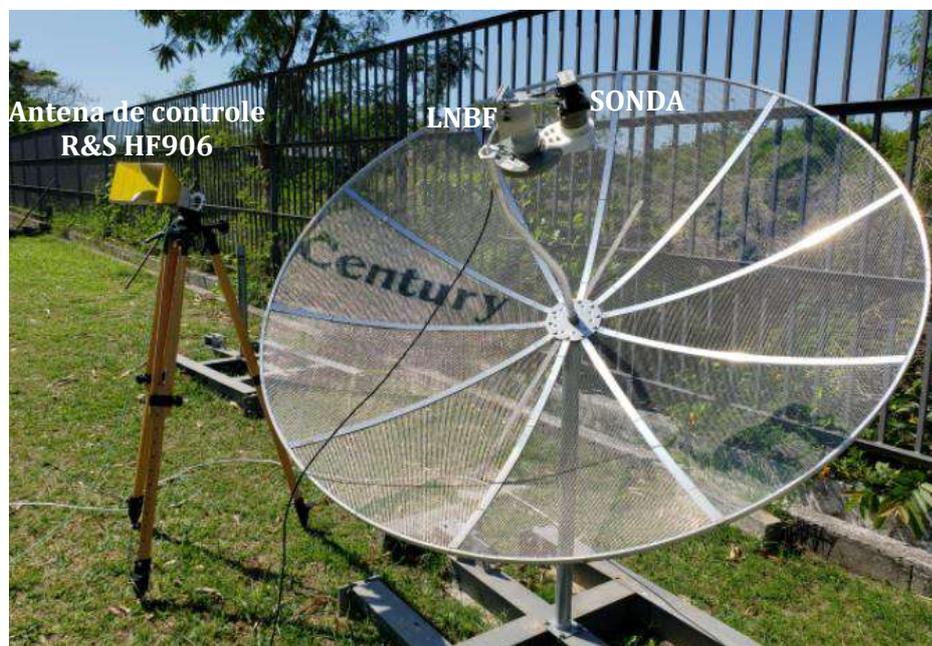


Figura 36 – Vista aérea das antenas TVRO detalhando o posicionamento do veículo que abrigava os instrumentos de medições.



A Figura 37 ilustra a localização da antena de controle para monitoração do nível de sinal recebido. Além disso, foi utilizada a monitoração dos níveis do sinal interferente na sonda próxima ao ponto focal da antena TVRO.

Figura 37 – Detalhe da antena de 1,7 m montada com LNBF e sonda e posicionamento da antena de controle R&S HF906.

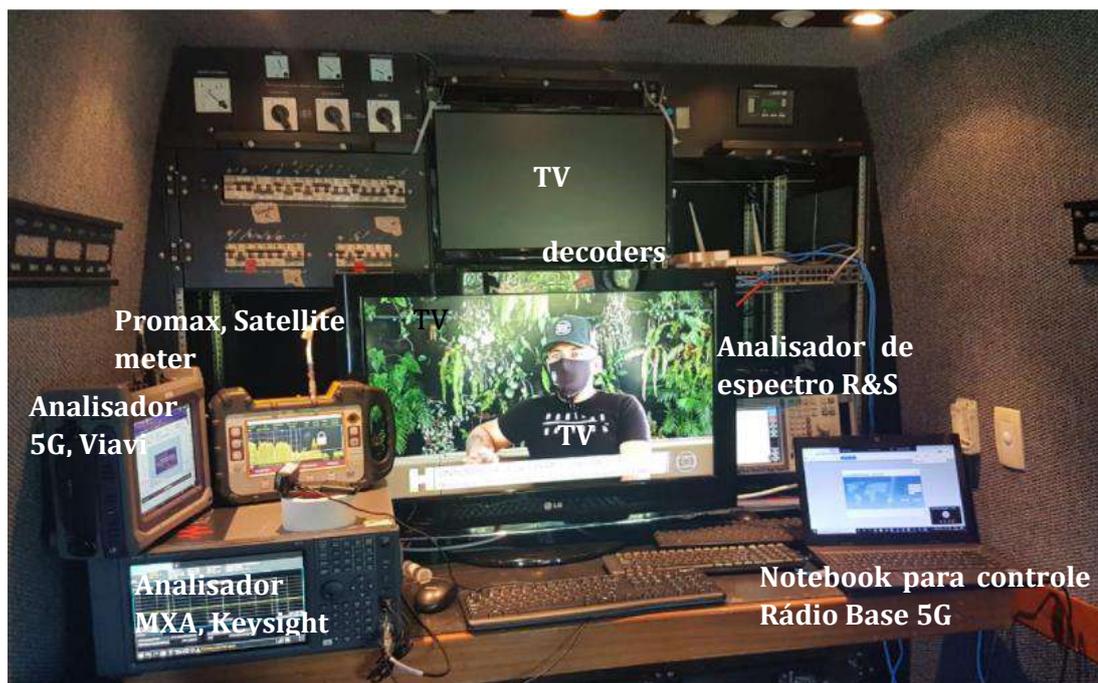


A Figura 38 e Figura 39 mostram detalhes do ambiente de monitoração e instrumentos utilizados na coleta de dados, abrigados no interior de um veículo tipo Van.

Figura 38 – Detalhe da van utilizada como sala de monitoração .



Figura 39 – Detalhe dos instrumentos de monitoração.



2.1 Descrição do sistema de interferido

Para a recepção de TVRO foram utilizados:

- 1 LNBF do tipo monoponto (modelo legado, disponível no mercado);
- 3 LNBFs do tipo monoponto, protótipos de nova geração, de dois fabricantes distintos;
- Antena de 1,5 m de diâmetro com refletor parabólico de tela, fabricante: Century, modelo: MD150;
- Antena de 1,7 m de diâmetro com refletor parabólico de tela, fabricante: Century, modelo: MD170;
- Decodificador digital, fabricante: Century, modelo: MediaBox b4+;
- Decodificador Anadig, fabricante: BedinSat, modelo: BS6000;

A Tabela 4 apresenta os canais do satélite StaroneC2 escolhidos para avaliação da interferência e suas características de operação.

Tabela 4 – Detalhamento dos canais avaliados.

Canal	Programação	F (MHz)	Pol	SR	FEC	Modulação
Canal A	RPC HD	3807	V	7500	2/3	8PSK
Canal B	TV Câmara SD	3931	H	3541	2/3	8PSK
Canal C	Canção Nova HD	4055	V	5833	3/4	8PSK
Canal D	TV Pai Eterno HD	4105	H	5000	2/3	8PSK
Canal E	Record Analógico	3854	V	-	-	-
Canal F	TV Senado Analógico	4130	H	-	-	-

2.2 Descrição do sistema interferente

Estavam disponíveis apenas os seguintes sistemas 5G, cujos dados descritivos são apresentados na Tabela 5:

- Ericsson, faixa de operação 3,4–3,6 GHz, compatível com B42;
- Nokia, faixa de operação 3,41–3,7 GHz, opera em parte da banda N78;
- Huawei, faixa de operação 3,4–3,6 GHz, compatível com B42; e
- Huawei, faixa de operação 3,6–3,8 GHz, compatível com B43.

Tabela 5 – Sistemas 5G utilizados.

Equipamento	Fabricante	Modelo	Núm. de Série	Versão de SW / Firmware	Versão de HW
AAU	Huawei	AAU5613 3500A	Part no. 02312CHP	-	-
AAU	Huawei	AAU5613 3700A	Part no. 02312CHK	-	-
Base Band Unit	Huawei	BBU5900	024RHK9WJC100990	BTS3900_5900 V100R015C00SPC120	Control.: UMPTe2, Banda Base 5G NR: UBBPfw1, Banda Base 4G: UBBPe4
AAU	Ericsson	Air 6468 (B42)	D827289696	Release 18.Q3	-
Base Band Unit	Ericsson	Baseband 6630	B440409535	Release 18.Q3	-
AAU	Nokia	AEQP	475238A102	Versão de SW 5G19B - 5G19B_GN_007_00383 6_000589	-
Base Band Unit	Nokia	AirScale com placas AMIA, ASIK e ABIL	-	-	-

Os sistemas 5G foram configurados especificamente para os testes, de forma a maximizar a interferência. As antenas foram configuradas com o *beamforming* na direção do sistema interferido. Para o quadro TDD, foi utilizada a configura DDDSU e o sistema foi carregado com um nível de 100% de tráfego no sentido *downlink* (transmissão da gNodeB).

Foram utilizadas individualmente ou em conjunto as seguintes portadoras:

O *setup* permite medir a potência do sinal 5G em linha de visada, por meio do analisador de sinais Keysight MXA conectado à antena de controle R&S HF 906, e a potência do sinal 5G na entrada do LNBF sob teste, por meio do analisador de sinais Viavi 5G (Cell Advisor 5000) conectado à sonda.

O limiar de visibilidade é observado por meio de um monitor de TV, a avaliação de desempenho de recepção do canal de TV via satélite é feita por meio de um analisador Promax e a medição do sinal na saída do LNBF sob testes é realizada por um analisador de espectro *realtime* Rohde&Schwarz FSVR30.

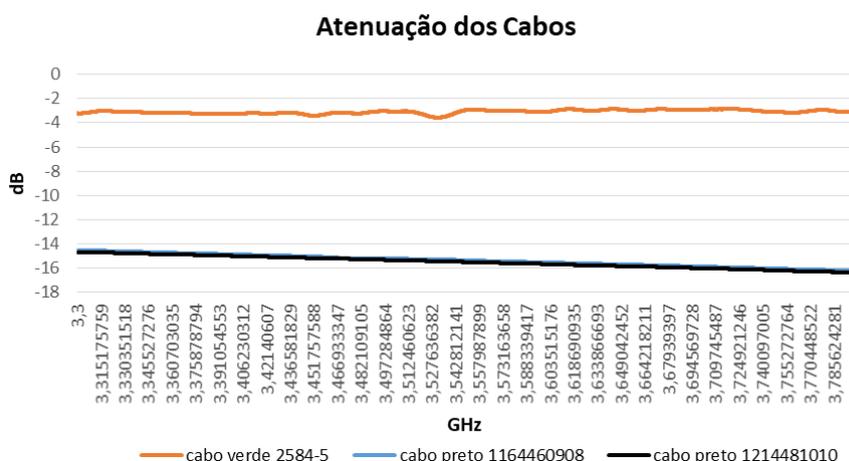
Na Tabela 6 são listados os instrumentos utilizados durante os testes, assim como os principais acessórios (cabos, conectores, etc). A

Figura 41 apresenta a atenuação dos cabos utilizados no *setup*.

Tabela 6 – Lista de instrumentos utilizados no *setup*.

Equip./ Instrum.	Fabricante	Modelo	Núm. de Série	Versão de SW/Firmware	Versão de HW	Patrimônio
Analisador de Sinais	Promax	Ranger Neo 2	010169857	26.5 Build 203 (M06D0aK05T02)	Release 26.5	311068 (Globo)
Analisador de Sinais	Viavi	CA5000 CellAdvisor 5G	JBA91272	5.022.032r-1 (30/09/2019)	-	-
Analisador de Sinais	KeySight	MXA Signal Analyzer equipado com feature 5G TDD	N9020B	-	-	-
Analisador de Espectro Tempo Real	Rohde & Schwarz	FSVR 30	1311.0006K30-10111-tX	1.63	-	815.009 (Anatel)
Cabo Coax. (cabo verde)	Harbour	SAC-26G-5 (LL142)	P/N: 2584-5 SN: 334	-	-	-
Cabo Coax. RG58 (cabo preto)	Huber-Suhner	RG58/11N/11 N/1000mm	0077	-	-	-
Antena Corneta	Rohde & Schwarz	HF906	100017	-	-	-
Feedhorn + Transição Guia Coax.	Century	-	-	-	-	-
Transição Guia Coax.	BrasilSat	TGC 229	289781	-	-	-
Divisor de RF 1:2	Proeletronic	PQDV-2022B	-	-	-	-
Bloqueador DC	Proeletronic	PQBL-1000D	-	-	-	-
Emenda N Fêmea x Fêmea	Suhner		-	-	-	-
Cabo Coax. RG-6	BrasilSat	20 metros	-	-	-	-
LNA	Agilent	87405C	MY47010397	-	-	059.236 (Anatel)
Filtro Banda C	Norsat	BPF-C-2	-	-	-	-
Telêmetro	Bushnell	YardagePro 20-0015	092038	-	-	052.942 (Anatel)
Filtro TX	Planar Monolithics	BFF 3,4 ~3,7 GHz, modelo8CL3D 55G-300-CD-SFF	-	-	-	CPqD
Ortmode	-	-	-	-	-	Elsys

Figura 41 – Atenuação dos cabos utilizados no *setup*.



Configuração do analisador de espectro e medições de potência do sinal 5G

Nas medições realizadas com o analisador de espectro Rohde&Schwarz FSVR30 (banda L) foram utilizadas as configurações padrões apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Configuração do analisador de espectro para medidas em banda L.

LNBF monoponto

Frequência Central 1,3 GHz, SPAN 1,2 GHz

RBW 30 kHz, VBW 300 kHz

Ref. Level -10 dBm , Atenuador 10 dB, Sweep Time 30 ms

Traco1 Rm MaxHold, Traco2 Rm ClearWhite FRQ -5150 , Auto FFT Count10

Ressalta-se que para medição de potência de sinais 5G TDD (sinais em rajada) é essencial que o instrumento esteja sincronizado à fonte emissora do sinal, por isso foi necessário utilizar instrumentos com a *feature* de detecção da tecnologia TDD ativada.

A função *channel power* mede a potência dos sinais 5G no domínio da frequência, na qual é exibido o valor médio da densidade espectral de potência dentro do canal ocupado. Em ambos os pontos de avaliação a medida de *channel power* foi feita de forma automática, de acordo com as configurações definidas pelo fabricante do instrumento.

2.4 Procedimentos e cenários de testes

De forma resumida, foram adotados os seguintes procedimentos para os diferentes cenários de teste:

- Seleção de canais analógicos e digitais na banda C (3,8 a 4,2 GHz):
 - Canal A - 3807 V SR 7500 FEC 2/3 8PSK|RPC HD;
 - Canal B - 3931 H SR 3541 FEC 2/3 8PSK|TV Câmara SD;
 - Canal C - 4055 V SR 5833 FEC 3/4 8PSK|Canção Nova HD;
 - Canal D - 4105 H SR 5000 FEC 2/3 8PSK|TV Pai Eterno HD;
 - Canal E - 3854 V |Record Analógico; e,
 - Canal F - 4130 H |TV Senado Analógico.
- Seleção de portadoras 5G, individualmente ou em conjunto:
 - 1 portadora com BW de 100 MHz de 3.600 – 3.700 MHz (gNodeB); e,

- 1 portadora com BW de 100 MHz de 3.500 – 3.600 MHz (gNodeB);
- c) Avaliação do espectro e da qualidade do sinal desejado na ausência do sinal interferente, através do sinal recebido na TVRO (em Banda L).
 - d) Variação na potência de transmissão do sinal 5G, para cada cenário de teste, até a percepção de interferência.
 - e) Avaliação do espectro e da qualidade do sinal desejado na presença do sinal interferente, através do sinal recebido na TVRO (em Banda L).
 - f) Avaliação da intensidade do sinal interferente, através do sinal recebido na sonda (em Banda C).
 - g) Avaliação da intensidade do sinal interferente, através do sinal recebido na antena de controle (em Banda C).
 - h) Verificação do limiar de visibilidade através da imagem de vídeo em um monitor de TV. Para os canais analógicos, estabelecimento de um padrão visual subjetivo (*threshold of visibility*), que permita identificar o início da interferência. Para os canais digitais, o limiar de interferência estabelecido como sendo o ponto de “congelamento” intermitente da imagem, à medida que se incrementa a potência do sinal 5G.

Os dados são coletados na a condição de limiar de funcionamento do sistema TVRO, com *step* de potência imediatamente abaixo da percepção de interferência.

Avaliação de canais digitais:

- Determinar TOV (*threshold of visibility*) pela identificação de objetos na imagem (bloqueios e macro blocos);
- Observar recepção sem interferência por dois minutos (ou cinco minutos quando necessário);
- Registrar *Channel Power*;
- Registrar C/N;
- Registrar MER;
- Registrar LBER; e,
- Registrar nível 5G no limiar de TOV para cada canal avaliado.

Avaliação de canais analógicos:

- Determinar TOV (*threshold of visibility*) pela identificação de pontos de saturação de vídeo (pontos brancos na tela);
- Observar recepção sem interferência por dois minutos (ou cinco minutos quando necessário); e,
- Registrar nível 5G no limiar de TOV para cada canal avaliado.

As combinações de todos os cenários de teste utilizadas são mostradas na Tabela 8.

Tabela 8 – Combinações dos cenários de teste.

Teste 1	Interferido	1,7m tela	LNBF legado (monoponto)	Rx A (digital)	3.807 MHz V - RPC HD (8PSK, 7500 – 2/3)
Teste 2					3.931 MHz H - TV Câmara SD (8PSK, 3541 – 2/3)
Teste 3					4.055 MHz V - Canção Nova HD (8PSK, 5833 - 3/4)
Teste 4				4.105 MHz H - TV Pai Eterno HD (8PSK, 5000 - 2/3)	
Teste 5				Rx B (anadig)	3.854 MHz V – Record Analógico
Teste 6					4.130 MHz H – TV Senado Analógico
Teste 7			AM06	Rx A (digital)	3.807 MHz V - RPC HD (8PSK, 7500 – 2/3)
Teste 8					3.931 MHz H - TV Câmara SD (8PSK, 3541 – 2/3)
Teste 9					4.055 MHz V - Canção Nova HD (8PSK, 5833 - 3/4)
Teste 10				4.105 MHz H - TV Pai Eterno HD (8PSK, 5000 - 2/3)	
Teste 11				Rx B (anadig)	3.854 MHz V – Record Analógico
Teste 12					4.130 MHz H – TV Senado Analógico
Teste 13			AM07	Rx A (digital)	3.807 MHz V - RPC HD (8PSK, 7500 – 2/3)
Teste 14					3.931 MHz H - TV Câmara SD (8PSK, 3541 – 2/3)
Teste 15					4.055 MHz V - Canção Nova HD (8PSK, 5833 - 3/4)
Teste 16				4.105 MHz H - TV Pai Eterno HD (8PSK, 5000 - 2/3)	
Teste 17				Rx B (anadig)	3.854 MHz V – Record Analógico
Teste 18					4.130 MHz H – TV Senado Analógico
Teste 19			AM10	Rx A (digital)	3.807 MHz V - RPC HD (8PSK, 7500 – 2/3)
Teste 20					3.931 MHz H - TV Câmara SD (8PSK, 3541 – 2/3)
Teste 21					4.055 MHz V - Canção Nova HD (8PSK, 5833 - 3/4)
Teste 22				4.105 MHz H - TV Pai Eterno HD (8PSK, 5000 - 2/3)	
Teste 23				Rx B (anadig)	3.854 MHz V – Record Analógico
Teste 24					4.130 MHz H – TV Senado Analógico
Teste 25		1,5m tela	LNBF legado (monoponto)	Rx A (digital)	3.807 MHz V - RPC HD (8PSK, 7500 – 2/3)
Teste 26					3.931 MHz H - TV Câmara SD (8PSK, 3541 – 2/3)
Teste 27					4.055 MHz V - Canção Nova HD (8PSK, 5833 - 3/4)
Teste 28				4.105 MHz H - TV Pai Eterno HD (8PSK, 5000 - 2/3)	
Teste 29				Rx B (anadig)	3.854 MHz V – Record Analógico
Teste 30					4.130 MHz H – TV Senado Analógico
Teste 31			AM06	Rx A (digital)	3.807 MHz V - RPC HD (8PSK, 7500 – 2/3)
Teste 32					3.931 MHz H - TV Câmara SD (8PSK, 3541 – 2/3)
Teste 33					4.055 MHz V - Canção Nova HD (8PSK, 5833 - 3/4)
Teste 34				4.105 MHz H - TV Pai Eterno HD (8PSK, 5000 - 2/3)	
Teste 35				Rx B (anadig)	3.854 MHz V – Record Analógico
Teste 36					4.130 MHz H – TV Senado Analógico
Teste 37			AM07	Rx A (digital)	3.807 MHz V - RPC HD (8PSK, 7500 – 2/3)
Teste 38					3.931 MHz H - TV Câmara SD (8PSK, 3541 – 2/3)
Teste 39					4.055 MHz V - Canção Nova HD (8PSK, 5833 - 3/4)
Teste 40				4.105 MHz H - TV Pai Eterno HD (8PSK, 5000 - 2/3)	
Teste 41				Rx B (anadig)	3.854 MHz V – Record Analógico
Teste 42					4.130 MHz H – TV Senado Analógico
Teste 43			AM10	Rx A (digital)	3.807 MHz V - RPC HD (8PSK, 7500 – 2/3)
Teste 44					3.931 MHz H - TV Câmara SD (8PSK, 3541 – 2/3)
Teste 45					4.055 MHz V - Canção Nova HD (8PSK, 5833 - 3/4)
Teste 46				4.105 MHz H - TV Pai Eterno HD (8PSK, 5000 - 2/3)	
Teste 47				Rx B (anadig)	3.854 MHz V – Record Analógico
Teste 48					4.130 MHz H – TV Senado Analógico

Nos cenários de testes de 1 a 48, apresentados na Tabela 8, são ativadas simultaneamente duas gNodeBs, cada uma gerando uma portadora 5G. Ambas portadoras são configuradas com BW de 100 MHz, sendo a primeira portadora com frequência central de 3,55 GHz, referida como B42¹⁷, e a segunda portadora com frequência central de 3,65 GHz, referida como B43, quando utilizado o sistema Huawei, ou N78, quando utilizado o sistema Nokia. Ambas portadoras são configuradas com a mesma potência média¹⁸, referenciadas ao sinal recebido na antena de controle, em cada

¹⁷ Para a geração da portadora com frequência central de 3,55 GHz e BW de 100 MHz, referida como B42, foi utilizado o sistema Huawei em todos os casos.

¹⁸ Considerou-se como sendo a mesma potência média quando a diferença de potência entre as duas portadoras era menor do que 1,5 dB.

incremento de potência até atingir o limiar de visibilidade (TOV) ou até a máxima potência disponível.

Caso em algum cenário, dentre os previstos na Tabela 8, não se atinja a potência máxima dos sistemas 5G, isto é, o limiar de visibilidade (TOV) seja observado, então são previstos testes complementares com um diferencial de potência média entre as portadoras 5G (*backoff*).

Os testes diferenciais complementares consistem em manter a portadora B42 ($f_{\text{central}}=3,55$ GHz; BW=100 MHz) fixa em sua máxima potência e excursionar a potência da portadora B43 ou N78 ($f_{\text{central}}=3,65$ GHz; BW=100 MHz) até o valor em que é atingido o limiar de visibilidade (TOV).

3 RESULTADOS DOS TESTES DE CAMPO

Conforme descrito nas seções 1.3 e 1.4 deste Relatório, os testes foram conduzidos em três LNBs protótipos de nova geração de dois fabricantes distintos. Esses LNBs foram pré-selecionados nos testes conduzidos pelo CPqD em 2020 a pedido do SindiTelebrasil. Todos os LNBs disponibilizados eram **somente do tipo monoponto**¹⁹. Nos testes também foi utilizado uma amostra de LNB legado disponível no mercado, do tipo monoponto, como forma de controle adicional para checagem da correta decodificação (abertura) do canal de TV satelital sem a presença do sinal interferente.

Os testes 1 a 6 e 25 a 30, previstos na Tabela 8, não houve necessidade de serem realizados pois, conforme previsto nos Testes de Campo de 2019, o LNB legado é interferido para qualquer nível do sinal 5G nas condições de teste.

Da Tabela 9 à Tabela 14 são mostrados os resultados de todas as medições²⁰, realizadas conforme procedimentos descritos na seção 2.4 deste Relatório.

A Tabela 9 e a Tabela 10 mostram os resultados de potência equivalente média recebida na entrada no LNB sob teste utilizando-se as portadoras B42 e B43, nas quais o símbolo (*) denota os casos em que atingiu-se o nível máximo de potência 5G e o canal não apresentou problemas.

Tabela 9 – Potência equivalente recebida na entrada do LNB no limiar de funcionamento. Teste padrão B42 e B43, antena de 1,7 m.

100% de Carga, 2 gNodeBs B42 ($f_{\text{central}}=3,55$ GHz; BW=100 MHz) e B43 ($f_{\text{central}}=3,65$ GHz; BW=100 MHz)					
Teste	Antena	Amostra LNB	Decodificador	Canal	Potência média recebida [dBm]
TESTE07	1,7	AM06	Rx A (digital)	A 3807V	-29,65
TESTE08	1,7	AM06	Rx A (digital)	B 3931H	-18,08 (*)
TESTE09	1,7	AM06	Rx A (digital)	C 4055V	-18,37 (*)
TESTE10	1,7	AM06	Rx A (digital)	D 4105H	-18,42 (*)
TESTE11	1,7	AM06	Rx B (anadig.)	E 3854V	-26,18
TESTE12	1,7	AM06	Rx B (anadig.)	F 4130H	-19,29 (*)
TESTE13	1,7	AM07	Rx A (digital)	A 3807V	-37,93
TESTE14	1,7	AM07	Rx A (digital)	B 3931H	-27,24
TESTE15	1,7	AM07	Rx A (digital)	C 4055V	-30,29
TESTE16	1,7	AM07	Rx A (digital)	D 4105H	-25,15
TESTE17	1,7	AM07	Rx B (anadig.)	E 3854V	-40,6
TESTE18	1,7	AM07	Rx B (anadig.)	F 4130H	-28,44
TESTE19	1,7	AM10	Rx A (digital)	A 3807V	-32,81
TESTE20	1,7	AM10	Rx A (digital)	B 3931H	-32,66
TESTE21	1,7	AM10	Rx A (digital)	C 4055V	-28,67
TESTE22	1,7	AM10	Rx A (digital)	D 4105H	-29,83
TESTE23	1,7	AM10	Rx B (anadig.)	E 3854V	-34,81
TESTE24	1,7	AM10	Rx B (anadig.)	F 4130H	-31,44

¹⁹ LNB do tipo monoponto permite a conexão e controle de canais por somente um decodificador de satélite/TV, enquanto que o LNB do tipo multiponto permite a interconexão de diversos decodificadores de satélite/TVs ao mesmo tempo.

²⁰ Todos os resultados indicados nas tabelas abaixo já contêm as devidas correções de *offset* (atenuações dos cabos, diferença de nível para a posição de foco e do *feeder* da sonda, etc)

Tabela 10 – Potência equivalente média recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento.
 Teste padrão B42 e B43, antena de 1,5 m.

100% de Carga, 2 gNodeBs B42 ($f_{\text{central}}=3,55$ GHz; BW=100 MHz) e B43 ($f_{\text{central}}=3,65$ GHz; BW=100 MHz)					
Teste	Antena	Amostra LNBF	Decodificador	Canal	Potência média recebida [dBm]
TESTE31	1,5	AM06	Rx A (digital)	A 3807V	-25,88
TESTE32	1,5	AM06	Rx A (digital)	B 3931H	-14,06 (*)
TESTE33	1,5	AM06	Rx A (digital)	C 4055V	-16,91 (*)
TESTE34	1,5	AM06	Rx A (digital)	D 4105H	-16,87 (*)
TESTE35	1,5	AM06	Rx B (anadig.)	E 3854V	-24,08
TESTE36	1,5	AM06	Rx B (anadig.)	F 4130H	-16,72 (*)
TESTE37	1,5	AM07	Rx A (digital)	A 3807V	-39,69
TESTE38	1,5	AM07	Rx A (digital)	B 3931H	-27,03
TESTE39	1,5	AM07	Rx A (digital)	C 4055V	-33,01
TESTE40	1,5	AM07	Rx A (digital)	D 4105H	-24,25
TESTE41	1,5	AM07	Rx B (anadig.)	E 3854V	-43,54
TESTE42	1,5	AM07	Rx B (anadig.)	F 4130H	-28,1
TESTE43	1,5	AM10	Rx A (digital)	A 3807V	-36,52
TESTE44	1,5	AM10	Rx A (digital)	B 3931H	-30,21
TESTE45	1,5	AM10	Rx A (digital)	C 4055V	-35,14
TESTE46	1,5	AM10	Rx A (digital)	D 4105H	-30,95
TESTE47	1,5	AM10	Rx B (anadig.)	E 3854V	-41,44
TESTE48	1,5	AM10	Rx B (anadig.)	F 4130H	-31,02

Dando continuidade aos testes complementares para os casos não marcados com (*), a Tabela 11 e a Tabela 12 mostram os resultados de potência equivalente média recebida na entrada no LNBF sob teste dos testes diferenciais utilizando-se as portadoras B42 e B43. O diferencial de potência configurado deve ser consultado nas tabelas de *backoffs* (Tabela 15 e Tabela 16).

Tabela 11 – Potência equivalente média recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento.
 Teste complementar B42 e B43, antena de 1,7 m.

100% de Carga, 2 gNodeBs B42 ($f_{\text{central}}=3,55$ GHz; BW=100 MHz) e B43 ($f_{\text{central}}=3,65$ GHz; BW=100 MHz) Teste complementar B42 configurada na máxima potência						
Teste	Antena	Amostra LNBF	Decodificador	Canal	Potência média recebida [dBm]	Situação
TESTE07D	1,7	AM06	Rx A (digital)	A 3807V	-24,27	ok
TESTE11D	1,7	AM06	Rx B (anadig.)	E 3854V	-24,28	ok
TESTE13D	1,7	AM07	Rx A (digital)	A 3807V	-21,27	Canal não sintoniza
TESTE14D	1,7	AM07	Rx A (digital)	B 3931H	-20,65	ok
TESTE15D	1,7	AM07	Rx A (digital)	C 4055V	-20,99	ok
TESTE16D	1,7	AM07	Rx A (digital)	D 4105H	-20,43	ok
TESTE17D	1,7	AM07	Rx B (anadig.)	E 3854V	-20,53	Canal com "chuviscos"
TESTE18D	1,7	AM07	Rx B (anadig.)	F 4130H	-20,36	ok
TESTE19D	1,7	AM10	Rx A (digital)	A 3807V	-24,59	Canal não sintoniza
TESTE20D	1,7	AM10	Rx A (digital)	B 3931H	-23,69	Canal não sintoniza
TESTE21D	1,7	AM10	Rx A (digital)	C 4055V	-22,41	ok
TESTE22D	1,7	AM10	Rx A (digital)	D 4105H	-22,24	ok
TESTE23D	1,7	AM10	Rx B (anadig.)	E 3854V	-21,72	Canal com muito ruído
TESTE24D	1,7	AM10	Rx B (anadig.)	F 4130H	-22,52	ok

Os testes 13D, 17D, 19D, 20D e 23D, relativos às amostras 7 e 10, foram realizados com a gNodeB B42 na máxima potência e a gNodeB B43 na mínima potência, o que corresponde a utilizar praticamente uma faixa de guarda de 200 MHz. Os demais testes da Tabela 11 foram realizados com um valor de potência da portadora B43 diferente do mínimo, vide tabelas de *backoffs* (Tabela 15 e Tabela 16).

Tabela 12 – Potência equivalente média recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento. Teste complementar B42 e B43, antena de 1,5 m.

100% de Carga, 2 gNodeBs B42 ($f_{\text{central}}=3,55$ GHz; BW=100 MHz) e B43 ($f_{\text{central}}=3,65$ GHz; BW=100 MHz) Teste complementar B42 configurada na máxima potência						
Teste	Antena	Amostra LNBF	Decodificador	Canal	Potência média recebida [dBm]	Situação
TESTE31D	1,5	AM06	Rx A (digital)	A 3807V	-16,67	ok
TESTE35D	1,5	AM06	Rx B (anadig.)	E 3854V	-19,32	ok
TESTE37D	1,5	AM07	Rx A (digital)	A 3807V	-20,94	Canal não sintoniza
TESTE38D	1,5	AM07	Rx A (digital)	B 3931H	-21,6	Canal "pixelando"
TESTE39D	1,5	AM07	Rx A (digital)	C 4055V	-21,89	Canal "pixelando"
TESTE40D	1,5	AM07	Rx A (digital)	D 4105H	-21,92	ok
TESTE41D	1,5	AM07	Rx B (anadig.)	E 3854V	-20,75	Canal com muito ruído
TESTE42D	1,5	AM07	Rx B (anadig.)	F 4130H	-20,99	Canal com muito ruído
TESTE43D	1,5	AM10	Rx A (digital)	A 3807V	-19,97	Canal não sintoniza
TESTE44D	1,5	AM10	Rx A (digital)	B 3931H	-20,32	Canal não sintoniza
TESTE45D	1,5	AM10	Rx A (digital)	C 4055V	-20,38	Canal não sintoniza
TESTE46D	1,5	AM10	Rx A (digital)	D 4105H	-21,28	Canal não sintoniza
TESTE47D	1,5	AM10	Rx B (anadig.)	E 3854V	-19,51	Canal com apenas ruído
TESTE48D	1,5	AM10	Rx B (anadig.)	F 4130H	-19,55	Canal com muito ruído

Os testes 37D, 38D, 39D, 41D, 42D, 43D, 44D, 45D, 46D, 47D e 48D, relativos às amostras 7 e 10, foram realizados com a gNodeB B42 na máxima potência e a gNodeB B43 na mínima potência, o que corresponde a utilizar praticamente uma faixa de guarda de 200 MHz. Os demais testes da Tabela 12 foram realizados com um valor de potência da portadora B43 diferente do mínimo, vide tabelas de *backoffs* (Tabela 15 e Tabela 16).

A Tabela 13 mostra os resultados de potência equivalente recebida na entrada no LNBF sob teste utilizando-se as portadoras B42 e N78, nas quais o símbolo (*) denota os casos em que atingiu-se o nível máximo de potência 5G e o canal não apresentou problemas. Esses testes foram realizados exclusivamente na amostra 6, como forma de minimizar tempo de execução dos testes de campo.

Tabela 13 – Potência equivalente média recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento.
Teste padrão B42 e N78, apenas amostra 6.

100% de Carga, 2 gNodeBs B42 ($f_{\text{central}}=3,55$ GHz; BW=100 MHz) e N78 ($f_{\text{central}}=3,65$ GHz; BW=100 MHz)					
Teste	Antena	Amostra LNBF	Decodificador	Canal	Potência média recebida [dBm]
TESTE07	1,7	AM06	Rx A (digital)	A 3807V	-32,34
TESTE08	1,7	AM06	Rx A (digital)	B 3931H	-24,24 (*)
TESTE09	1,7	AM06	Rx A (digital)	C 4055V	-24,2 (*)
TESTE10	1,7	AM06	Rx A (digital)	D 4105H	-23,8 (*)
TESTE11	1,7	AM06	Rx B (anadig.)	E 3854V	-32,06
TESTE12	1,7	AM06	Rx B (anadig.)	F 4130H	-24,22 (*)
TESTE31	1,5	AM06	Rx A (digital)	A 3807V	-26,36
TESTE32	1,5	AM06	Rx A (digital)	B 3931H	-17,59 (*)
TESTE33	1,5	AM06	Rx A (digital)	C 4055V	-17,13 (*)
TESTE34	1,5	AM06	Rx A (digital)	D 4105H	-17,22 (*)
TESTE35	1,5	AM06	Rx B (anadig.)	E 3854V	-25,3
TESTE36	1,5	AM06	Rx B (anadig.)	F 4130H	-17,68 (*)

Dando continuidade aos testes complementares para os casos não marcados com (*), a Tabela 14 mostra os resultados de potência equivalente recebida na entrada no LNBF sob teste dos testes diferenciais utilizando-se as portadoras B42 e N78.

Tabela 14 – Potência equivalente média recebida na entrada do LNBF no limiar de funcionamento.
Teste complementar B42 e N78, apenas amostra 6

100% de Carga, 2 gNodeBs B42 ($f_{\text{central}}=3,55$ GHz; BW=100 MHz) e N78 ($f_{\text{central}}=3,65$ GHz; BW=100 MHz) Teste complementar B42 configurada na máxima potência.					
Teste	Antena	Amostra LNBF	Decodificador	Canal	Potência média recebida [dBm]
TESTE07D	1,7	AM06	Rx A (digital)	A 3807V	-25,49
TESTE11D	1,7	AM06	Rx B (anadig.)	E 3854V	-25,34
TESTE31D	1,5	AM06	Rx A (digital)	A 3807V	-18,18
TESTE35D	1,5	AM06	Rx B (anadig.)	E 3854V	-18,02

A Tabela 15 e a Tabela 16 mostram o valor de *backoff* na configuração de potência somente das gNodeBs B42 e B43, cujo valor máximo total por gNodeB é de 78 dBm/100 MHz (valor total considerando as duas polarizações). Cabe ressaltar que os valores se referenciam a uma condição crítica gerada para o teste, com 100% da carga, onde um único beam foi utilizado na direção configurada, de forma constante, apontado para o TVRO que estava a uma distância de 68 metros.

Tabela 15 – Diferenciais de potência (*backoffs*) entre as gNodeBs B42 e B43, antena 1,7 m.

Teste	Antena	Amostra LNB	Canal	<i>backoff</i> B42 3,55 GHz	<i>backoff</i> B43 3,65 GHz	Funcionou?
TESTE07	1,7	AM06	A 3807V	11	11	s
TESTE07D	1,7	AM06	A 3807V	0	13	s
TESTE08	1,7	AM06	B 3931H	0	0	s
TESTE09	1,7	AM06	C 4055V	0	0	s
TESTE10	1,7	AM06	D 4105H	0	0	s
TESTE11	1,7	AM06	E 3854V	7	8	s
TESTE11D	1,7	AM06	E 3854V	0	12	s
TESTE12	1,7	AM06	F 4130H	0	0	s
TESTE13	1,7	AM07	A 3807V	20	20	s
TESTE13D	1,7	AM07	A 3807V	0	35	n
TESTE14	1,7	AM07	B 3931H	9	9	s
TESTE14D	1,7	AM07	B 3931H	0	15	s
TESTE15	1,7	AM07	C 4055V	12	12	s
TESTE15D	1,7	AM07	C 4055V	0	24	s
TESTE16	1,7	AM07	D 4105H	7	7	s
TESTE16D	1,7	AM07	D 4105H	0	12	s
TESTE17	1,7	AM07	E 3854V	22	22	s
TESTE17D	1,7	AM07	E 3854V	0	35	n
TESTE18	1,7	AM07	F 4130H	10	10	s
TESTE18D	1,7	AM07	F 4130H	0	15	s
TESTE19	1,7	AM10	A 3807V	14	15	s
TESTE19D	1,7	AM10	A 3807V	0	35	n
TESTE20	1,7	AM10	B 3931H	13	14	s
TESTE20D	1,7	AM10	B 3931H	0	35	n
TESTE21	1,7	AM10	C 4055V	9	10	s
TESTE21D	1,7	AM10	C 4055V	0	17	s
TESTE22	1,7	AM10	D 4105H	10	11	s
TESTE22D	1,7	AM10	D 4105H	0	23	s
TESTE23	1,7	AM10	E 3854V	16	17	s
TESTE23D	1,7	AM10	E 3854V	0	35	n
TESTE24	1,7	AM10	F 4130H	13	14	s
TESTE24D	1,7	AM10	F 4130H	0	22	s

Tabela 16 – Diferenciais de potência (*backoffs*) entre as gNodeBs B42 e B43, antena 1,5 m.

Teste	Antena	Amostra LNB	Canal	<i>backoff</i> B42 3,55 GHz	<i>backoff</i> B43 3,65 GHz	Funcionou?
TESTE31	1,5	AM06	A 3807V	10	11	s
TESTE31D	1,5	AM06	A 3807V	0	12	s
TESTE32	1,5	AM06	B 3931H	0	0	s
TESTE33	1,5	AM06	C 4055V	0	0	s
TESTE34	1,5	AM06	D 4105H	0	0	s
TESTE35	1,5	AM06	E 3854V	7	8	s
TESTE35D	1,5	AM06	E 3854V	0	9	s
TESTE36	1,5	AM06	F 4130H	0	0	s
TESTE37	1,5	AM07	A 3807V	22	23	s
TESTE37D	1,5	AM07	A 3807V	0	35	n
TESTE38	1,5	AM07	B 3931H	9	10	s
TESTE38D	1,5	AM07	B 3931H	0	35	n
TESTE39	1,5	AM07	C 4055V	15	16	s
TESTE39D	1,5	AM07	C 4055V	0	35	n
TESTE40	1,5	AM07	D 4105H	6	8	s
TESTE40D	1,5	AM07	D 4105H	0	14	s
TESTE41	1,5	AM07	E 3854V	24	25	s
TESTE41D	1,5	AM07	E 3854V	0	35	n
TESTE42	1,5	AM07	F 4130H	10	11	s
TESTE42D	1,5	AM07	F 4130H	0	17	n
TESTE43	1,5	AM10	A 3807V	22	22	s
TESTE43D	1,5	AM10	A 3807V	0	35	n
TESTE44	1,5	AM10	B 3931H	16	16	s
TESTE44D	1,5	AM10	B 3931H	0	35	n
TESTE45	1,5	AM10	C 4055V	19	19	s
TESTE45D	1,5	AM10	C 4055V	0	35	n
TESTE46	1,5	AM10	D 4105H	15	15	s
TESTE46D	1,5	AM10	D 4105H	0	35	n
TESTE47	1,5	AM10	E 3854V	23	23	s
TESTE47D	1,5	AM10	E 3854V	0	35	n
TESTE48	1,5	AM10	F 4130H	12	13	s
TESTE48D	1,5	AM10	F 4130H	0	35	n

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De uma forma geral a antena de 1,7 m apresentou um desempenho melhor que a antena de 1,5 m, considerando principalmente o desempenho das amostras 7 e 10, isso se deve à maior discriminação do sinal desejado propiciados pelas antenas de 1,7 m, o que causa melhora na relação sinal-ruído (SNR).

Para a amostra 6 os canais situados acima da frequência de aproximadamente 3.860 MHz não eram afetados por distorções, mesmo quando as duas gNodeBs eram configuradas em sua máxima potência. Os valores de limiares observados para essas amostras indicam uma situação que não apresentava efeito no desempenho do canal sob avaliação.

Para os canais situados entre 3.800 MHz e 3.860 MHz, na polarização V, a ocorrência de efeitos combinados de intermodulações devidos aos sinais banda larga na entrada e/ou efeitos das emissões fora de faixa da gNodeB B43 provocava uma degradação de desempenho que levava a necessidade de aplicar um *backoff* de cerca de 10 dB, quando o valor de potência das duas portadoras era similar²¹, na potência configurada nas duas gNodeBs. Sob os efeitos de distorções não lineares e efeitos de emissões fora da faixa do transmissor B43 utilizado nos testes será discutido em seção específica neste capítulo. Para a amostra 6, caso fosse feito um desbalanceamento da potência das duas portadoras, configurando a potência máxima na portadora de 3,55 GHz (200 MHz distante do primeiro canal de TV satelital analisado), e colocando a portadora de 3,65 GHz (100 MHz distante do “TVRO”) com nível cerca de 10 a 13 dB de *backoff*, o canal RPC (3.807 MHz) não sofria mais degradação nessas condições.

As amostras 7 e 10 apresentaram diversas situações nas quais o dispositivo apresentava distorções não lineares que afetavam os canais da faixa de TVRO analisada, isto é, entre 3,8 GHz a 4,2 GHz, Essas distorções não lineares ocorriam mesmo quando somente a primeira portadora da gNodeB com portadora em 3,55 GHz/100MHz era configurada em máxima potência, lembrando que essa situação era equivalente a se ter uma faixa de guarda de 200 MHz e afetavam mesmo os canais próximos a 3.950 MHz para a antena de 1,7 m. Para a antena de 1,5 m praticamente todos os canais foram afetados por distorções não lineares nas amostras 7 e 10. Observou-se também, pelos resultados obtidos nos testes complementares que a amostra 7 apresentou uma leve vantagem em termos de desempenho em relação à amostra 10, quando observado o tema de distorções não lineares.

A amostra 6 apresentou o melhor desempenho geral dentre os três protótipos de LNBFs testados, particularmente observa-se que essa amostra apresenta um comportamento que sugere a existência de uma seletividade mais adequada, uma vez que suportou em geral a existência de duas portadoras em sua entrada. Mesmo quando apresentou degradação de desempenho no início da faixa passante (região de aproximadamente 60 MHz a partir de 3.800 MHz na polarização V) isso não impactava os canais de TV acima de 3.860 MHz, pois o dispositivo continuava em operação “linear”. A palavra “linear” está entre aspas, pois a ocorrência das não linearidades no início da faixa e seu efeito na elevação do ruído impacta os canais ali localizados, mas para as outras frequências as não linearidades não eram significativas e portanto não impactaram no desempenho dos canais, isto é, não havia efeito perceptível nos valores de MER/SNR nos canais observados.

²¹ Foi adotado o critério de que as duas portadoras eram consideradas com nível equalizado quando a diferença de potência, observada na antena de controle próximo das antenas parabólicas, era menor do que 1,5 dB.

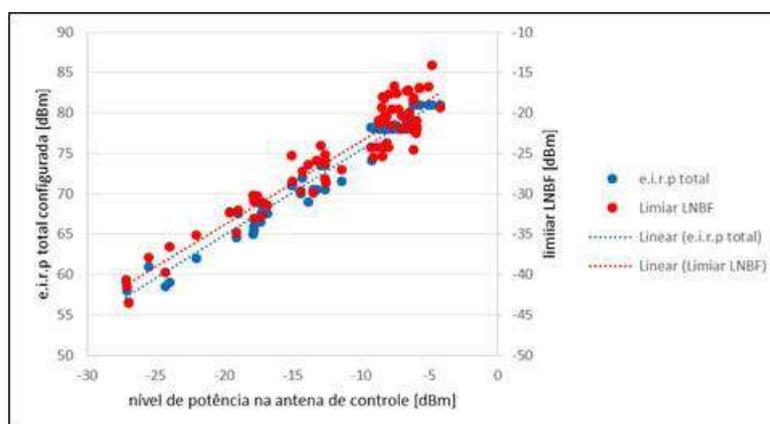
Durante a etapa de pré-testes foram executadas diversas comparações entre a “abertura” de canais de TV satelitais entre um LNBF legado e os protótipos sob teste, em condições sem interferências, observou-se que:

- Na antena de 1,7 m:
 - a) Foi possível abrir todos os canais FTA (*free to air*) testados acima de 3,8 GHz na amostra 6 e no LNBF legado;
 - b) As amostras 7 e 10 apresentaram problemas com:
 - Canal CNT (3974 MHz V, 8 PSK 3/4), sem sinal nas amostras 7 e 10; e,
 - Canal TV Record News (4.052 MHz H, 8 PSK 3/4), sem sinal na amostra 7 e pixelando na amostra 10.
- Na antena de 1,5 m:
 - a) A amostra 6 e o LNBF de apresentaram problemas com o canal Canal CNT (3974 MHz V, 8 PSK 3/4), nos dois dispositivos às vezes pixelava e às vezes nem abria o sinal;
 - b) As amostras 7 e 10 apresentaram problemas com:
 - Canal CNT (3974 MHz V, 8 PSK 3/4), sem sinal nas amostras 7 e 10;
 - Canal TV Record News (4.052 MHz H, 8 PSK 3/4), sem sinal em ambas antenas, e;
 - Canal Rede Família (4056 MHz H, 8 PSK 3/4), pixelando na amostra 10.

Isso demonstra que as amostras 7 e 10 apresentam limitações com relação à sensibilidade quando comparada com a amostra de controle²² e com a amostra 6.

Exibe-se, na Figura 42, gráfico da e.i.r.p. transmitida pelo sistema 5G em função do limiar de potência interferente recebida no LNBF e também na antena de controle, foram considerados os resultados dos testes das três amostras nas duas antenas. Nota-se uma relação de linearidade entre os valores em dBm.

Figura 42 – Dispersão e.i.r.p. transmitida por potência recebida antena de controle e limiar do LNBF.



A figura acima mostra que a potência interferente na região das antenas parabólicas, observada pela antena de controle da Anatel, chegava a valores na ordem de -4 dBm, quando duas portadoras eram

²² LNBF de mercado (legado).

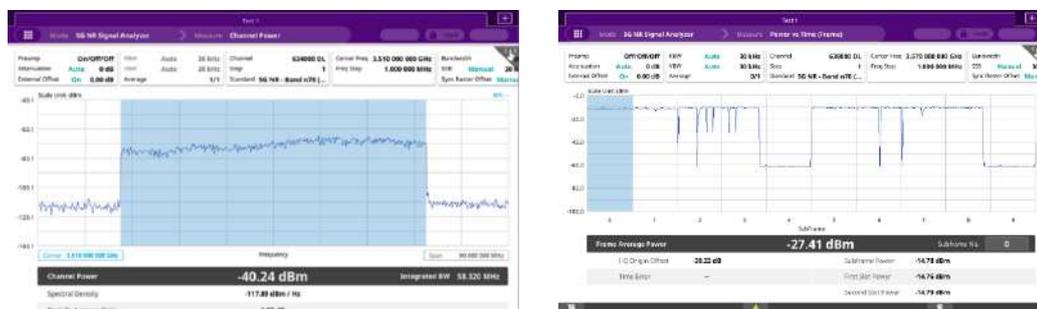
ativadas no 5G, cada uma com sua configuração de e.i.r.p máxima e modo de teste nas gNodeBs B42 e B43, isto é, com as gNodeBs iluminando a região de interesse com um *beamforming* único.

Figura 43 – Detalhe da antena de 1,7 m com LNBF com sonda e antena de controle (R&S HF906).



A Figura 44 mostra, respectivamente, exemplos do formato da densidade espectral de potência do sistema 5G recebida e seu sinal no domínio do tempo com 100% de carga, com um único *beamforming* apontado para as antenas de 1,5 m e 1,7 m.

Figura 44 – Densidade espectral de potência e sinal no domínio do tempo para situação de 100% de carga no 5G.

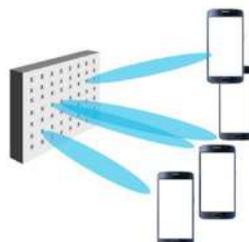


Domínio da frequência

Domínio do tempo

Não ocorre a segmentação dos *beamforming* conforme ilustrado na Figura 45. Ao se dividir o *beam* a e.i.r.p. total será dividida diminuindo a potência total em uma direção específica.

Figura 45 – Multiplexação dos *beams* entre diferentes usuários²³.



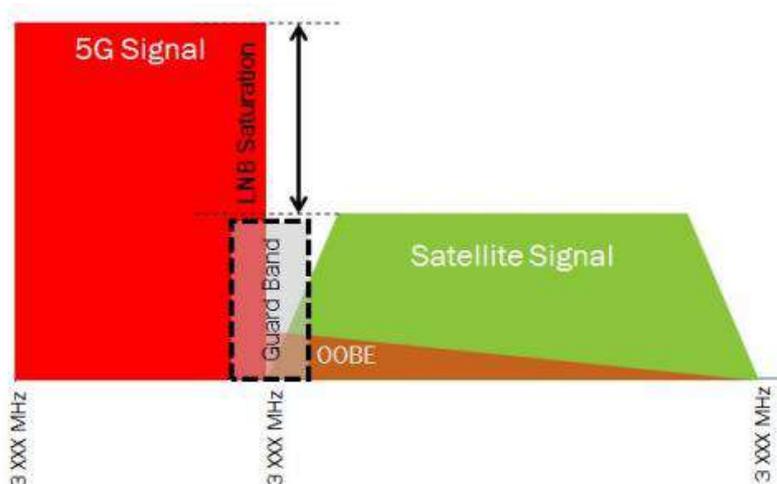
²³ Figura de <https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-2467EN.pdf?id=2943270>.

4.1 Avaliação dos impactos das emissões indesejáveis da gNodeB B43 e das distorções não lineares nos LNBFs testados

Os principais mecanismos de interferência terrestre dos sinais IMT-2020 nos sistemas satelitais são²⁴:

- 1) Saturação do LNB ou do LNBF, mesmo que o sinal 5G seja adjacente ao sinal de satélite;
- 2) Emissões fora de faixa (OOBE) do 5G podem causar interferência na faixa para sistemas satelitais;

Figura 46 – Banda de guarda entre IMT-2020 (5G) e Sistema Satelital (residencial ou profissional).



Procurou-se nos testes de campo observar o comportamento dos dispositivos testados com relação aos dois efeitos citados, **considerando a faixa de guarda de 100 MHz já existente**, conforme Figura 46, com a faixa do IMT finalizando em 3,7 GHz e a frequência de corte do dispositivo LNBF a partir de 3,8 GHz. Em particular, com relação aos possíveis efeitos das emissões fora de faixa da gNodeB com *hardware* com faixa de operação compatível com B43 (frequência disponível de 3,6 a 3,8 GHz, porém com portadora configurada entre 3,6 a 3,7 GHz). Devemos observar que o uso de um *hardware* com filtro que vai até 3,8 GHz foi uma limitação operacional.

A principal premissa empregada nos dispositivos LNBF de nova geração, para os sistemas TVRO, é o uso de uma faixa de guarda de 100 MHz de forma a endereçar a questão de proteção contra emissões indesejáveis do IMT e saturação no LNBF.

Conforme observado no teste, utilizando-se a gNodeB B43 vimos que as emissões indesejáveis tiveram um impacto observado nos primeiros 60 MHz de operação do TVRO.

Quando foi feito o teste com as duas portadoras (B42+B43 ou B42+N78) foi identificada ocorrência produto de intermodulação que impactava nos canais da faixa de 3.800 a 3.860 MHz. É esperado que se existesse uma faixa de guarda abaixo de 3.700 MHz, ou seja, o final da faixa de operação do IMT fosse inferior a 3.700 MHz, isso refletiria em uma diminuição do produto de intermodulação tanto em amplitude como nessa largura de faixa de 60 MHz observada.

²⁴ https://sei.anatel.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?eEP-wqk1skrd8hSlk5Z3rN4EVg9uLJqrLYjw_9INcO4CpsDcBmRN_qBqjrhHWw-L1LbR1FZJkrzNVpGHPZR5EOhOw0zo0-svsKJYb42pjGX8QdbSHlyZGQ5udF9nX6T

Iniciando com algumas análises dos resultados da amostra 6, percebeu-se durante os pré-testes que com o sistema B43 ligado (com máxima potência) ocorria uma elevação do piso de ruído na faixa inicial do LNBF.

A Figura 47 e a Figura 48 ilustram, respectivamente, um intervalo de espectro próximo a 3,8 GHz sem gNodeB ligada, isto é, sem interferência, e com somente a gNodeB B43 com máxima potência configurada.

Figura 47 - Exemplo do espectro em Banda L, região de 3,8 GHz sem nenhuma gNodeB ligada.



Figura 48 - Exemplo do espectro em Banda L, região de 3,8 GHz, com gNodeB B43 ligada com portadora em 3,65 GHz e BW = 100 MHz configurada com máxima potência do sistema.



Claramente ocorre uma elevação o piso de ruído nas proximidades do canal de teste RPC (freq. 3807 MHz), elevação que, comparativamente a outros canais de teste, provocava uma degradação do desempenho.

A elevação do piso de ruído na faixa de frequência observada nas proximidades de 3,8 GHz sugeria a ocorrência de 2 fenômenos, que procurou-se investigar:

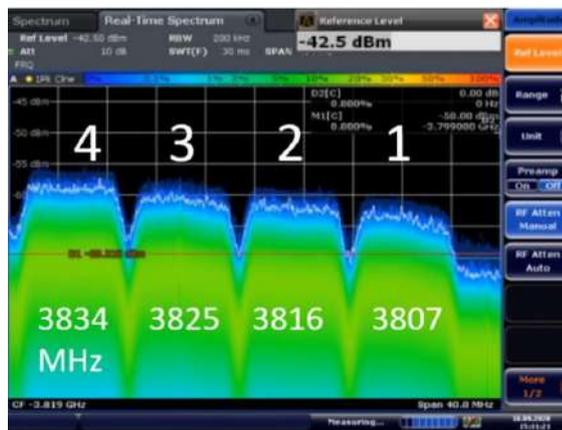
- 1) Efeito das emissões fora da faixa da gNode B B43; e,
- 2) Efeito de não linearidades na resposta do LNBF sob teste,

Nos pré-testes da amostra 6, observou-se os seguintes limiares de funcionamento para os canais digitais conforme descrito na Tabela 17 e na Figura 49.

Tabela 17 – Valor máximo de e.i.r.p configurado na gNodeB B43 para que os canais iniciais da faixa continuassem em operação.

Canal Digital de Satélite (polarização V – antena de 1.7 m)	Backoff na Max config de e.i.r.p da gNodeB B43
1) Pacote RPC Curitiba / PR - 3807 MHz – 8PSK 2/3 SR 7500	7 dB /BW=100MHz
2) Pacote TV Morena / MS - 3816 MHz – 8PSK 2/3 SR 7500	2 dB /BW=100MHz
3) Pacote TV Centro América / MT - 3825 MHz – 8PSK 2/3 SR 7500	1 dB /BW=100MHz
4) Rede Bahia HD - 3834 MHz – 8PSK 2/3 SR 7500	1 dB/BW=100MHz
Canais acima de aprox.. 3860 MHz	0 dB/BW=100MHz ²⁵
Canção Nova HD - 4055 – 8PSK 3/4 SR 5833	

Figura 49 - Exemplo do espectro em Banda L, região de 3,8 GHz, observação dos canais digitais no início da faixa do TVRO.

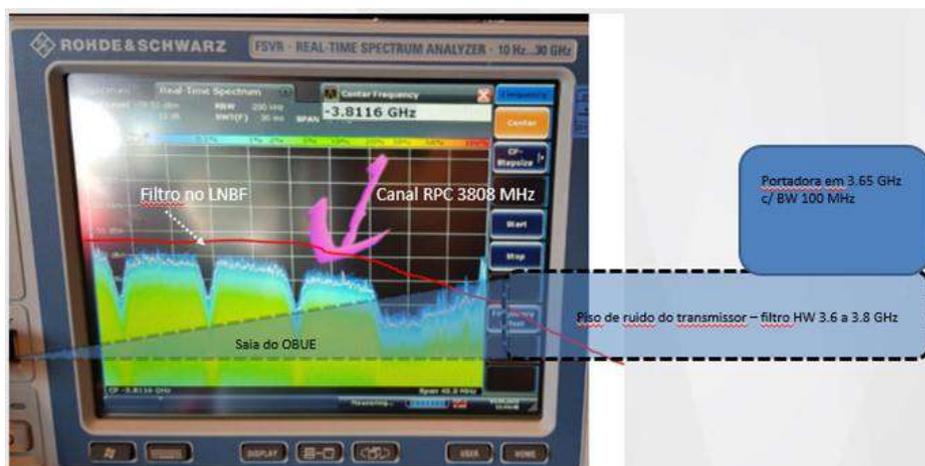


O comportamento observado apresenta diferença de desempenho no início da faixa com maior impacto no canal RPC. O desempenho dos canais nessa região pode ser melhorado de várias maneiras, mas o princípio básico é a melhoria da SNR. Com isso ações de aumento do nível de sinal como: diminuição da atenuação da faixa inicial do LNBF, outra forma seria o posicionamento de canais mais robustos no início da faixa (QPSK), além de aumento do e.i.r.p do satélite, entre outras ações de melhoria no nível do sinal. Para o lado de melhorias no ruído, uma forma seria: atuar no LNBF para otimizar seu desempenho frente as distorções não lineares, etc. Além disso pode ser feito backoff no nível de sinal posicionado na faixa de 3.600 a 3.700 MHz. Por fim, também uma combinação de todas elas podem ser aplicadas para obter uma otimização de desempenho. A hipótese inicial era que o efeito observado nos canais acima era devido às emissões fora da faixa provenientes da gNodeB B43, conforme ilustrado na

²⁵ Maior valor de e.i.r.p possível de configurar em uma GnodeB é 78 dBm/100MHz, valor total compreendendo as 2 polarizações.

Figura 50.

Figura 50 – Hipótese do impacto devido às emissões fora da faixa da gNodeB B43 na região inicial da faixa do TVRO.



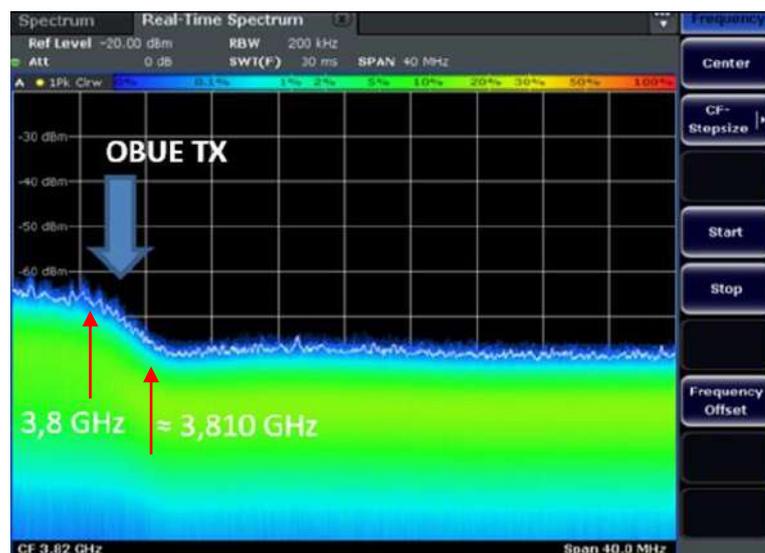
Para avaliar os sinais de emissões da gNodeB foi montado um *setup* para avaliação direta em RF. O *setup* consistia em cabos, filtro de MW com faixa passante de 3,7 a 4,2 GHz, analisador de espectro e antena corneta HF906 da R&S. A Figura 51 ilustra o posicionamento da van para uma região que permitisse a maximização do range dinâmico de medição do instrumento. Para os testes a gNodeB foi configurada com portadora centrada em 3,65 GHz com largura de faixa de 100MHz.

Figura 51 – *Setup* de medida de emissões fora da faixa da gNodeB B43.



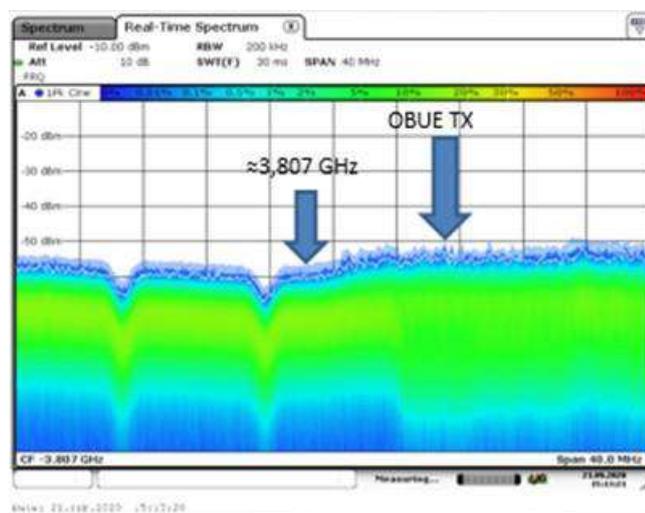
A Figura 52, feita diretamente em RF, mostra o fim da faixa de emissões da gNodeB B43.

Figura 52 – Medida em RF das emissões fora da faixa da gNodeB B43.



A medida abaixo feita em banda L, na saída do LNBF, mostra a sobreposição dessas emissões fora da faixa com o início da faixa do TVRO (3,8 GHz).

Figura 53 – Medida em banda L das emissões fora da faixa da gNodeB B43.



De modo a permitir uma visualização mais ampla do piso de ruído do transmissor da gNodeB B43, na Figura 54 a largura de faixa foi reduzida de 100 MHz para 60 MHz para melhorar a faixa dinâmica da medida.

Figura 54 – Medida em RF das emissões fora da faixa da gNodeB B43, portadora centrada em 3,65 GHz/60 MHz.



A Figura 55 mostra a região de transição de emissões fora de faixa, logo após 3,8 GHz. Conforme pode ser verificado até aproximadamente 3,817 GHz tem-se um sinal acima do piso de ruído do instrumento. Entre 3,817 GHz e 3,845 GHz o nível é ligeiramente maior do que o do piso do instrumento, tornando-se desprezível em algum valor entre esses dois extremos.

Figura 55 – Medida em RF das emissões fora da faixa da gNodeB B43, portadora centrada em 3,65 GHz/100 MHz.



De posse desses dados pode-se concluir que com a presença de somente uma portadora em 3,65 GHz com largura de faixa de 100 MHz o impacto observado no desempenho do canal RPC se devia principalmente ao efeito das emissões fora de faixa da gNodeB B43, o que em tese não deveria existir quando se define o final da faixa de IMT em 3,7 GHz.

Foram também usadas as seguintes combinações²⁶ para os testes:

²⁶ Para a amostra 6 foi utilizado dos dois casos de testes, enquanto que para as amostras 7 e 10 somente o caso de teste 1.

Caso de teste 1) gNodeB B43 (filtro HW de 3,6 a 3,8 GHz) para a portadora de 3,65 GHz/100 MHz mais a gNodeB B42 (filtro HW de 3,4 a 3,6 GHz) para a portadora de 3,55 GHz/100 MHz; e,

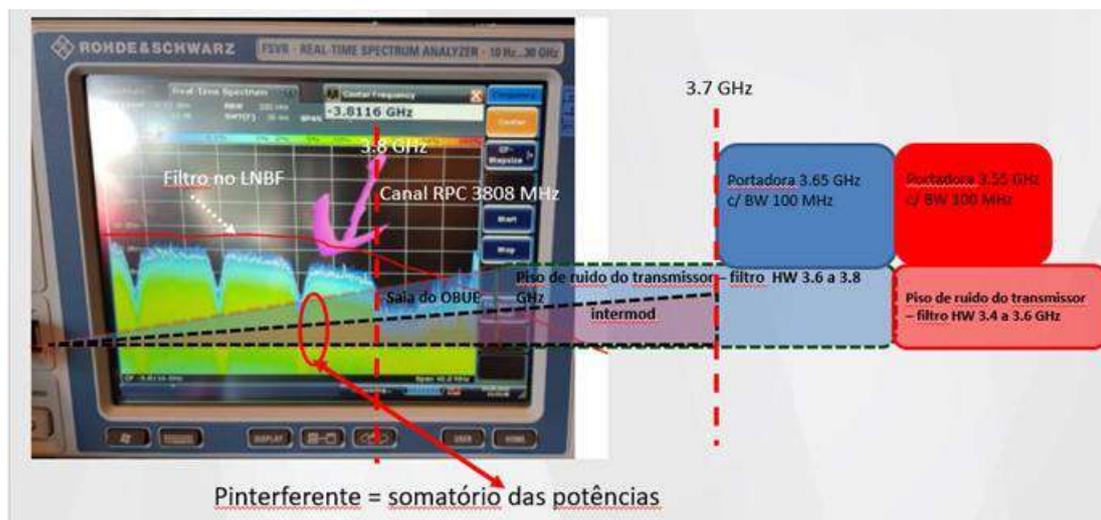
Caso de teste 2) gNodeB N78 (filtro HW de 3,41 a 3,7 GHz) para a portadora de 3,65 GHz/100 MHz mais a gNodeB B42 (filtro HW de 3,4 a 3,6 GHz) para a portadora de 3,55 GHz/100 MHz.

Durante a realização desses testes e fazendo verificações individuais percebeu-se comportamento não linear em algumas situações.

Para a amostra 6, o limiar de funcionamento do canal RPC com somente a gNodeB B43 ligada era atendido operando com valor de *backoff* de 7 a 8 dB. Com somente a gNodeB B42 o limiar de funcionamento do canal RPC foi igual a se aplicar um *backoff* de 0 dB, isto é, foi possível configurar a gNodeB com sua máxima potência. Realizando, porém, o caso de teste 1, isto é, com as duas gNodeBs ao mesmo tempo, foi também necessário fazer um *backoff*. Pondo novamente em pauta então a ocorrência dos dois fenômenos ao mesmo tempo:

- 1) Emissões fora de faixa da gNodeB B43; e,
- 2) Não linearidades que ocorrem devido ao batimento das duas portadoras de faixa larga nos circuitos ativos do LNBF (3,65 GHz e 3,55 GHz, ambas com 100 MHz de largura de faixa).

Figura 56 – Hipótese do impacto devido à conjunção dos dois fenômenos na região inicial da faixa do TVRO: emissões fora da faixa da gNodeB B43 e não linearidades na faixa inicial do LNBF.

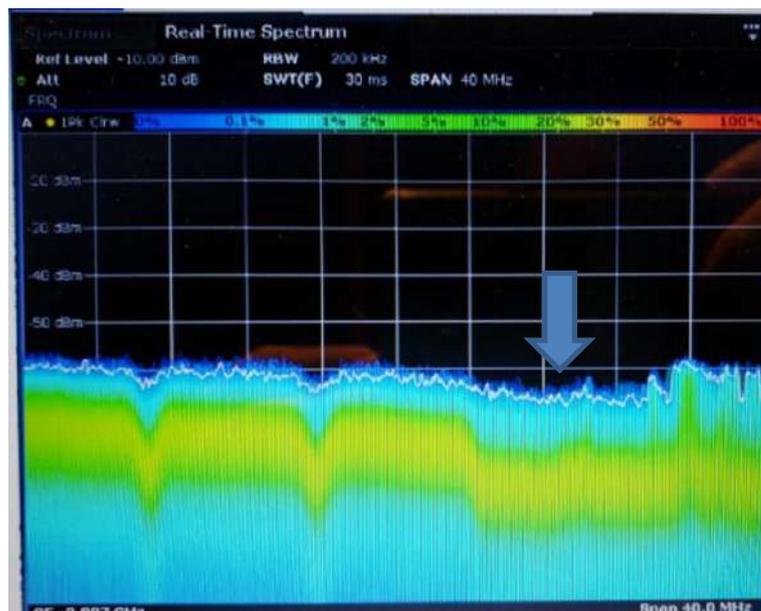


A coleta de dados evidenciou que tanto no caso de teste 1) como no caso de teste 2) foi necessário fazer um *backoff* na e.i.r.p configurada nas gNodeBs. Evidenciando a existência de não linearidades que afetam os primeiros 60 MHz²⁷ próximos a 3,8 GHz, para amostra 6.

Realizando verificações adicionais durante o pré-teste para o caso de teste 2) observou-se que na banda L com as duas gNodeBs operando em máxima e.i.r.p configurada, ocorria uma subida do piso de ruído no início da faixa, conforme ilustrado na Figura 57.

²⁷ Faixa de frequência que foi observado impacto durante os testes de campo.

Figura 57 – Medida em banda L com gNodeB N78 (filtro HW de 3,41 GHz a 3,7 GHz) para a portadora de 3,65 GHz mais a gNodeB B42 para a portadora de 3,55 GHz.



A Figura 58, mostra a região nas proximidades do canal RPC, notar que com somente a gNodeB N78 (filtro HW de 3,41 GHz a 3,7 GHz) configurado com a máxima e.i.r.p, portadora de 3,65 GHz e largura de faixa de 100 MHz não se observava nenhuma elevação do piso de ruído. Notar que o piso de ruído é igual ao caso com os sistemas interferentes desligados, vide Figura 59.

Figura 58 – Medida em banda L com somente a gNodeB N78 (filtro HW de 3,41 GHz a 3,7 GHz) com portadora de 3,65 GHz/100 MHz.

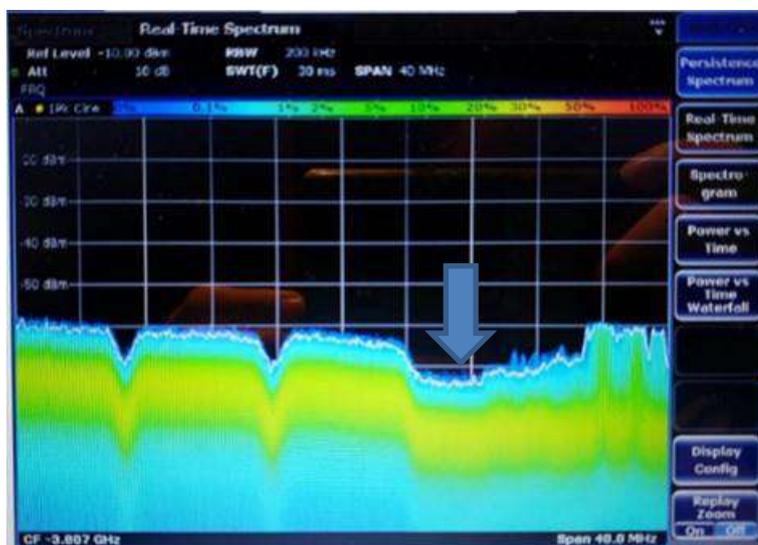
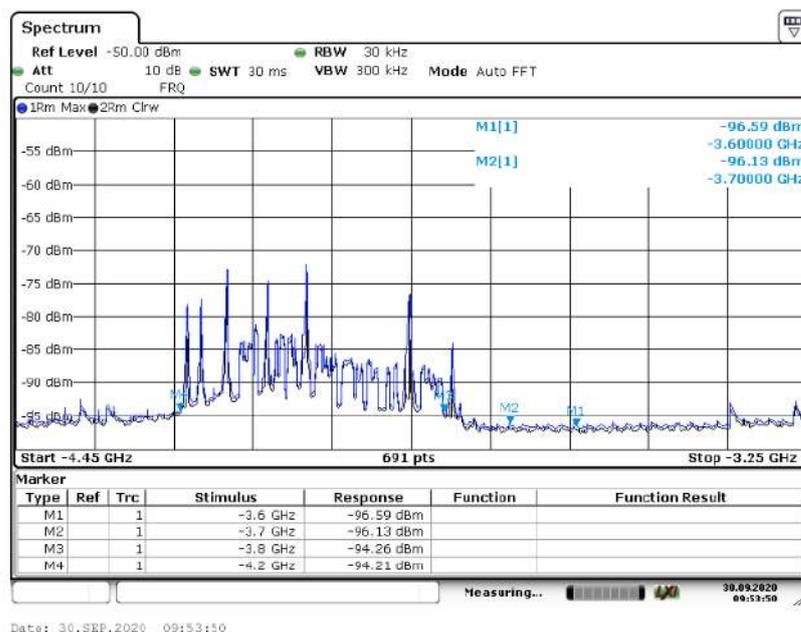


Figura 60 – Amostra 10, medida em banda L sem interferência ativa.



A Figura 61 ilustra a saturação da amostra 10, polarização V^{29} , quando foi configurada somente a gNodeB B43 com uma portadora 3,65 GHz/100 MHz e e.i.r.p max (*backoff* de 0 dB). Nessa situação nenhum canal é decodificado.

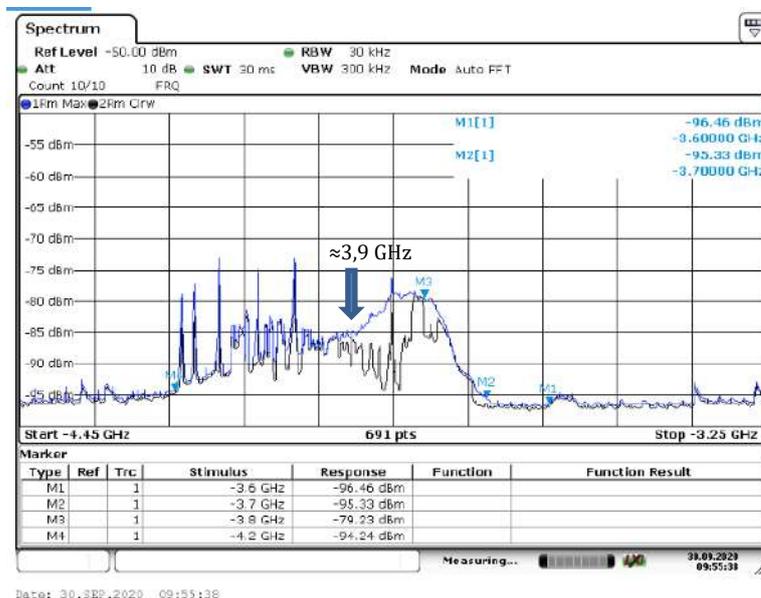
Figura 61 – Amostra 10, medida em banda L gNodeB B43 somente portadora 3,65 GHz/100 MHz e *backoff* de 0 dB.



²⁹ Observado como a situação de pior caso durante o teste.

A Figura 62 ilustra intermodulação da amostra 10, polarização V, quando foi configurada somente a gNodeB B42 com uma portadora 3,55 GHz/100 MHz e *backoff* de 0 dB.

Figura 62 – Amostra 10, medida em banda L gNodeB B42 portadora 3,55 GHz/100 MHz e *backoff* de 0 dB.



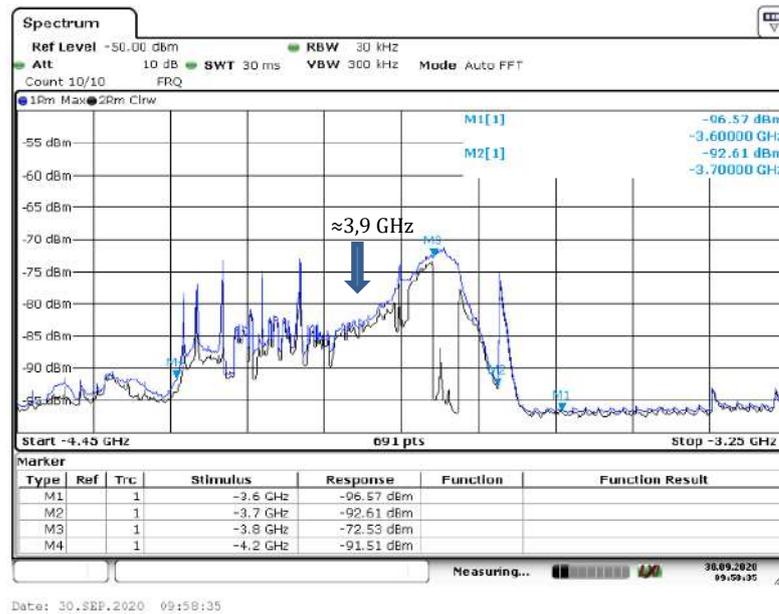
A Figura 63 ilustra intermodulação da amostra 10, polarização V, quando foi configurada duas portadoras: gNodeB B43 com uma portadora 3,65 GHz/100 MHz e a gNodeB B42 com uma portadora 3,55 GHz/100 MHz, ambas configuradas com *backoff* de 10 dB.

Figura 63 – Amostra 10, medida em banda L gNodeB HW B43 e B42 portadoras 3,65 GHz e 3,55 GHz, ambas com BW de 100 MHz e *backoff* de 10 dB.



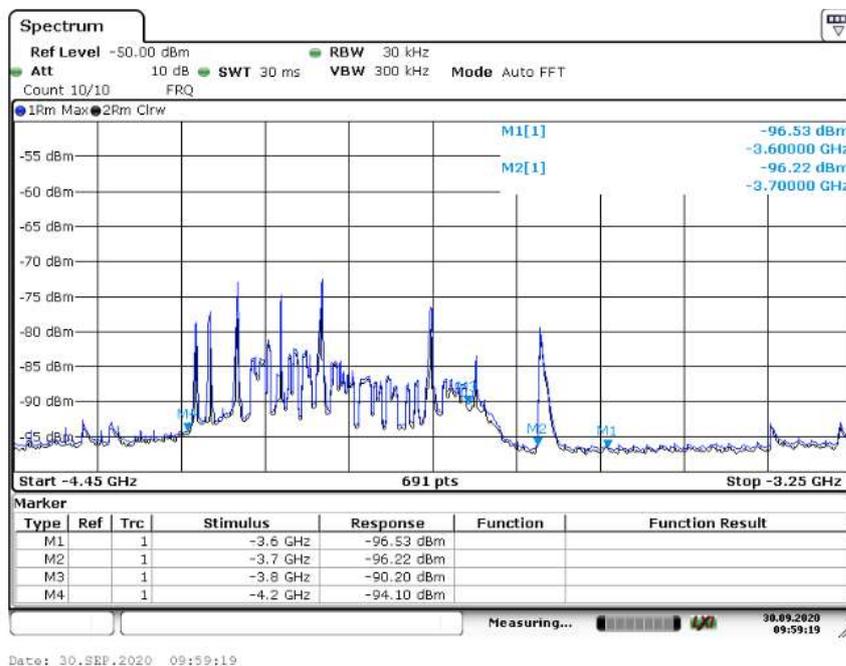
A Figura 64 ilustra intermodulação da amostra 10 quando foi configurada duas portadoras: gNodeB B43 com uma portadora 3,65 GHz/100 MHz e a gNodeB B42 com uma portadora 3,55 GHz/100 MHz, ambas configuradas com *backoff* de 15 dB.

Figura 64 – Amostra 10, medida em banda L gNodeB HW B43 e B42 portadoras 3,65 GHz e 3,55 GHz, ambas com BW de 100 MHz e *backoff* de 15 dB.



A Figura 65 ilustra intermodulação da amostra 10, polarização V, quando foi configurada duas portadoras: gNodeB B43 com uma portadora 3,65 GHz/100 MHz e a gNodeB B42 com uma portadora 3,55GHz/100 MHz, ambas configuradas com *backoff* de 20 dB. Nesta situação passamos a ter comportamento mais linear em toda faixa do LNBF.

Figura 65 – Amostra 10, medida em banda L gNodeB HW B43 e B42 portadoras 3,65GHz e 3,55 GHz, ambas com BW de 100 MHz e e.i.r.p max 58 dBm.



Como os resultados das amostras 7 e 10 são muito próximos em termos de comportamento, é suficiente mostrar somente uma delas apenas para a descrição dos fenômenos observados.

Com isso cabe ressaltar que os resultados dos limiares de funcionamento dos dispositivos sob teste têm que ser avaliados sob a ótica dos fenômenos de não linearidades presentes na faixa passante. Isso então demonstra a grande diferença de proteção observada na amostra 6 em relação às amostras 7 e 10. Dos resultados acima percebe-se uma diferença de aproximadamente 10 dB de nível de tolerância entre as amostras 6 e 7/10 para os canais situados no início da faixa. O Apêndice C ilustra um teste feito com o gerador de sinais de 5G, no qual foram gerados sinais interferentes com faixas de 200 MHz e 300 MHz e novamente demonstraram o melhor desempenho da amostra 6 frente a amostra 7 e 10.

5 CONCLUSÃO

Considerando o escopo apresentado na seção 1.2, a partir dos resultados do presente testes de campo foi possível constatar que:

- Foram testados **apenas** LNBFs do tipo monoponto³⁰;
- Foram usadas antenas parabólicas exclusivamente receptoras de 1,5 m e 1,7 m de diâmetro, ambas de tela;
- Foram testadas em campo 3 amostras (6, 7 e 10) de LNBFs de dois fabricantes distintos, de um universo de 10 amostras verificadas *a priori* em laboratório pelo CPqD;
- Destes, **apenas** a amostra 6 atendeu os requisitos pré-definidos;
- Não foi observada saturação na amostra 6. Os testes indicaram que os canais de TV operando na porção inicial da faixa definida para operação da TVRO são atenuados como consequência da resposta em frequência do *feeder* do LNBF, mais estreito em relação aos demais. Essa atenuação diminui a potência recebida de alguns canais de TVRO e, conseqüentemente, a relação sinal-ruído, diminuindo a robustez e, assim, causando uma maior sensibilidade destes à interferência externa quando comparados com os canais localizados acima de 3.860 MHz;
- Foi observado que a amostra 6 foi capaz de rejeitar a interferência através de filtragem do sinal na faixa adjacente testada sem a necessidade de redução na potência recebida do IMT para canais de TVRO acima de 3.860 MHz. Conseqüentemente, aumentar a faixa de guarda ou afastamento em frequência do sinal interferente, melhora a imunidade da recepção com a amostra 6;
- Foi observada saturação em algumas situações das amostras 7 e 10, os testes indicaram problemas de intermodulação que afetam de forma mais contundente a faixa de passagem do TVRO. A seletividade dessas amostras é menor e o problema de invasão ocorre em uma faixa maior do LNBF;
- Foi observado que as amostras 7 e 10 apresentaram problemas para receber corretamente alguns canais mesmo sem a presença do sinal 5G, seja na antena de 1,7 m ou na antena de 1,5 m. Indicando que tais amostras tem uma sensibilidade inferior quando comparadas com a amostra 6 ou com a amostra de mercado (legado). Conseqüentemente, aumentar a faixa de guarda ou afastamento em frequência do sinal interferente, não melhora a imunidade da recepção com as amostras 7 e 10;
- No LNBF o filtro em banda L é fundamental para evitar a saturação ou distorção do receptor, minimizando o resíduo do sinal interferente em sua entrada. As amostras 7 e 10 apresentam filtragem em banda L menos eficiente que a amostra 6, pois apresentam resíduos maiores;
- A amostra 6 teve um desempenho muito superior às demais amostras enviadas, na ordem de 10 dB no limiar de interferência para a faixa inicial do TVRO e até mais nas frequências acima de 3.860 MHz; e,
- A montagem correta do LNBF, usando o disco escalar do próprio fabricante e o cuidado com o correto posicionamento do dispositivo em termos do F/D da antena é algo importante a ser respeitado.

³⁰ LNBF do tipo monoponto permite a conexão e controle de canais por somente um decodificador/TV, enquanto que o LNBF do tipo multiponto permite a interconexão de diversos decodificadores/TVs ao mesmo tempo.

Foram avaliados em campo, 3 modelos de “LNBF nova geração” de melhor desempenho dentre modelos pré-selecionados por testes laboratoriais e de emulação de campo feitos pelo CPqD entre julho e agosto de 2020, com o objetivo de verificar o atendimento aos requisitos da Anatel.

A amostra 6 apresentou o melhor desempenho geral dentre os 3 dispositivos testados, observa-se que essa amostra apresenta um comportamento que sugere a existência de uma seletividade mais adequada, considerando que suportou sinal interferente IMT com duas portadoras: 3,55 GHz/100 MHz e 3,65 GHz/100 MHz com *beamforming* apontando para as antenas parabólicas. Mesmo quando apresentou degradação de desempenho no início da faixa passante não foi identificado impacto nos canais de TV acima de 3.860 MHz, tendo sido verificado que o dispositivo continuava apresentando uma resposta linear.

Cabe ressaltar ainda que, apesar de ser possível observar distorções não lineares e atenuação no início da faixa como consequência da resposta em frequência do *feeder* do LNBF, que causam certa redução da relação sinal-ruído dos canais TVRO operando na faixa de 3.800 a 3.860 MHz, a amostra 6 continua atendendo o requisito de potência interferente e os canais nessa faixa continuam a serem recebidos.

As amostras 7 e 10 apresentaram em diversas situações distorções não lineares que afetavam os canais recebidos no início da faixa de TVRO (entre 3,8 GHz a 4,2 GHz). Estas distorções não lineares ocorriam mesmo quando se utilizava apenas a portadora 3,55 GHz/100 MHz, isto é, um sinal interferente afastado de 200 MHz, por exemplo, afetando canais próximos a 3.950 MHz para a antena de 1,7 m. Situação mais crítica ocorreu para a antena de 1,5m, onde praticamente todos os canais foram afetados por distorções não lineares. Comenta-se pelos resultados obtidos nos testes que a amostra 7 apresentou uma leve vantagem em termos de desempenho em relação à amostra 10, considerando as distorções não lineares.

Para as amostras 7 e 10 os impactos observados pela intermodulação tem maior extensão quando comparado com a amostra 6. O que indica que para as amostras 7 e 10 a seletividade e proteção na entrada do LNBF é inferior quando comparada com a amostra 6.

A amostra 6, melhor modelo de LNBF testado, suportou em média aproximadamente -28 dBm em sua entrada antes da degradação do sinal de TV no início da faixa (canal RPC 3.807 MHz), quando o sistema 5G operava com potência e.i.r.p. na ordem de 67 dBm por polarização³¹, e níveis de aproximadamente -18 dBm para canais acima de 3.860 MHz, quando o sistema 5G operava com potência e.i.r.p. na ordem de 78 dBm por polarização³². A distância de teste era aproximadamente 68 metros e os canais satelitais operavam com modulação 8-PSK.

A Tabela 18 apresenta, para a amostra 6, a média das potências equivalentes médias recebidas na frente do LNBF.

Observou-se que, para um caso de teste na amostra 6 com a antena de 1,7 m e sinais interferentes gerados pelas gNodeBs B42 e N78, o limiar de recepção da amostra 6 chegou a -32 dBm. O nível médio do sinal interferente foi equalizado entre as duas portadoras interferentes, mas no caso do modo de teste da gNodeB N78 a intensidade de sinal variava³³ de tal forma que o valor de pico era

³¹ Valor soma das 2 portadoras.

³² Valor soma das 2 portadoras.

³³ Quando se definiu os pré-requisitos, em especial o P1dB(entrada), se considerou que a amplitude do sinal interferente era constante. Esse comportamento foi identificado no gerador vetorial (emulador de sinal 5G), ver Apêndice C, mas no gNodeB N78 a amplitude era variante no tempo, mantendo um valor médio constante. Deve-se ponderar que quando um dispositivo apresenta resposta não-linear, esta cresce de forma mais veloz do que o sinal de entrada.

significativamente maior que o valor médio (vide apêndice G), alterando a relação de distorções não lineares nas condições de teste, o que causou a alteração no nível observado. Avalia-se que isso não é um problema, uma vez que em várias outras situações o dispositivo teve um desempenho consistente, e se confirmou esse desempenho em situação de teste com 2 e 3 portadoras interferentes, conforme pode ser visto no Apêndice C.

Tabela 18 – Limiares médios³⁴ de funcionamento a amostr 6³⁵ sob interferência de um sinal 5G com duas portadoras de 100 MHz e com 100% de carga.

<i>Canal de teste</i>	Média das potências recebidas [dBm]	Erro Padrão [dB]	IC 95% (±) [dB]
A 3807V RPC HD	-27,8	1,27	2,99
B 3931H TV Câmara SD	-17,2	1,69	3,98
C 4055V Canção Nova HD	-18,4	1,13	2,66
D 4105H TV Pai Eterno HD	-18,4	1,10	2,59
E 3854V Record Analógico	-26,1	1,21	2,85
F 4130H TV Senado Analógico	-18,7	1,22	2,87

Poderia ser avaliado as seguintes ações de melhoria da relação sinal-ruído para a amostra 6:

- Diminuição da atenuação da faixa inicial do LNBF; e
- Atuar no projeto para otimizar seu desempenho frente às distorções não lineares.

Adicionalmente, poderiam ser tomadas, individualmente ou em conjunto, ações de cunho mais global como:

- Posicionamento de canais mais robustos no início da faixa (como, por exemplo, QPSK);
- Usufruir do aumento da e.i.r.p do satélite na posição 70° W;
- Aumentar a faixa de guarda entre o início do TVRO e o fim da faixa para 5G; e,
- Utilizar menor nível de potência e.i.r.p. em relação ao máximo (*backoff*) na direção da TVRO para as subportadoras situadas nas porções finais da faixa para 5G.

De forma geral, a utilização da amostra 6, por si só seria suficiente para a mitigar a maioria das situações de interferência, porém a aplicação de uma combinação das ações acima mencionadas poderiam contribuir de forma mais eficaz para se obter uma otimização de desempenho em situações mais adversas. Além disso, é importante observar o disposto no Apêndice D.

Cabe ressaltar que apesar de a amostra 6 ter atendido aos requisitos definidos critério para convivência com o 5G operando na faixa de 3,5 GHz, ainda assim, podem existir situações extremas, tal como apresentado no Apêndice F, em que ela não é suficiente para eliminar uma situação de interferência.

³⁴ Foram considerados os testes nas duas antenas e com os dois casos de teste, onde as duas portadoras interferentes tinham mesmo valor médio de potência.

³⁵ A mesma análise não foi realizada para as amostras 7 e 10 pois os problemas de intermodulação eram críticos e não a justificavam.

APÊNDICE A – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS DADOS DE MEDIÇÕES

Tomando-se os dados de medidas de campo com os sistemas 5G, é possível construir um modelo estatístico linear que se pode descrever pela Equação 1.

Equação 1

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i.$$

Neste caso, a variável Y será a e.i.r.p. em dBm no limiar de recepção do sistema TVRO enquanto que as variáveis X_i serão:

- X_1 – Antena – Variável do tipo fator que identifica a antena no sistema TVRO.
- X_2 – LNBF – Variável do tipo fator que identifica o LNBF utilizado no sistema TVRO.
- X_3 – Decodificador – Variável do tipo fator que identifica o decodificador utilizado na recepção do sistema TVRO.
- X_4 – Canal – Variável do tipo fator que identifica o canal do sistema TVRO.
- X_5 – Tipo do Interferente – Variável do tipo fator que identifica a configuração do sistema IMT interferente.

Exibem-se os coeficientes obtidos com a regressão na Tabela 19.

Tabela 19 – Coeficientes de regressão do modelo linear de e.i.r.p. com dados dos ensaios de campo com sistemas 5G.³⁶

	Estimativa	Erro Padrão	Valor t	Pr(> t)
(Intercepto)	70,691	1,539	45,940	<2e-16 ***
X_1 – Antena de 1.7 m	2,423	1,053	2,300	0,025342 *
X_2 – LNBF 3 (Amostra 7)	-10,248	1,484	-6,904	5,91e-09 ***
X_2 – LNBF 4 (Amostra 10)	-12,142	1,525	-7,964	1,13e-10 ***
X_3 – Decod. Anadig.	8,133	1,809	4,495	3,72e-05 ***
X_4 – Canal B	7,208	1,855	3,886	0,000281 ***
X_4 – Canal C	7,174	1,809	3,965	0,000217 ***
X_4 – Canal D	9,465	1,771	5,344	1,87e-06 ***
X_4 – Canal E	-8,006	1,809	-4,425	4,72e-05 ***
X_4 – Canal F	NA	NA	NA	NA
X_5 – Tipo HW_HW	2,129	1,473	1,445	0,154328

³⁶ Códigos de significância: 0 ‘***’ 0,001 ‘**’ 0,01 ‘*’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘.’ 1.

Destaca-se, da Tabela 19, que, em média, o valor da e.i.r.p. em dBm da Amostra 7 é -10,248 vezes aquele da Amostra 6. De forma análoga, em média, o valor da e.i.r.p. em dBm da Amostra 10 é -12,142 vezes o valor da Amostra 6.

Os valores NA referentes ao Canal F dizem respeito a um problema de colinearidade do experimento.

Ademais, $R^2 = 0,6384$. A análise gráfica indica resíduos normais.

APÊNDICE B – GABARITOS FEITOS PARA PADRONIZAÇÃO DE MONTAGEM DOS DISPOSITIVOS

A equipe técnica da Anatel desenvolveu gabaritos para facilitar a montagem, ajuste e posicionamento do disco escalar para fixação da sonda no iluminador duplo.

As figuras abaixo ilustram alguns destes dispositivos.

Figura 66 – Exemplo do projeto do kit de fixação.

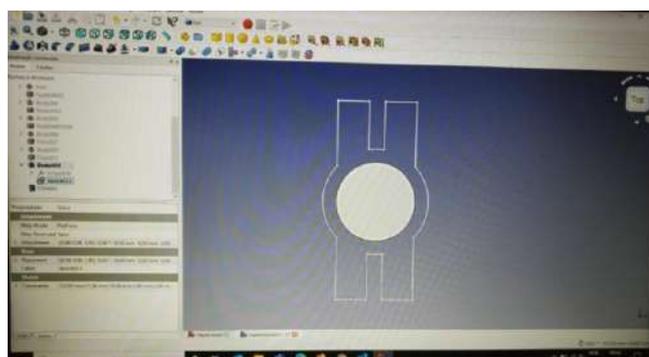


Figura 67 – Exemplo da construção das peças na impressora 3D.

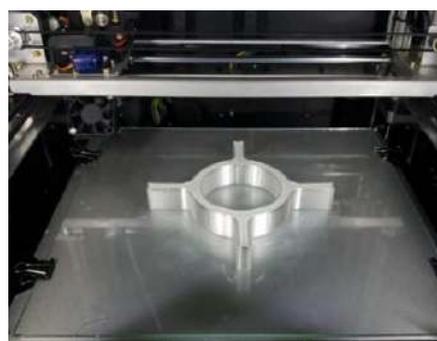
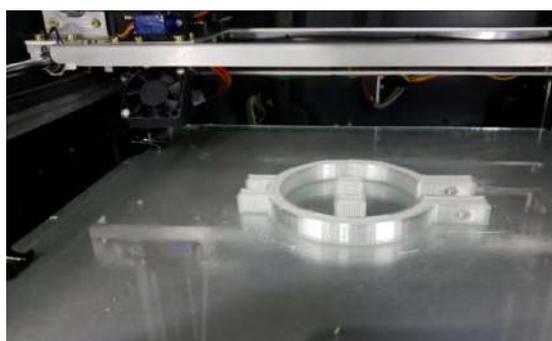


Figura 68 – Exemplo de uso dos dispositivos.



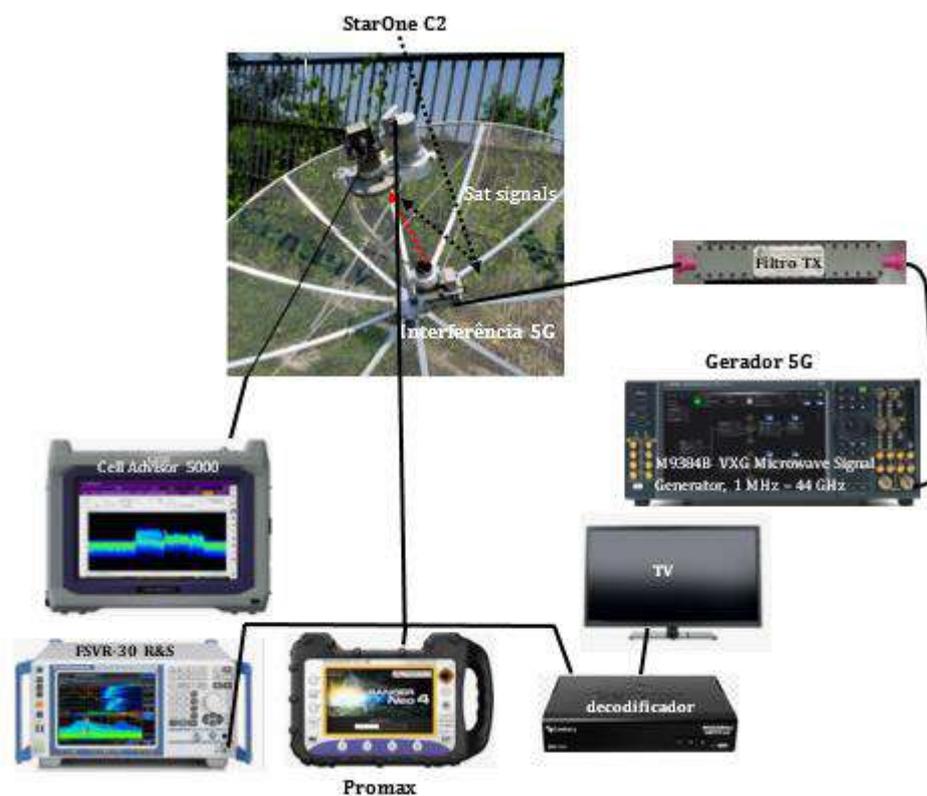
APÊNDICE C – *SETUP* DE TESTE DE EMULAÇÃO DE CAMPO

Após o período de coleta de dados do teste de campo foram feitos testes complementares³⁷ para avaliação de resultados utilizando um *setup* de emulação de campo. Esses testes foram motivados para atender a diversos objetivos como: *double check* a respeito da robustez do dispositivos testados; endereçar alguns questionamentos com relação à validade do método utilizado pela Anatel para avaliação dos limiares recebidos mesmo com antena interferente frontal; e, validar o *setup* para permitir verificações mais rápidas para testes de recepção satelital com interferências externas.

Para a realização dos testes foi empregado um gerador vetorial³⁸ recém adquirido pela agência. Esse instrumento permitiu gerar sinais de banda larga de 200 MHz e 300 MHz, a largura de faixa foi delimitada basicamente pelo filtro de TX que utilizou-se para limitar as emissões fora de faixa do gerador e evitar que esses sinais externos prejudicassem a realização do teste, caso eles atingissem a faixa passante do TVRO. Foi usado no *setup* exatamente os mesmos elementos e as mesmas conexões utilizadas no teste de campo tradicional, isto é, usou-se o equipamento Promax, receptor digital, TV, analisador de espectro FSVR-30, a sonda, etc.

A Figura 69 mostra um esquema simplificado das conexões, destacando que é utilizado exatamente o mesmo *setup* do teste de campo, mostrado na Figura 40.

Figura 69 – *Setup* de teste de emulação de campo.



A Figura 70, Figura 71 e

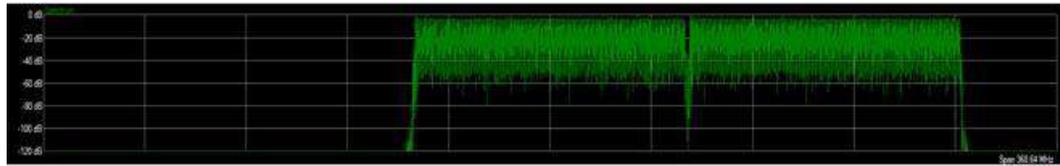
³⁷ Testes realizados pela Anatel do Rio de Janeiro no CRT da Claro nos dias 13 e 14/10/2020.

³⁸ Keysight M9384B VXG.

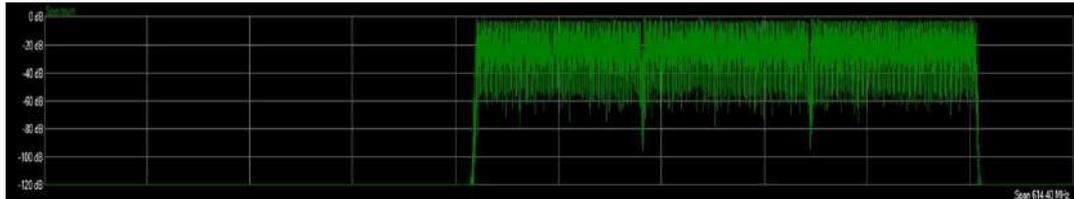
Figura 72 ilustram exemplos de configurações e detalhes do *setup* de teste.

Figura 70 – Exemplo com configuração multicarrier gerada pelo M9384B VXG.

Geração de 2 portadoras, 3,45 GHz/100 MHz e 3,55 GHz/100 MHz



Geração de 3 portadoras, 3,45 GHz/100 MHz, 3,55 GHz/100 MHz e 3,65 GHz/100 MHz



Perfil de configuração do sinal TDD

Full-filled Configuration	
Full-filled Configuration	
Bandwidth	FR1 100MHz
Numerology	$\mu = 1: 30 \text{ kHz}$
Duplex Type	
Transmission Periodicity	2.5 ms
Number of Downlink Slots	3
Number of Downlink Symbols	0
Number of Uplink Slots	1
Number of Uplink Symbols	0
Number of Special Slots	1
TDD Slot Allocation	DDDSU
Modulation	QPSK

Objetivou-se ter um sinal 5G TDD com as mesmas características que foram utilizados na configuração das gNodeBs, como por exemplo, tipo de *frame*, duração, razão UL/DL, espaçamento de subportadora, etc.

A Figura 71 é um exemplo do sinal medido mostrando o formato do espectro bem como a duração dos quadros TDD.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 20.

Figura 71 – Exemplo com a verificação de uma portadora gerada pelo M9384B VXG.



Domínio da frequência



Domínio do tempo

Figura 72 – Detalhe do *Setup* com o gerador vetorial³⁹.



Figura 73 – Detalhe do ortomode posicionado no foco da antena para o teste de emulação de campo.



Figura 74 – Detalhe da configuração de teste de emulação de campo.



³⁹ Keysight M9384B VXG Microwave Signal Generator, 1 MHz – 44 GHz.

Figura 75 – Filtro e ortomode utilizados no setup.



ortomode



Filtro TX: Planar Monolithics
BFF 3,4 ~3,7 GHz

Tabela 20 – Limiares de funcionamento dos LNBs⁴⁰ sob interferência do sistema 5G, 2 ou 3 portadoras: frequência central 3,65 GHz; 3,55 GHz; 3,45 GHz - BW= 100 MHz - carga de 100%.

LNB	canal	teste	n° de portadoras	Portadoras GHz /100 MHz	limiar LNB [dBm]
AM6	A 3807V	7	2	3,45; 3,55	-20,26
AM6	C 4055V	9	2	3,45; 3,55	-16,90
AM6	A 3807V	7	3	3,45; 3,55; 3,65	-29,65
AM6	B 3931H	8	3	3,45; 3,55; 3,65	-17,19
AM6	C 4055V	9	3	3,45; 3,55; 3,65	-21,42
AM6	D 4105H	10	3	3,45; 3,55; 3,65	-17,19
AM7	A 3807V	13	2	3,45; 3,55	-36,90
AM7	B 3931H	14	2	3,45; 3,55	-31,27
AM7	C 4055V	15	2	3,45; 3,55	-34,20
AM7	D 4105H	16	2	3,45; 3,55	-29,31
AM7	A 3807V	13	3	3,45; 3,55; 3,65	-43,05
AM7	B 3931H	14	3	3,45; 3,55; 3,65	-35,43
AM7	C 4055V	15	3	3,45; 3,55; 3,65	-39,00
AM7	D 4105H	16	3	3,45; 3,55; 3,65	-33,27
AM10	A 3807V	19	2	3,45; 3,55	-41,14
AM10	B 3931H	20	2	3,45; 3,55	-34,63
AM10	C 4055V	21	2	3,45; 3,55	-37,43
AM10	D 4105H	22	2	3,45; 3,55	-31,53
AM10	A 3807V	19	3	3,45; 3,55; 3,65	-46,29
AM10	B 3931H	20	3	3,45; 3,55; 3,65	-39,34
AM10	C 4055V	21	3	3,45; 3,55; 3,65	-45,24
AM10	D 4105H	22	3	3,45; 3,55; 3,65	-35,59

⁴⁰ Teste de emulação foi realizado na antena de 1,7 m

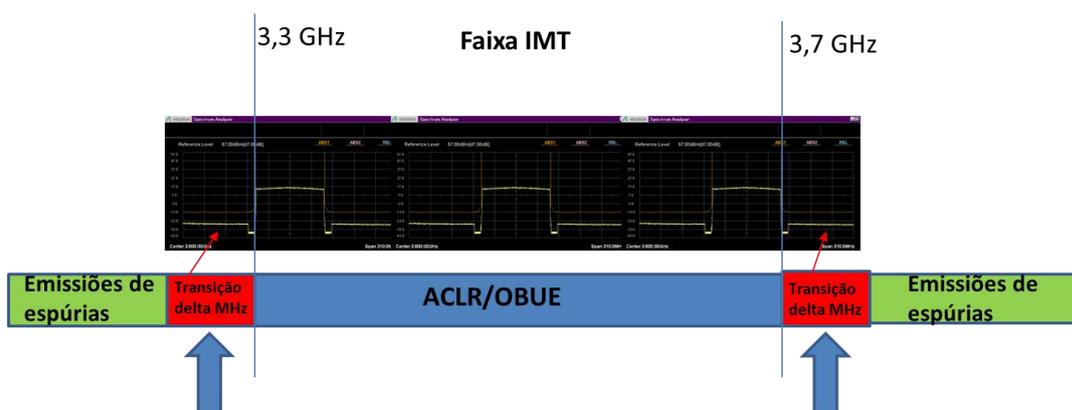
APÊNDICE D – SOBRE A NECESSIDADE DE REQUISITOS MAIS RESTRITIVOS DE EMISSÕES INDESEJÁVEIS EM RELAÇÃO AO 3GPP

De acordo com o Informe 204/2019⁴¹ e seu anexo II devem ser adotados procedimentos específicos em relação à avaliação da conformidade de estações rádio bases (gNodeBs) para viabilizar a operação dos sistemas somente até 3.700 MHz. Deve ser garantido que o filtro *hardware* do transmissor esteja adequado à faixa de transmissão desejada e com isso as emissões indesejáveis estejam definidas a partir da borda de transmissão do 5G (IMT-2020), ou seja, a partir de 3.700 MHz, no caso de adoção dessa faixa.

Com o objetivo de mitigar o impacto das emissões indesejáveis imediatamente após o bloco de frequências destinado ao IMT-2020 (3,3 GHz a 3,7 GHz) deve-se controlar os níveis na região de transição para atender os limiares de I/N, em especial entre 3,7 a 4,2 GHz e 4,5 a 4,8 GHz, devido ao uso dessas faixas por sistemas de recepção satelital. Na faixa abaixo de 3,3 GHz existe a possibilidade de uso por sistemas militares de radiolocalização (radares).

A Figura 76 ilustra a faixa ao IMT-2020 (de 3,3 GHz a 3,7 GHz) e as faixas de transição em direção às faixas adjacentes.

Figura 76 – Bloco de frequências destinado ao IMT⁴².



Por esse motivo foi realizado o estudo teórico⁴³ de avaliação de distâncias mínimas devido às emissões indesejáveis fora da faixa de operação do sistema IMT-2020.

Conforme pode ser visto na Figura 77 e na Figura 78, todo transmissor tem um piso de ruído *inband*, este ruído assume uma forma AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) limitado pela curva do filtro de canal do transmissor. É importante que existam mecanismos na avaliação da conformidade dos sistemas IMT que evitem que, por exemplo, uma estação rádio base, cuja faixa passante seja de 3,6 GHz a 3,8 GHz (vide Figura 77), seja utilizado, pois o piso de ruído *inband* do transmissor presente entre 3,7 GHz e 3,8 GHz seria radiado atuando como uma interferência co-canal para os sistemas

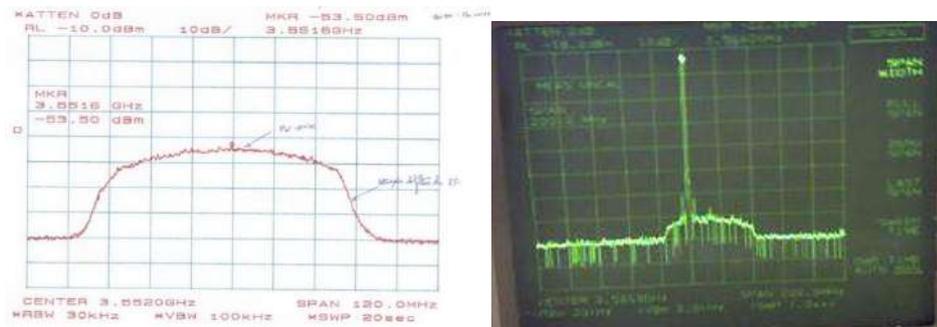
⁴¹ Informe nº 204/2019/PRRE/SPR (SEI nº 5071643, Processo nº 53500.004083/2018-79), e anexo II (SEI nº 5117750, mesmo processo citado anteriormente).

⁴² *Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR), Out Of Band Unwanted Emission (OOBUE)*.

⁴³ https://sei.anatel.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?eEP-wqk1skrd8hSlk5Z3rN4EVg9uLJqrLYJw_9INcO4CpsDcDBmRN_qBqjrHWWw-L1LbR1FZJkrzNVpGHPZR5EOhOw0zo0-svsKJYb42pjGX8QdbSHlyZGQ5udF9nX6T

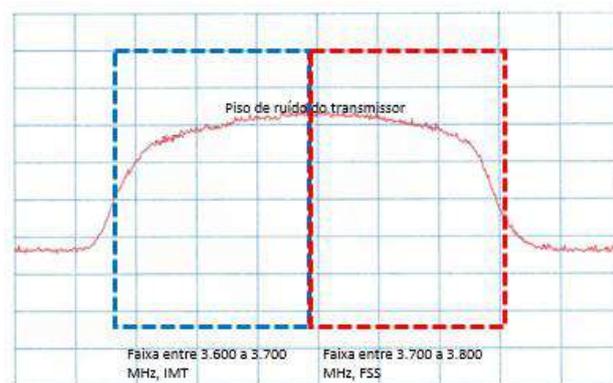
satelitais compartilhando a mesma faixa de radiofrequências. Através dessa análise, bem como dos valores de transição de emissões fora da faixa é que a Agência endereçou sua proposta de limites.

Figura 77 – Piso de ruído *inband* de um transmissor.



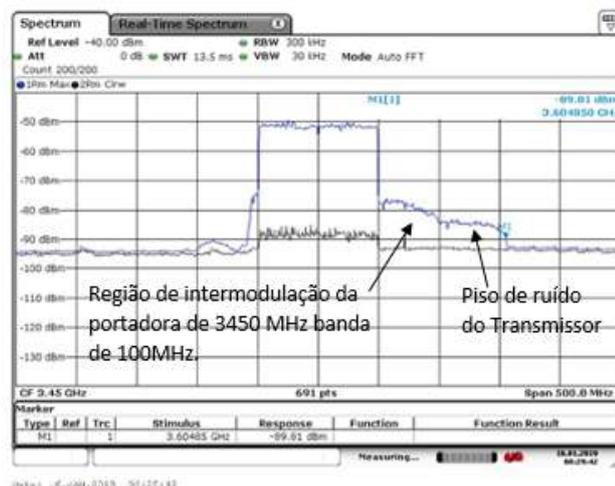
Na Figura 77 à direita, é possível ver a portadora acima do piso de ruído de um transmissor. Enquanto na Figura 78, ilustramos um caso hipotético de uso de um *hardware* compatível com banda 43 do padrão 3GPP (faixa de frequência de 3,6 GHz a 3,8 GHz), onde se teria o piso do ruído do transmissor (um ruído *inband*) se sobrepondo à faixa destinada aos sistemas do Serviço Fixo por Satélite (FSS). Esse é o caso típico que se deve evitar através de requisitos técnicos.

Figura 78 – Estação Base com banda passante de 3,6 GHz a 3,8 GHz.



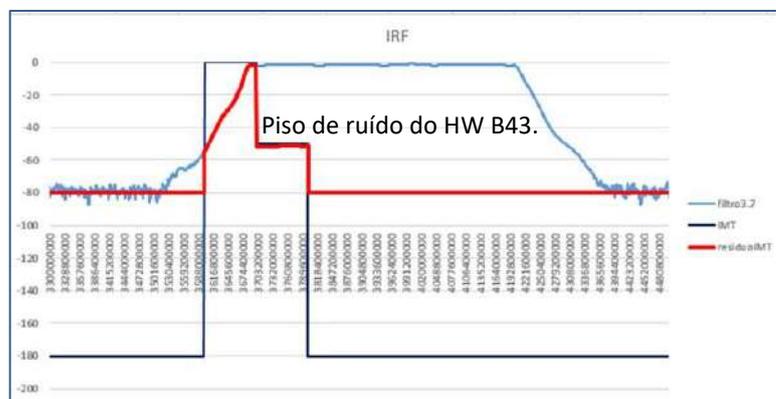
A Figura 79 mostra um caso real medido durante os testes.

Figura 79 – Exemplo de estação rádio base com faixa passante de 3,4 GHz a 3,6 GHz, portadora em 3,45 GHz, com largura de faixa de 100 MHz.



A Figura 80 mostra um caso de simulação de emissão de um *hardware* B43 com a faixa de 3,7 GHz a 3,8 GHz se sobrepondo com a faixa de passagem do filtro do sistema FSS. Mostrando o resíduo do sinal IMT (do *hardware* B43) após a curva do filtro em guia com curva *standard* (faixa passante de 3,7 GHz a 4,2 GHz).

Figura 80 – Simulação da emissão de um *hardware* B43 com a faixa de 3,7 GHz a 3,8 GHz (projetado para outros países) após a passagem pelo filtro da estação de recepção do FSS de 3,7 GHz a 4,2 GHz.



A Figura 81 mostra o exemplo de uma medição real de emissão de um *hardware* B43 com a faixa de 3,7 GHz a 3,8 GHz após o filtro em guia de onda do sistema FSS, com faixa de passagem de 3,7 GHz a 4,2 GHz. Percebe-se claramente o resíduo da portadora IMT além da presença do piso de ruído do HW B43.

Figura 81 – Exemplo medição de emissão de um *hardware* B43 com a faixa de 3,7 GHz a 3,8 GHz após a passagem pelo filtro em guia da estação de recepção do FSS de 3,7 GHz a 4,2 GHz.



Conforme observado acima, para os sistemas FSS, a análise da faixa de guarda tem uma importância maior pois as emissões indesejáveis do sistema transmissor (5G) são vistas como interferência *inband* (co-canal) pelo sistema receptor, onde o filtro do dispositivo receptor não discerne o sinal desejado do interferente, não havendo possibilidade de mitigação pelo lado do FSS. Nesse caso, fica a mitigação a cargo do sistema de transmissão interferente, isto é, o 5G.

Uma das formas de se mitigar essa interferência é a adoção de uma faixa de guarda (FG) entre o sistema 5G e o sistema FSS. Estudos indicam valores de FG recomendável entre 20 MHz a 40 MHz⁴⁴.

⁴⁴ Estudos da Qualcomm (para a APT e IMDA) e da Nokia (para FCC e IMDA) indicam valores recomendáveis de Banda de Guarda de 40 MHz e 20 MHz, respectivamente.

APÊNDICE E – POSSÍVEIS REQUISITOS PARA AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DOS LNBFs

Trata-se de uma discussão inicial visando a definição de requisitos para avaliação da conformidade de LNBFs para uso em TVRO doméstico. Naturalmente, valores e testes podem ainda ser complementados e atualizados, ou mesmo, não se tornar necessário em função de decisão da Agência.

Na avaliação da convivência de sistemas IMT-2020 (5G NR) e sistemas satelitais, medidas de avaliação da conformidade podem ser feitas com sistemas dedicados que permitem gerar e analisar sinais de 5G NR e DVB-S2.

LNBFs e LNBFs poderiam ser testados, em especial sistemas LNBFs poderiam ser certificados.

Os testes de certificação em laboratório podem ser feitos utilizando-se jigas e equipamentos dedicados para as avaliações, que consistiriam das seguintes avaliações:

- 1) Temperatura de ruído (figura de ruído);
- 2) Ganho e resposta em frequência;
- 3) Ortogonalidade do LNBF;
- 4) Teste de limiar de operação do LNBF sob interferência 5G NR com quatro portadoras combinadas, cada uma com BW de 100 MHz, frequência de operação entre 3,3 GHz e 3,7 GHz;
- 5) Teste de limiar de operação do LNBF sob interferência 5G NR com uma portadora, com BW de 100 MHz, frequência de operação entre 4,84 GHz e 4,94 GHz;

Nota: A característica do equipamento gerador deve respeitar os limites de emissões equivalentes da gNodeB para que o teste não seja prejudicado por emissões fora da faixa produzidas pelo gerador utilizado. Esse tipo de necessidade pode vir a exigir o uso de filtro de canal, com faixa correspondente ao teste, para limitar as emissões produzidas.

Os testes 1, 2 e 3 acima são testes tradicionais e com procedimentos bem conhecidos, visam somente a confirmar as especificações do fabricante constante em seus *datasheets*. O limite para temperatura de ruído seria de 100 K.

Enquanto que os testes 4 e 5 teriam o condão de comprovar a eficácia da proteção do dispositivo contra interferências fora da faixa, considerando a faixa de guarda de 100 MHz para o LNBF no caso de interferentes na faixa de 3,5 GHz. Para os testes 4 e 5 o nível do sinal desejado e interferente é definido como a entrada do *feeder* do LNBF, conforme ilustrado na Figura 82.

Para a avaliação da conformidade, o limiar objetivo é que o LNBF consiga decodificar sinal DVB-S2 com as seguintes características:

- 1) Modulação 8-PSK 2/3 com largura de faixa de 9 MHz (SR 7,5 MSymbols/s), localizados nas frequências de 3.808 MHz, 4.008 MHz e 4.192 MHz (caracterizando início, meio e fim da faixa de operação do TVRO);
- 2) No caso de teste 4, o nível dos sinais interferentes deve ser -36 dBm para cada portadora 5 G NR TDD (frame DDDSU, duração de 2,5 ms, modo TDD) no caso do teste com 4 portadoras interferentes na faixa de frequência de 3,5 GHz;
- 3) No caso de teste 5, o nível dos sinais interferentes deve ser -30 dBm para a portadora 5 G NR TDD (frame DDDSU, duração de 2,5 ms, modo TDD) no caso do teste com 1 portadora interferente na faixa de frequência de 4,8 GHz.
- 4) O nível do sinal DVB-S2 deve ser equivalente a -100 dBm, e o sinal DVB-S2 não deve degradar mais do que 3 dB em relação ao seu valor de C/N em dB sem interferente ou se for usado

análise de imagens não deve ocorrer artefatos durante 5 minutos de observação verificando-se na TV.

Figura 82 – Exemplo de Setup de teste de LNBF.

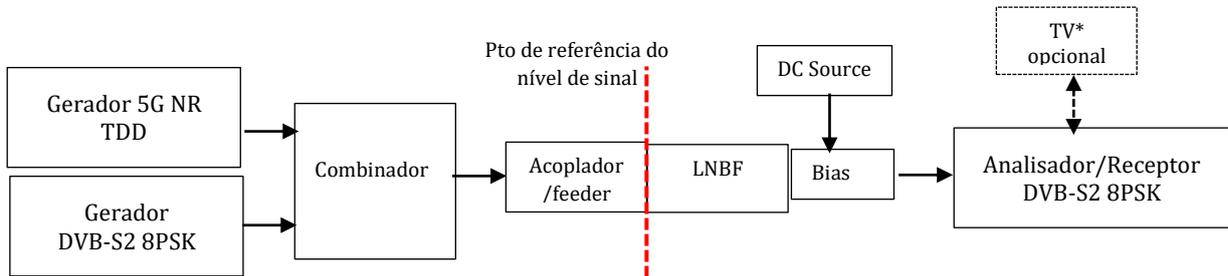


Figura 83 – Exemplo de Setup de teste de LNB/LNBF.



Conexão de teste para LNB



Jiga de teste LNBF

Figura 84 – Exemplo de equipamento Gerador para avaliação de coexistência entre 5G e DVB-S2.



Figura 85 – Exemplo de equipamento Receptor para avaliação de coexistência entre 5G e DVB-S2.

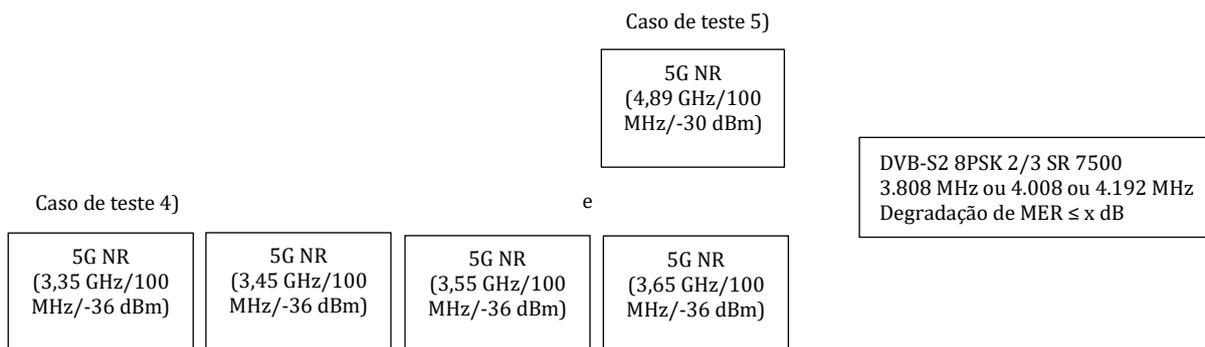


Analisador de padrão DVBS2 (MER, BER, etc).



Receptor de padrões 5G e DVBS2.

Figura 86 – Exemplo de avaliação do sinal DVB-S2.



APÊNDICE F – CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A MITIGAÇÃO EM BANDA C

Os fatores abaixo devem ser observados na avaliação das condições de convivência entre o IMT e o TVRO operando na faixa de 3,5 GHz.

O satélite na posição 70° W, utilizado para TVRO, está previsto para aumentar a sua e.i.r.p, deve ser observado que o ganho no sinal resultante pode causar saturação de alguns LNBFs (legado) atualmente instalados, independentemente de qualquer fonte de interferência.

O ganho resultante de e.i.r.p, mencionado acima, não deve ser revertido em ações que tendam a diminuir a potência do sinal desejado no sistema de recepção, tais como, a diminuição do diâmetro da antena receptora, potência transmitida do canal TVRO, sua ordem de modulação, FECs efetiva dos canais de transmissão, ou qualquer outro meio que diminua a margem de sistema resultante.

A potência e.i.r.p de transmissão do 5G tem impacto direto nas condições de coexistência, portanto o controle da e.i.r.p, através de uma densidade espectral de potência/10 MHz, assim como os limites de emissões indesejáveis não podem ser ignorados. Tais especificações estão previstas nos requisitos técnicos desenvolvidos pela Agência.

Deve ser um ponto de atenção devido ao possível impacto no dimensionamento dos custos os seguintes itens:

- a) Podem existir sistemas de recepção naturalmente degradadas como: antenas com pétalas faltantes, antenas com ferrugem e sem condições de substituição de LNBF. A recepção do sinal TVRO pode depender da adequação de um ou mais elementos do sistema de recepção, tais como antena, cabo e/ou receptor/decodificador;
- b) Na solução de mitigação, a ressonância dos canais analógicos⁴⁵ deve ter uma atenção especial. Caso os sinais analógicos sejam alterados em frequência, os receptores exclusivamente analógicos e muito antigos podem apresentar maiores dificuldades para fazer ressonância de canais, sendo recomendável a utilização de decodificadores mais modernos. Notar porém que atividades de ressonância são rotineiras por parte da operadoras de satélite e redes de TV conforme pode ser verificado na Internet e em diversos vídeos do *youtube*^{46,47}, que comunicam e explicam como realizar o procedimento para canais analógicos e digitais;
- c) Na solução de mitigação, caso os canais analógicos sejam todos digitalizados, os usuários que possuam somente receptores analógicos não estarão aptos à recepção do sinal TVRO;
- d) **Não foi apresentado dispositivo LNBF multiponto dentro das condições pré-definidas para teste;**
- e) Os dispositivos LNBFs devem atender requisitos mínimos e passar por testes de avaliação da conformidade, como exemplificado no Apêndice E.

Poderá haver situação na qual a mitigação não será possível, como nas situações onde uma antena de recepção de satélite receberá uma potência interferente maior do que o limiar do LNBF, como exemplificado na Figura 87. Nesses casos outro tipo de solução deverá ser empregada.

⁴⁵ Esta sendo pressuposto que todos os canais analógicos sejam resintonizados para frequências acima de 3.800 MHz.

⁴⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=RS-zB416qHc>

⁴⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=gQr1f1giagA>

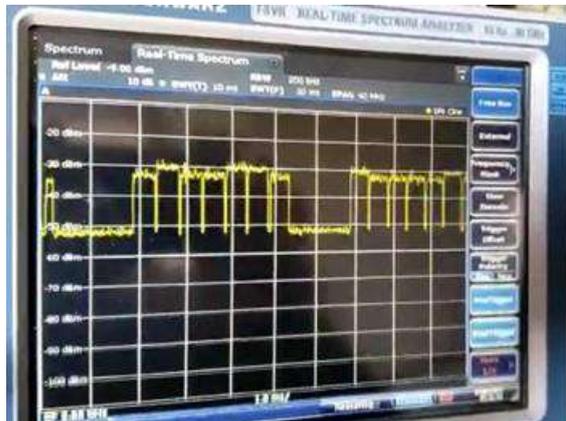
Figura 87 – Exemplo de situações não mitigáveis pelo LNBF em banda C.



APÊNDICE G – DIFERENÇA DE NÍVEL DOS FRAMES DAS gNODEBs B43 E N78 EM MODO TESTE

A Figura 88 ilustra a diferença de nível dos frames no modo de teste das gNodeBs B43 e N78. Os dados coletados foram no domínio do tempo para facilitar a visualização do fenômeno.

Figura 88 – Variação de nível dos frames no modo de teste das gNodeBs B43 e N78.



gNodeB N78



gNodeB B43

