

4

Set-Up de medições

Neste capítulo é apresentado o *set-up* utilizado nas campanhas de medições. Para a realização da campanha em ambiente urbano, foi selecionado o bairro da Gávea com a instalação da antena do transmissor acima do nível dos prédios próximos e com o objetivo de oferecer cobertura no bairro Gávea e parte do Alto Leblon. O local selecionado para o transmissor foi o décimo segundo andar do prédio LEME da PUC-Rio.

4.1

Área das medições

A instalação da antena de transmissão foi realizada na altura de 42 metros e com azimute de 90 graus em relação ao Norte Verdadeiro. Esta configuração pode ser observada nas fotos das Figuras 4.1 a 4.3:



Figura 4.1: Azimute 90 graus NM.



Figura 4.2: Azimute 150 graus NM.



Figura 4.3: Azimute 30 graus NM.

Para melhor entendimento da área coberta nas medições, nas Figuras 4.4 e 4.5 são mostradas as vistas nas direções entre a PUC e a Rua Marquês de São Vicente (entre a Rua Vice-Governador Rubens Bernardo e a Rua Duque Estrada) e entre a PUC e a esquina Rua Visconde de Albuquerque com a Rua Timóteo da Costa, correspondentes aos azimutes de 30 e 150 graus. Para que a cobertura atingisse a Av. Epitácio Pessoa, que margeia a Lagoa Rodrigo de Freitas, não foi realizada inclinação mecânica na antena.

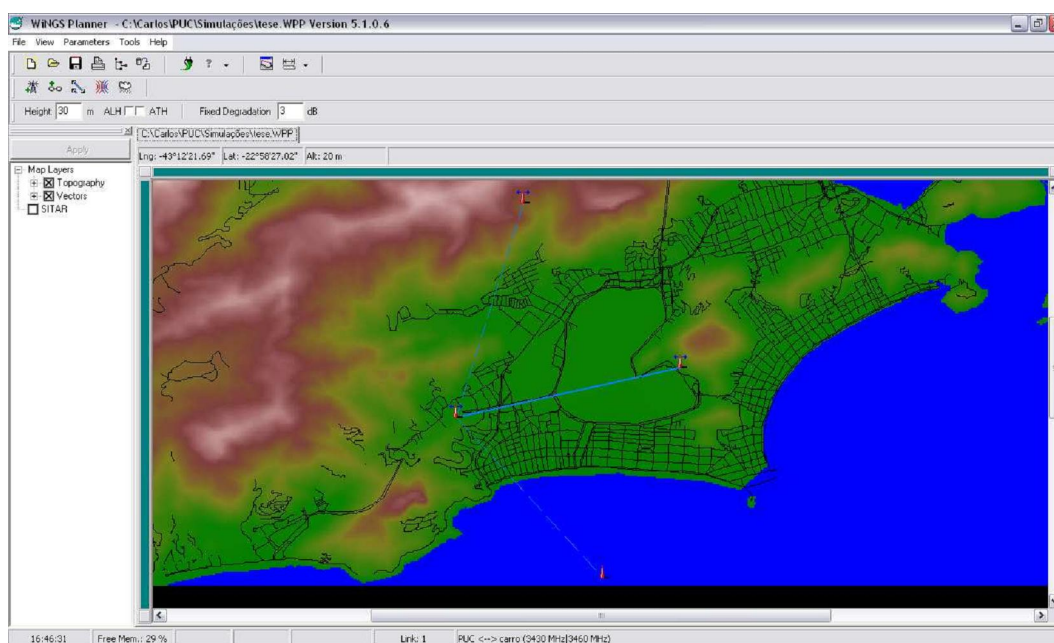


Figura 4.4: Localização da antena do transmissor.

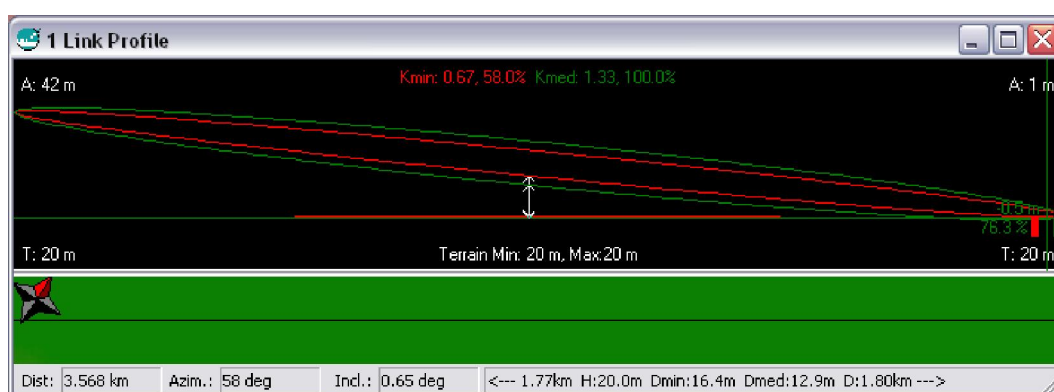


Figura 4.5: Perfil de terreno - Determinação de inclinação da antena.

4.2

Set-up de transmissão

Como visto no capítulo 2, a técnica utilizada na campanha de medição contempla a transmissão de sinal com modulação OFDM na faixa de

frequências de 3,5 GHz, com este propósito os equipamentos utilizados na etapa de transmissão são:

- Gerador Vetorial de Sinais - Anritsu MG3700A.
- Amplificador de RF - Milmega AS0204-7.
- Antena painel - Hyperlink HG3515P-120.
- Cabos LMR-400 e LMR-600 - KMP.

Gerador Vetorial de Sinais - Anritsu MG3700A

O Gerador Vetorial de Sinais permite a transmissão de um sinal preexistente ou um sinal gerado externamente que é armazenado na sua memória interna. A operação é iniciada com a escolha do sinal, a seleção da potência de transmissão e a frequência central. A escolha da potência de transmissão será discutida na seção correspondente ao amplificador, pois o valor máximo admissível depende da linearidade do mesmo. A frequência central foi escolhida como resultado de uma varredura do espectro compreendido entre 3,4 e 3,6 GHz, realizada como primeira etapa da campanha de medição.

As principais características do Gerador Vetorial de Sinais são: [45]:

- Faixa de Frequências de 250 kHz a 6 GHz.
- Modulação de sinais banda larga de até 120 MHz.
- Interface 100Base-Tx Ethernet.
- Disco rígido de 40 GBytes.
- Capacidade de memória de 1 GByte expandível para 2 GBytes.

De forma a obter um sinal OFDM a ser utilizado nas campanhas de medição, foi adotado o seguinte procedimento:

- Obtenção dos vetores de fase (I) e quadratura (Q) do sinal OFDM com o software Matlab®.
- Conversão dos vetores de fase (I) e quadratura (Q) com a ferramenta *IQ producer* para o formato do gerador de sinais MG3700A.
- Envio de dados para o gerador de sinais.

Obtenção dos vetores de fase (I) e quadratura (Q) do sinal OFDM

Os parâmetros relevantes do sinal OFDM são a frequência de amostragem, o fator de *oversampling*, o número de pontos da Transformada de Fourier implementada com o algoritmo da FFT e o prefixo cíclico. Na Tabela 4.1 é apresentado um resumo dos parâmetros dos sinais OFDM utilizados nas campanhas de medição.

Largura do canal [MHz]	Pontos da FFT	Resolução de multipercurso [m]	Resolução Doppler [kHz]
20	1024	15,0	22,98
7	256	42,9	11,49
3,5	256	85,7	7,66
1,75	256	171	3,83

Tabela 4.1: Parâmetros de medição.

O fator de *oversampling* utilizado para todas as larguras de banda foi de 2 e o Prefixo Cíclico de 1/16.

A largura de canal de 20 MHz é a maior que o sistema de medição conseguia, limitação devida à frequência de amostragem máxima que o analisador vetorial usado na recepção. Os sinais OFDM foram gerados com a ferramenta Matlab® [46]. O código de geração do sinal é reproduzido no Anexo A.

O sinal OFDM obtido para transmissão, no domínio da frequência, é indicado nas Figuras 4.6 a 4.9 [47].

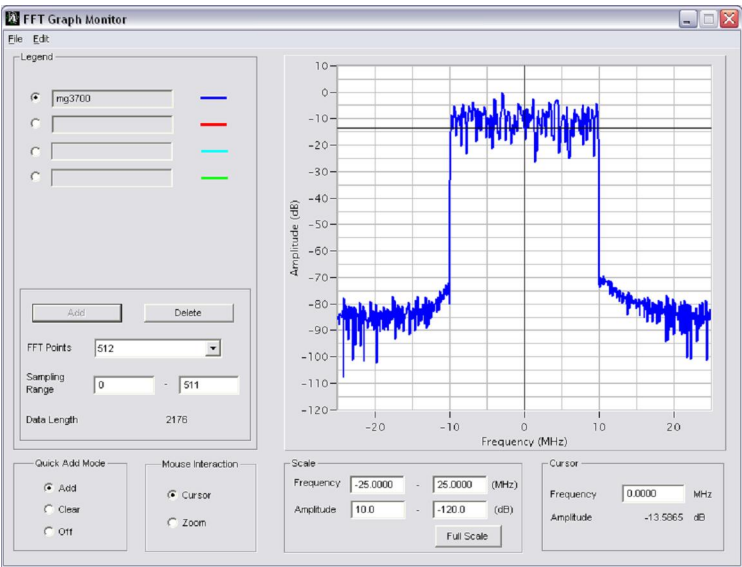


Figura 4.6: OFDM - FFT 20 MHz.

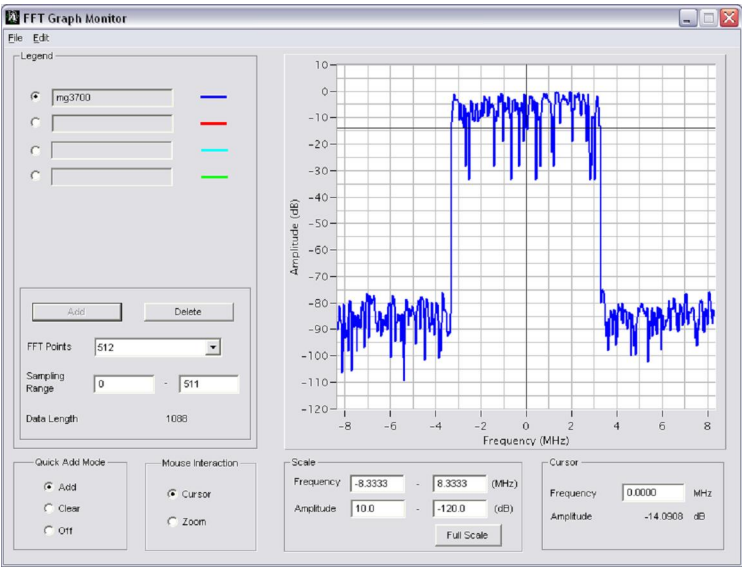


Figura 4.7: OFDM - FFT 7 MHz.

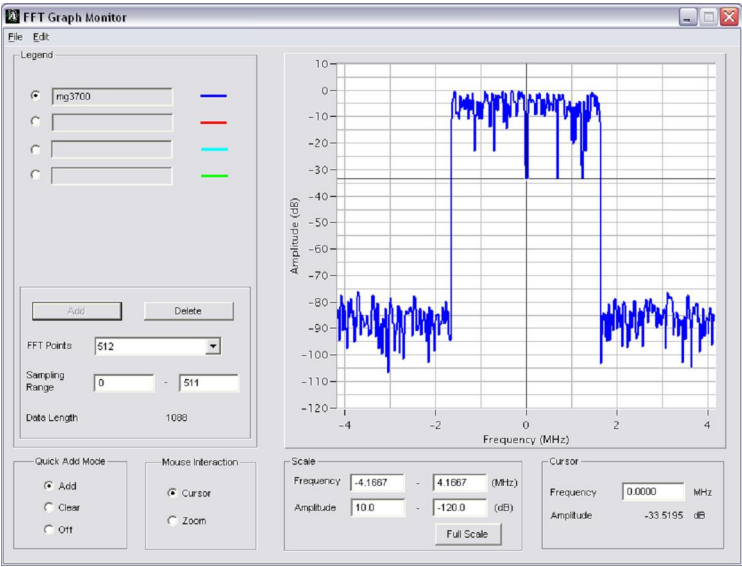


Figura 4.8: OFDM - FFT 3,5 MHz.

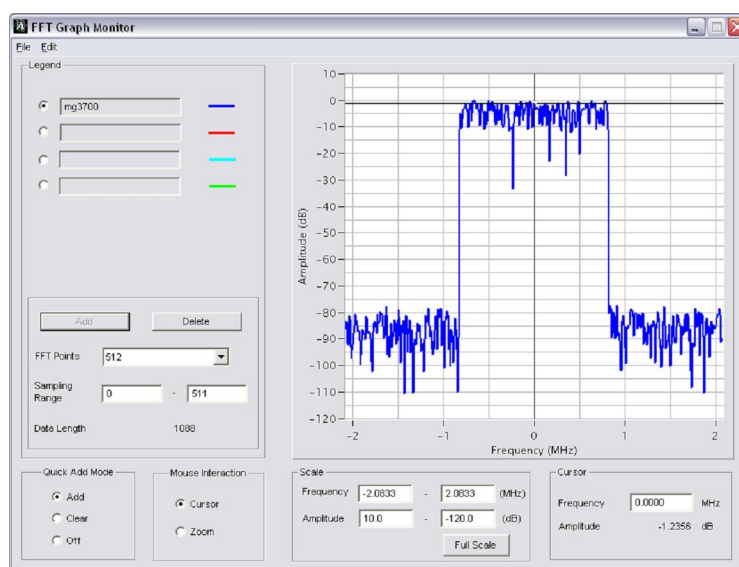


Figura 4.9: OFDM - FFT 1,75 MHz.

Observe-se que nas Figuras 4.6 a 4.9 existe uma componente na frequência central, que não é usual em sinais OFDM, a presença desta componente é devida à adição de um intervalo *gap* entre cada símbolo OFDM com duração de metade do símbolo OFDM. Este intervalo foi adicionado de forma a permitir a detecção do sinal OFDM no pós-processamento. No domínio do tempo, o sinal OFDM transmitido é indicado para cada canalização nas figuras 4.10 a 4.13

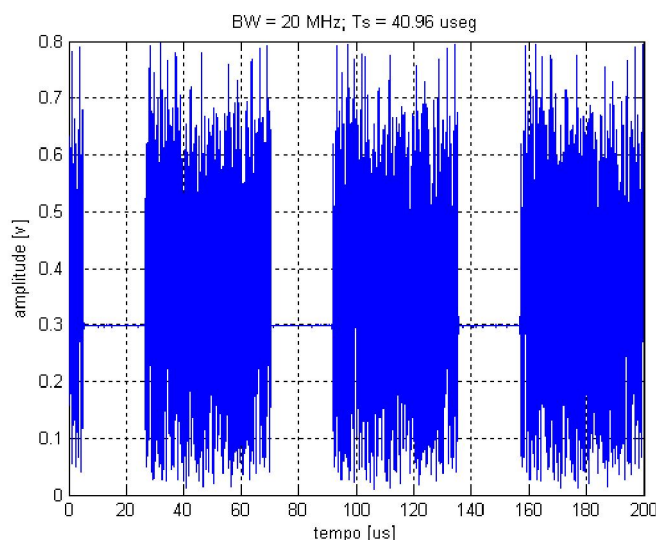


Figura 4.10: OFDM - 20 MHz.

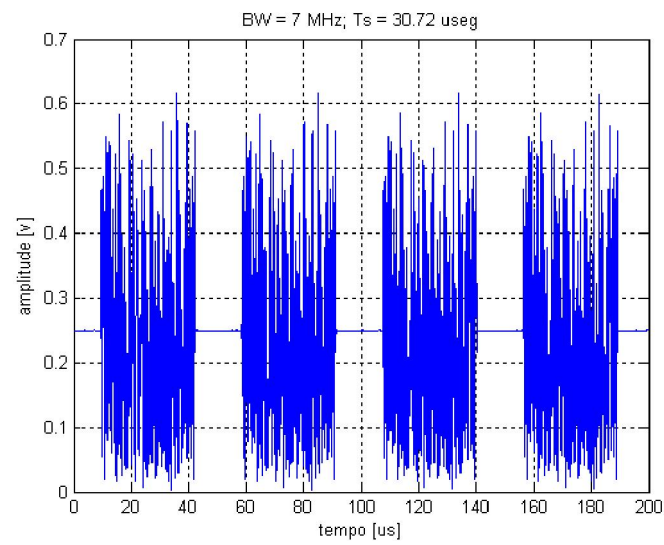


Figura 4.11: OFDM - 7 MHz.

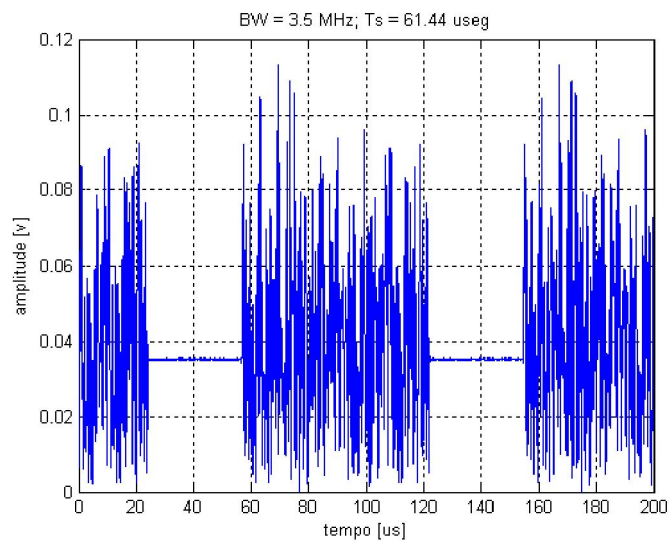


Figura 4.12: OFDM - 3,5 MHz.

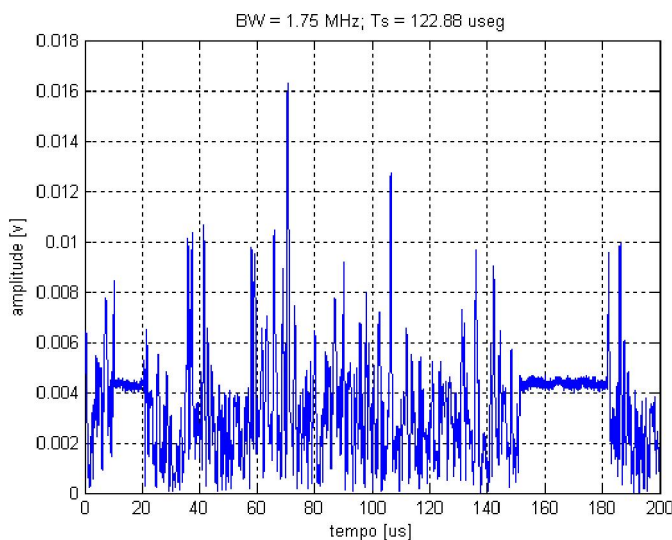


Figura 4.13: OFDM - 1,75 MHz.

Amplificador de RF - Milmega AS0204-7

O Amplificador de RF utilizado é o do fornecedor Milmega. O modelo AS0204-7 é um amplificador de RF com operação nas faixas de frequências de 2 a 4 GHz e com amplificação máxima de 7 Watt no ponto de saturação. É um amplificador classe A adequado para transmissão de sinais OFDM com alto PAPR (*Power Average Peak Average*).

Para que as medições não sejam afetadas por efeitos como harmônicos e interferência gerada pelo equipamento, foi levantada a curva de linearidade do amplificador, isto com o mesmo gerador de sinais MG3700A, um atenuador de 30 dB, cabos de RF do tipo LMR-400 e o analisador vetorial de redes MS2781B no modo de análise espectral com a opção de medição de potência de canal.

Com este resultado, a potência de entrada para o Amplificador de forma a permanecer na região linear de operação é de -9 dBm.

Antena painel - Hyperlink HG3515P-120

Com o objetivo de visualizar o comportamento do sinal gerado na da área urbana indicada na Figura 4.4, e de obter informação de multipercurso, foi utilizada uma antena típica na implementação em redes de sistemas WiMAX na faixa de 3,5 GHz. O ganho da antena é de 15 dBi com 120 graus de abertura do lóbulo horizontal e 8 graus de abertura de lóbulo vertical, as características da antena estão indicadas no anexo B.

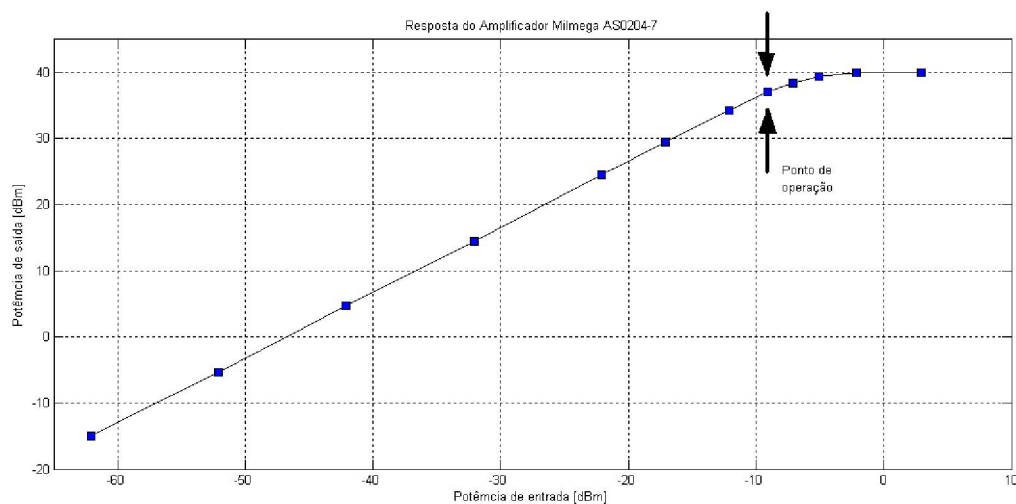


Figura 4.14: Linearidade do amplificador.

Com os equipamentos indicado para a estação transmissora, a instalação foi realizada no décimo primeiro andar do Prédio LEME da PUC-Rio como indicada na Figura 4.15:



Figura 4.15: Instalação de equipamentos.

Na Figura 4.16 é apresentado o bloco de transmissão de forma a calcular a potência isotrópica efetiva radiada, resultante em 50,5 dBm. Observe-se que

quando se trata de cabo coaxial, a atenuação indicada representa a atenuação total do conjunto cabo coaxial e conectores.

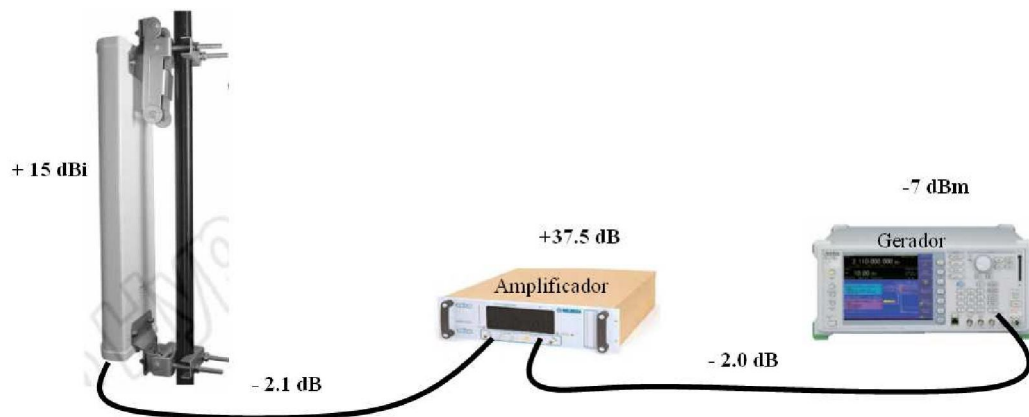


Figura 4.16: Transmissor.

4.3

Set-up de recepção

Para a recepção dos sinais os equipamentos foram instalados no interior de viatura equipada para os requerimentos de consumo de corrente dos equipamentos. O *set-up* de medição é formado pelos seguintes equipamentos:

- Analisador Vetorial de Rede - Anritsu MS2781B.
- Amplificador de baixo ruído.
- Antena Omnidirecional - Hyperlink HG3505RD-RSP.
- GPS - Garmin 60CS.
- Inversor de 800 watts.
- Cabos LMR-400 e LMR-600 - KMP.
- Viatura equipada com alternador de 65 A/h e conexões independentes para os equipamentos.

Analizador Vetorial de Rede - Anritsu MS2781B

O receptor dos sinais é o Analizador Vetorial de Rede da Marca Anritsu, modelo MS2781B. Este equipamento pode ser configurado em modo de análise espectral assim como em modo de captura de sinais em fase (I) e quadratura (Q). Na etapa de varredura de espectro (primeira campanha de medição) será utilizada a função de analisador de espectro e com dados armazenados a cada segundo de medição, já para a fase de coleta de dados do sinal transmitido pelo Gerador Vetorial, será utilizada a funcionalidade de captura de dados I e Q. Em ambas das funcionalidades, foi realizado um programa em Matlab® para o controle do equipamento, captura e armazenamento dos dados.

Um dos limitantes na obtenção de dados é o tempo de armazenamento das informações no disco rígido, razão pela qual não foi possível manter uma medição continua ao longo da área de cobertura. De forma a diminuir o tempo de armazenamento de dados, foi realizada uma captura com duração de 200 μ secs com intervalos de um segundo entre cada captura, o tempo de captura permite a coleta de até 3 símbolos OFDM para 20 MHz, 4 símbolos OFDM para 7 MHz, 2 símbolos OFDM para 3,5 MHz, e 1 símbolo OFDM para 1,75 MHz. Com o tempo de captura considerado, uma medição era realizada num intervalo de tempo de 15 minutos, depois dos quais o programa automaticamente começava a armazenar os dados no disco rígido, num tempo aproximado de 15 minutos.

Na viatura de medição, o equipamento foi alimentado por meio de um inversor de 800 watts. Para este propósito o inversor foi ligado diretamente no alternador do veículo e com proteção de fusível de 50 A.

Amplificador de baixo ruído - LNA

O amplificador de baixo ruído (LNA - *Low Noise Amplifier*) utilizado na campanha de medição é o modelo DB97-1794 da *L-3 Communications Narda Microwave-West*. As características técnicas do amplificador são indicadas na Tabela 4.2 a seguir:

A alimentação foi realizada pelo mesmo circuito que alimenta o Analizador Vetorial e com uma fonte de DC adicional em 12 VDC.

Antena Omnidirecional - Hyperlink HG3505RD-RSP

De forma a captar os sinais de multipercurso, o *set-up* de medição contempla antenas omnidirecionais no receptor. A antena tem um kit de

Parâmetro	Valor
Frequência de Operação	3,5 GHz
Ganho	30 dB (mínimo)
Figura de Ruído	2 dB
P1dB	10 dBm (mínimo)
Potência de entrada	20 dBm (máximo) para onda con'tínua (CW)
VSWR (:1)	2/2 i/o
Tensão de alimentação	+12 a +15 Vdc
Corrente	180 mA (máxima)
Temperatura	+25 C
Estrutura com entrada/saída SMA-F	DBX-2MH (Anexo B.1)

Tabela 4.2: Características do LNA.

montagem magnético (HMA3-NFA10 da Hyperlink) que permite instalar a mesma no topo do veículo.

Cabos LMR-400 e LMR-600 - KMP

Os cabos e conectores utilizados são do fabricante *Time Microwave Systems* e possuem as apresentadas na Figura 4.17.

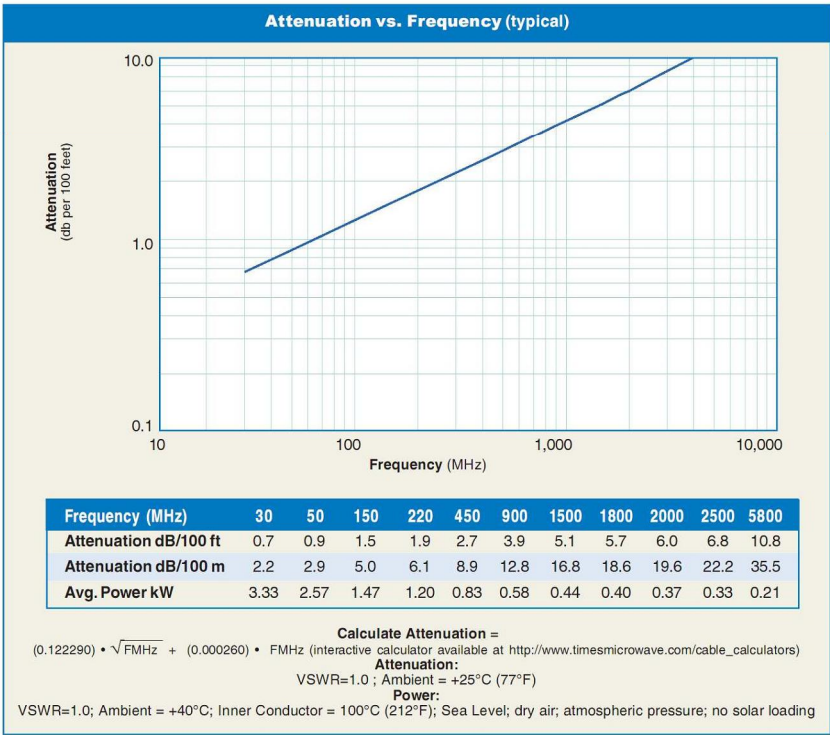


Figura 4.17: Características Elétricas Cabo LMR-400.

Para o receptor as atenuações obtidas para cada conjunto de cabo e conectores é de 1,9 dB.

Pós-processamento

De forma a poder obter o sinal OFDM no receptor, foi utilizado um algoritmo que faz uso da autocorrelação máxima do Prefixo Cíclico [48] [49].

De forma a verificar o comportamento do procedimento de geração, coleta de dados e algoritmo de detecção do símbolo, foi realizado em laboratório o seguinte teste com um sinal OFDM de 512 subportadoras e 20 MHz de largura de canal:

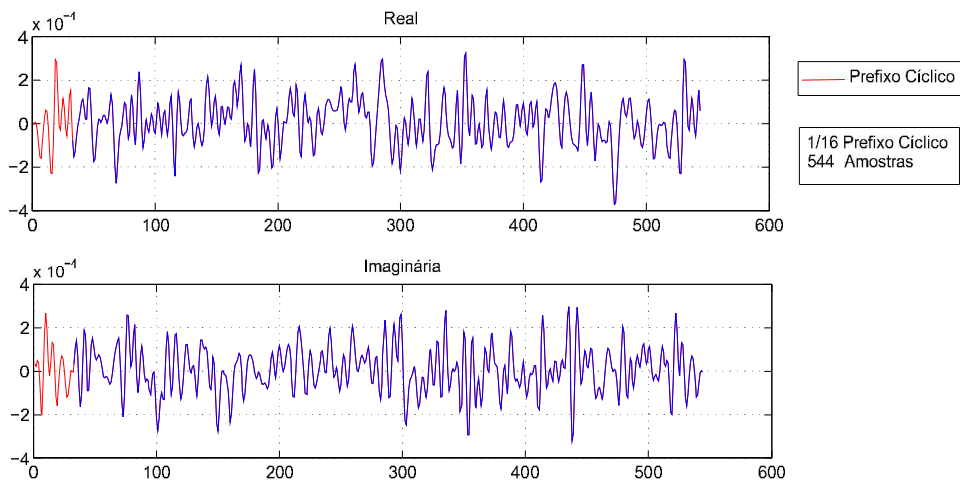


Figura 4.18: OFDM - 20 MHz.

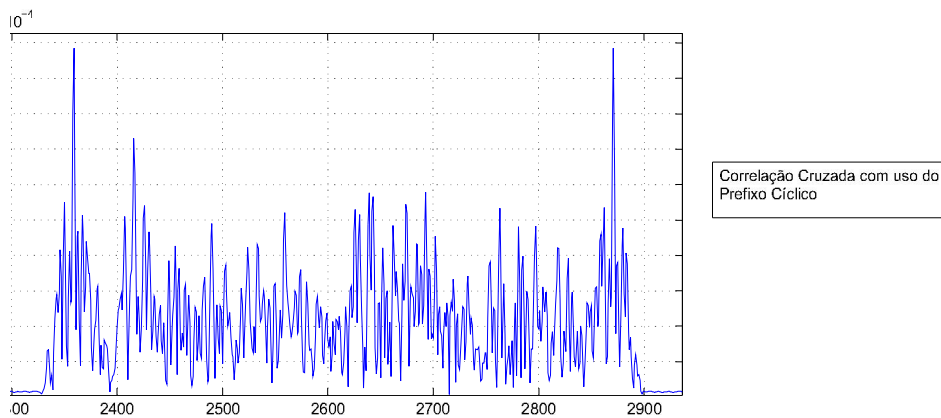


Figura 4.19: OFDM - 20 MHz.

Como podemos observar a correlação permite obter dois valores altos que ajudarão na identificação de um sinal OFDM, uma validação adicional entre a

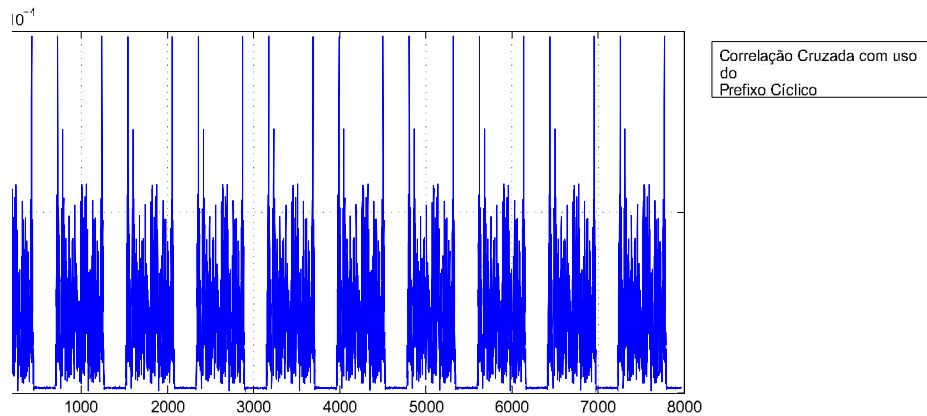


Figura 4.20: OFDM - 20 MHz.

quantidade de amostras que separam os dois valores altos permitirá identificar um símbolo OFDM válido.

Receptor de sinais do GPS - Global Position System

O GPS utilizado para a coleta de informações de coordenadas geográficas foi o da Marca Garmin, modelo 60 CS, com opção de conexão de antena magnética externa e captura de dados por meio de cabo USB, com conexão de 9.600 bps. De forma a captar as informações foi utilizado o software *GPS Trackmaker*®, a ferramenta permite captar os dados segundo as especificações NMEA (*National Marine Electronics Association*) o que permite obter atualização da posição geográfica a cada segundo.

Um dos aspectos a ser considerados pelo uso do GPS é o erro da posição. O mesmo software *GPS trackmaker* fornece o erro estimado de posicionamento (EPE - *Estimated Postition Error*) que variava entre 5 e 13 metros ao dos percursos medidos. De forma a considerar este erro na análise das medições de perda de propagação, foi sempre utilizada a média de valores medidos em regiões de raio igual ao EPE.

Viatura de Medição

O *set-up* de recepção foi instalado num veículo Fiat UNO modelo EP Mille do ano de 1.996. O veículo teve que ser modificado para que o alternador fornecesse a corrente necessária para consumo dos equipamentos e conexões auxiliares incluindo o inversor e a fonte DC. A Tabela indica o consumo de corrente dos equipamentos.

Equipamento	Consumo (A)
Analizador Vetorial (Signature)	33
Computador Portátil	3
LNA - <i>Low Noise Amplifier</i>	0,18
Ventoinha do carro	15
Lanterna	5

Tabela 4.3: Consumo de energia na viatura.

Com estas considerações foi dimensionado um alternador de 65 Amperes, que permitiu que as campanhas de medição fossem realizadas tanto durante o dia como durante a noite.

4.4

Obtenção do sinal de calibração CAL(f)

De forma a obter a resposta dos equipamentos a serem utilizados nas campanhas de medição, foi realizada uma medição em local aberto no qual o efeito de multipercurso é mínimo. O cenário desta medição, realizada no campus laboratorial do Inmetro, é mostrado na Figura 4.21:



Figura 4.21: Ambiente de medição para calibração.

Os sinais transmitidos nos testes são:

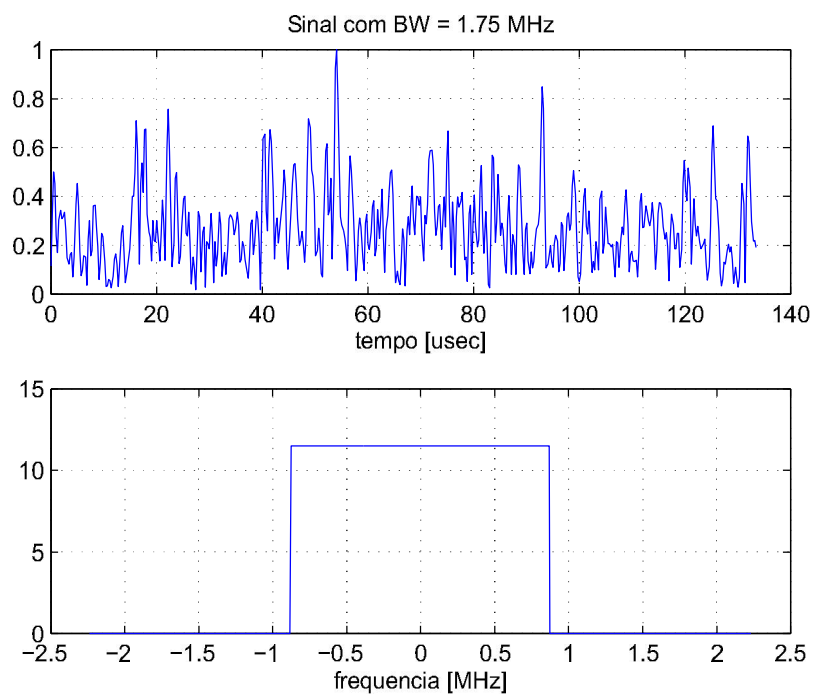


Figura 4.22: Sinal para calibração 1,75 MHz.

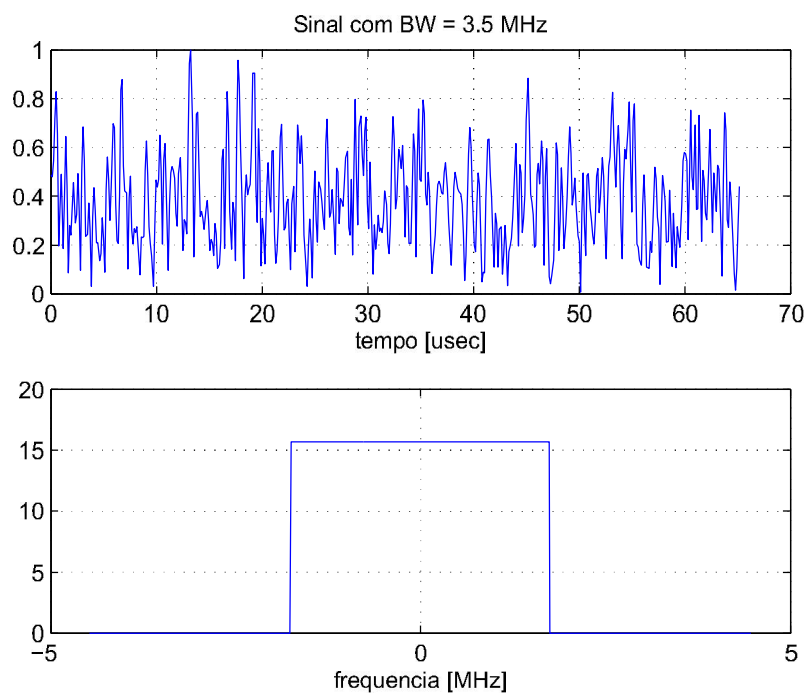


Figura 4.23: Sinal para calibração 3,5 MHz.

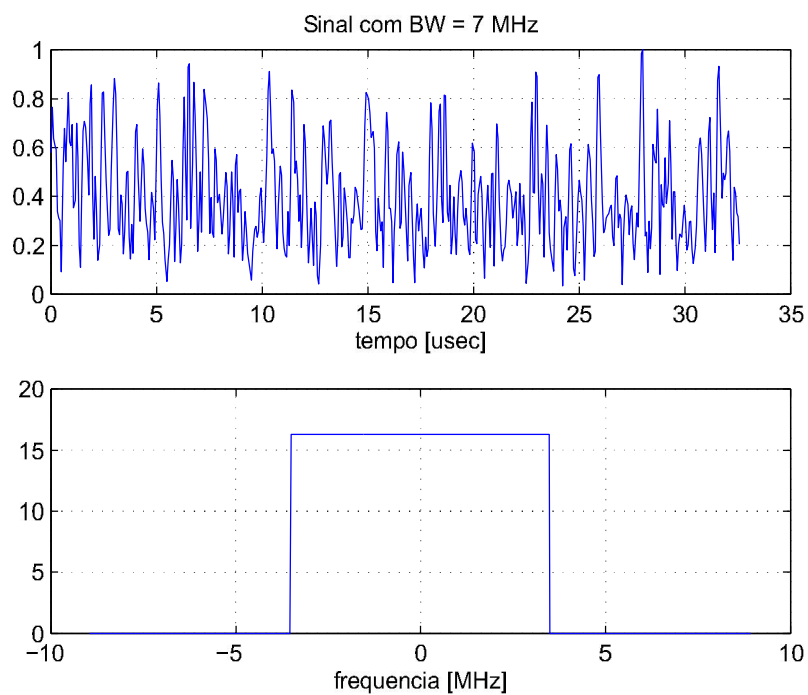


Figura 4.24: Sinal para calibração 7 MHz.

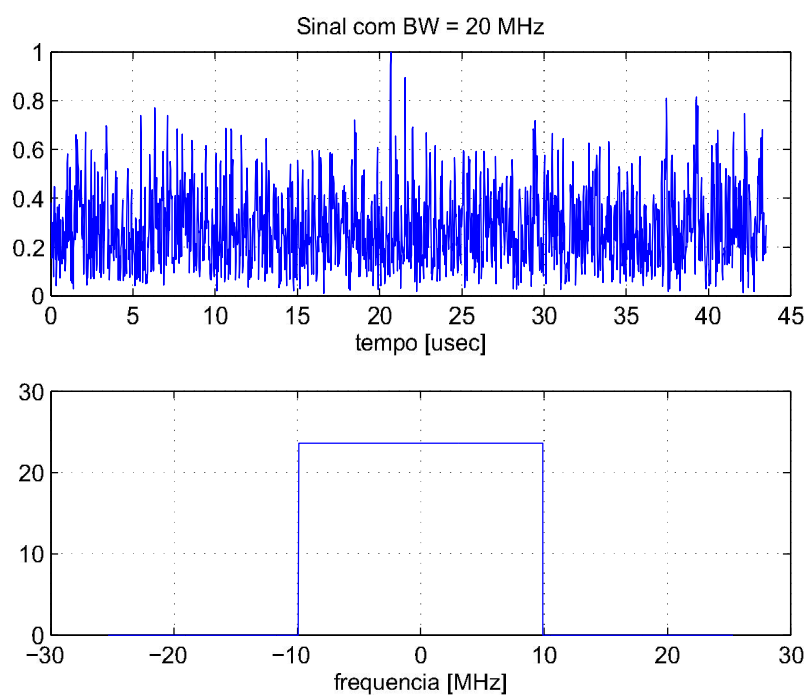


Figura 4.25: Sinal para calibração 20 MHz.

A resposta dos equipamentos a seguir:

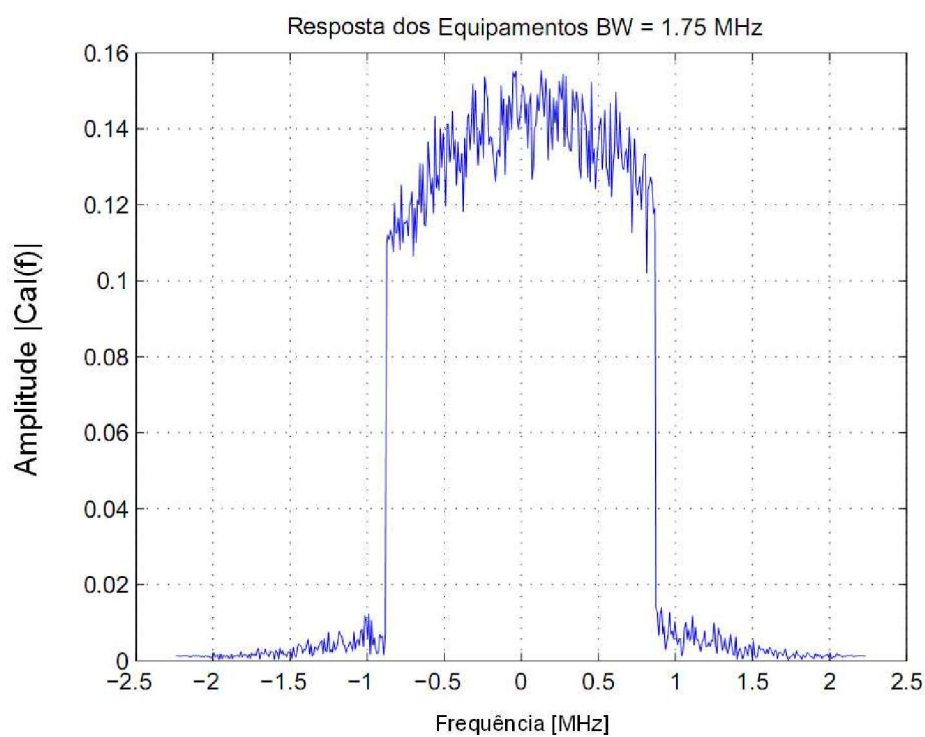


Figura 4.26: Resposta de equipamentos para 1,75 MHz.

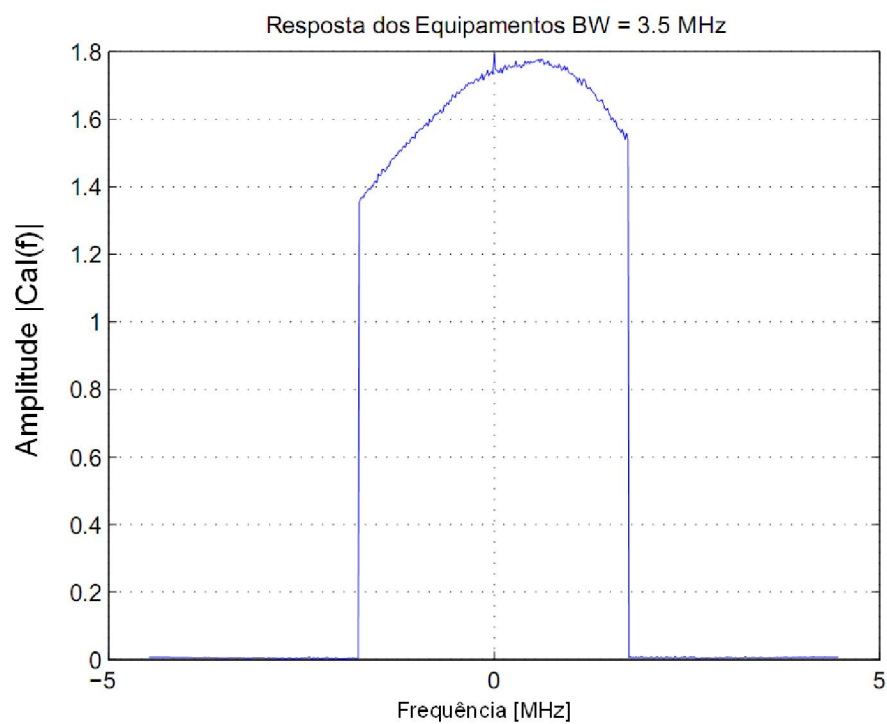


Figura 4.27: Resposta de equipamentos para 3,5 MHz.

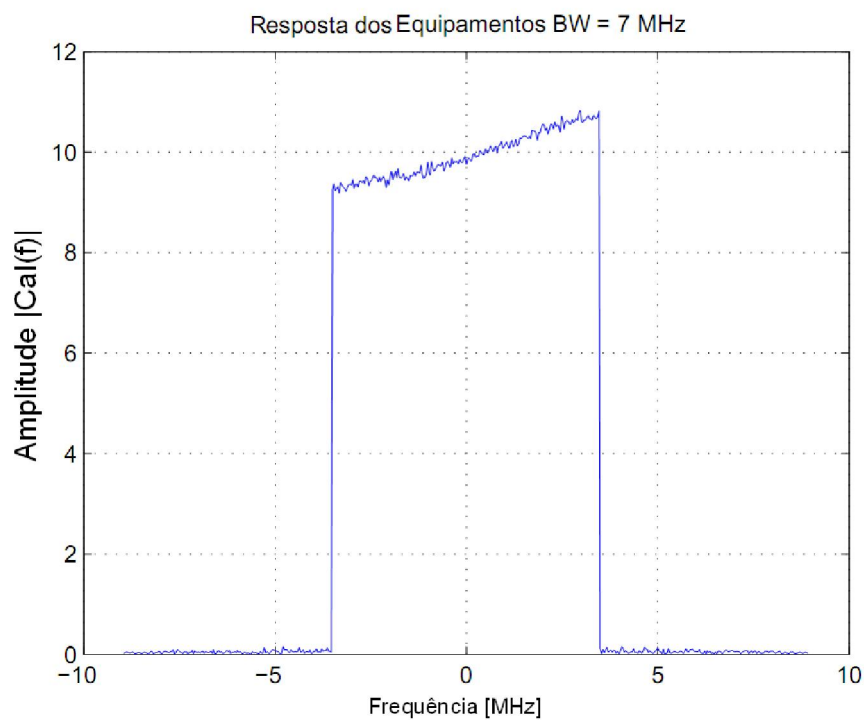


Figura 4.28: Resposta de equipamentos para 7 MHz.

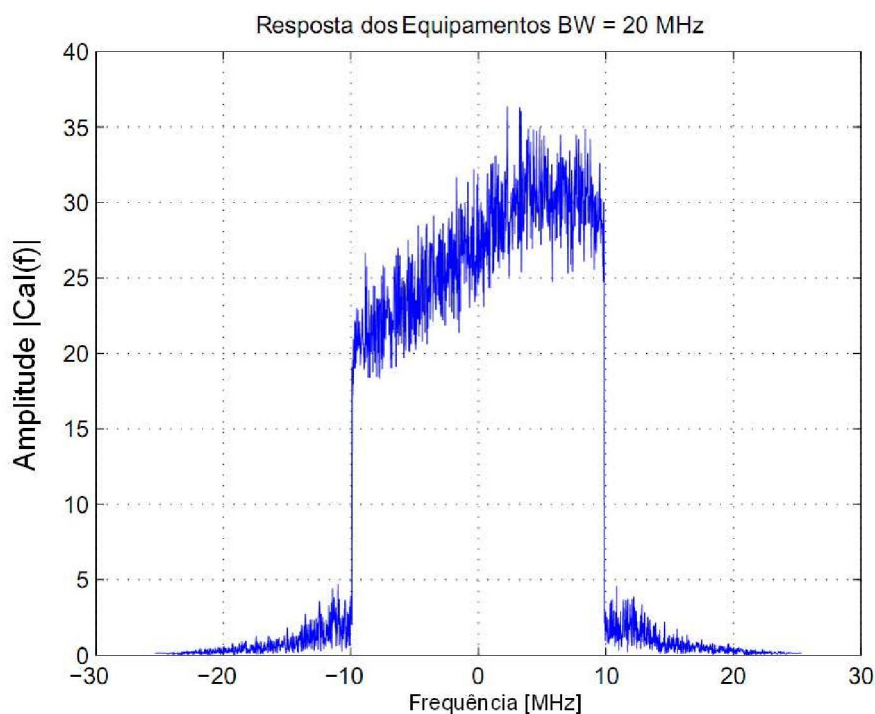


Figura 4.29: Resposta de equipamentos para 20 MHz.

A resposta dos equipamentos corresponde ao sinal $CAL(f)$ indicado no capítulo 3 e que permitirá compensar o efeito dos equipamentos nas medições realizadas na campanha.