# 5
# Sistema de medição

## 5.1
## *Setup* utilizado em Belém-PA

Para a realização da campanha de medições, foi montado um *setup* em UHF, na faixa de frequências de 700 MHz a 800 MHz, composto por três blocos:
a) Bloco de transmissão, representado pela figura 5.1, é responsável por transmitir o sinal *continuous wave* (CW), que consiste de uma portadora faixa estreita não modulada. O bloco é composto por um gerador de sinais, transmissor, cabos de transmissão e antena;

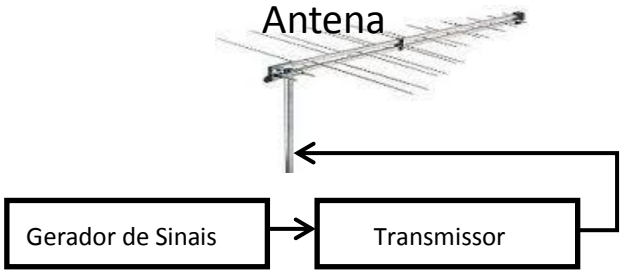


Figura 5.1 - Esquema do bloco de transmissão.

Este bloco de transmissão foi usado nas campanhas em Belém e em Rio de Janeiro.

O gerador de sinais (fig. 5.2) é responsável por gerar o sinal senoidal contínuo, nas frequências de 700 MHz, 750 MHz e 800 MHz, que serão posteriormente amplificados e transmitidos, em seus turnos. O modelo utilizado foi o Hewlett-Packard HP8648A, modelo que opera na faixa de 100 kHz a 1 GHz, com nível de saída ajustável. Na campanha de medições foi usado o nível de saída de 0 dBm em todas as frequências testadas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

Figura 5.2 - Gerador de sinais.

O amplificador de potência (fig. 5.3) tem a função de amplificar o sinal gerado para níveis compatíveis de potência, requeridos para a transmissão do sinal e de acordo com o planejamento da faixa dinâmica necessária à medição. O modelo utilizado foi o PST- AR *series*, modelo AR8829-20, com saída auto-ajustável de 20 W de potência, para sinais de entrada na faixa de -3 dBm a 10 dBm, com baixa distorção e geração de harmônicos. A potência na saída do transmissor, desta forma é de 43,01 dBm.

Figura 5.3 – Amplificador de potência.

O cabo de transmissão de RF é utilizado como meio de transmissão do sinal amplificado oriundo do transmissor para a antena e o cabo utilizado foi um antigo modelo pertencente ao laboratório do CETUC, PUC - Rio, sem quaisquer logotipos ou indicações de modelo, no padrão RG58 de 50 Ohms, em perfeitas condições físicas e elétricas, com o comprimento de 48 metros e atenuação medida em laboratório para este trabalho, conforme tabela 5.1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

Foi considerada desprezível a perda ocasionada pelo cabo de interligação entre o gerador e o transmissor, tanto pelos baixos valores da atenuação obtidos em laboratório, quanto pelo ganho auto-ajustável do gerador, que mantém sempre constante o nível de saída em seus terminais, nas faixas de frequência utilizadas.

| Frequência | 700 MHz | 750 MHz | 800 MHz |
|---|---|---|---|
| Atenuação medida (dB) | 7,06 | 7,09 | 7,84 |

Tabela 5.1 - Atenuação medida no cabo de transmissão.

A função da antena (fig. 5.4) é emitir o sinal amplificado pelo transmissor. A antena utilizada foi projetada especificamente para esse fim, do tipo log-periódica, com ganho constante na faixa de 700 MHz a 800 MHz, produzida pela empresa Polidesign, de São José dos Campos, SP. As especificações estão na tabela 5.2.

Figura 5.4 - Antenas de transmissão e recepção idênticas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

| | |
|---|---|
| Faixa de operação (MHz) | 650 - 850 |
| Ganho (dBi) | 11 |
| Largura de feixe vertical (graus) | 22 |
| Largura de feixe horizontal (graus) | 25 |
| Impedância (Ohms) | 50 |
| Perda de retorno (dB) | < 18 |
| Relação F/C (dB) | 22 |
| Potência Máxima (W) | 400 |
| Conector de entrada | N fêmea |
| VSWR | < 1,2 |
| Fixação em granpo "U" (Polegada) | 3 |
| Peso (kg) | 3,8 |
| Polarização | Horizontal |

Tabela 5.2 - Especificações das antenas.

Nas figuras 5.5 e 5.6 estão representados os diagramas de irradiação horizontal e vertical das antenas. De posse destes diagramas, pode-se determinar com boa precisão a área de cobertura e o ganho em determinada direção. Na figura 5.7 está o teste elétrico de bancada da antena, efetuado após sua confecção.

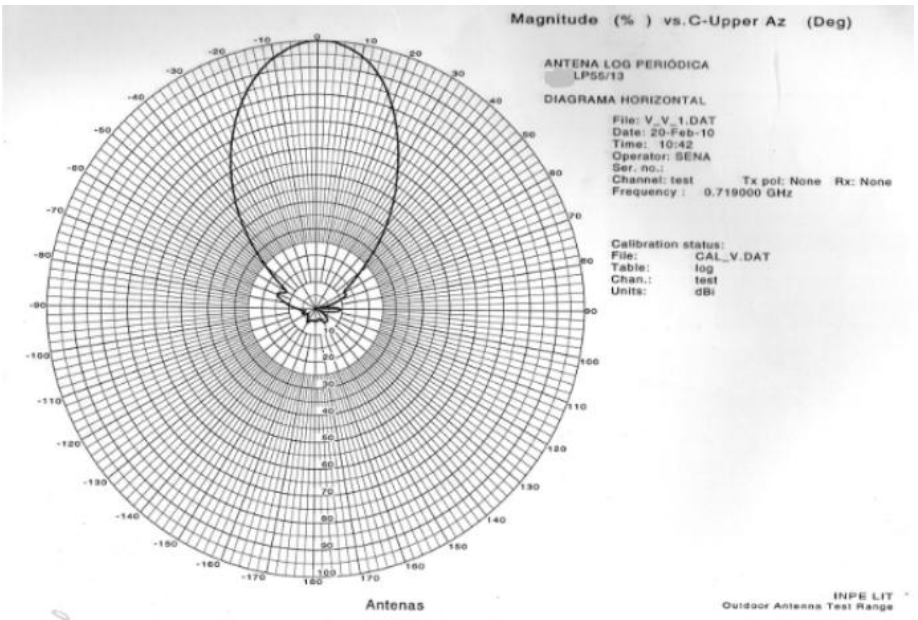


Figura 5.5 - Diagrama de irradiação horizontal da antena de transmissão.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

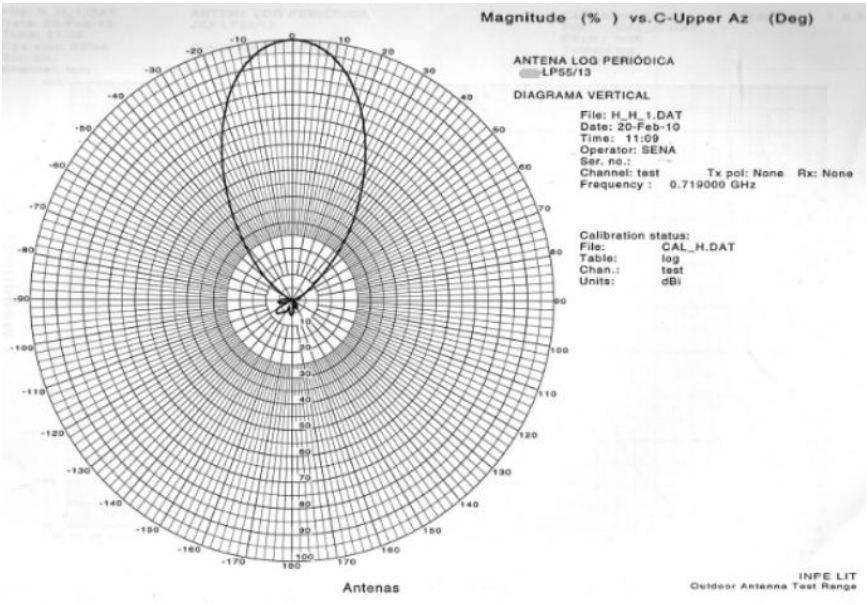


Figura 5.6 - Diagrama de irradiação vertical da antena de transmissão.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

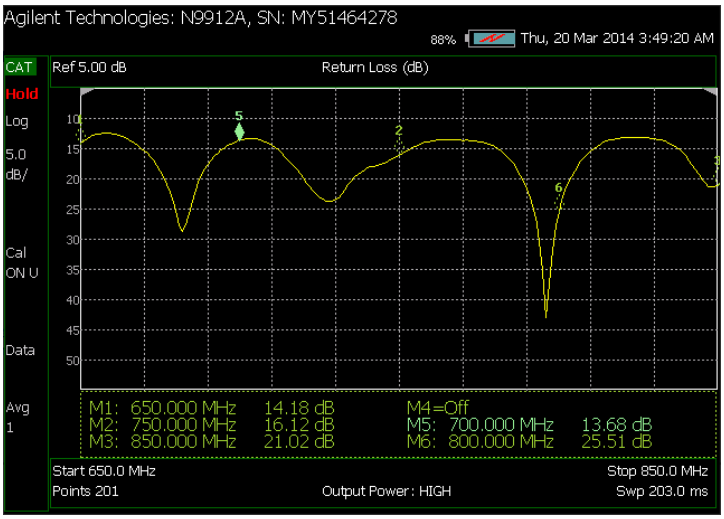


Figura 5.7 - Teste de bancada, com a perda de retorno (potência máxima - 400 W).

b) Bloco de recepção, representado na figura 5.8, é responsável por captar o sinal faixa estreita transmitido. Para a obtenção de boa precisão nos parâmetros que serão aquisitados é imprescindível que a potência irradiada mantenha-se constante durante todo o tempo da medição, e como o sinal transmitido é do tipo portadora não modulada (tom), de frequência fixa, a potência irradiada está toda contida na própria portadora, podendo ser determinada com facilidade e mantida constante. Em sinais com modulação, em geral, a potência total irradiada varia com as características intrínsecas dos símbolos do alfabeto escolhido, tornando a determinação de parâmetros de potência mais exaustiva;

Figura 5.8 - Bloco de recepção.

O bloco de recepção consiste de uma antena diretiva, um GPS (*global positioning system*), analisador de espectro e do cabo de transmissão.

A antena de recepção atua captando o sinal emitido pelo bloco de transmissão, e utilizou-se o mesmo modelo usado para emitir o sinal, pois ambas foram fabricadas juntas, podendo-se intercambiar de função as antenas sem qualquer diferença na operação. A mesma antena foi usada em Belém-PA e em Rio de Janeiro-RJ.

O analisador de espectro tem a função de quantificar a fração de potência captada pela antena de recepção, nas distâncias tomadas a partir da antena de transmissão, e quando acionado, captou cem amostras por segundo, calculando a média aritmética das amostras, em dBm, estando as antenas fixas na janela de tempo de um minuto.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

O modelo utilizado na campanha em Belém-PA foi o ANRITSU MS2692A (fig. 5.9), cedido pelo laboratório de computação e telecomunicações (LCT), da Universidade Federal do Pará (UFPA). Este equipamento portátil dispensa o uso de pesadas baterias, o que foi fundamental no processo de medição do ambiente floresta, em virtude da difícil locomoção sobre o terreno.

Figura 5.9 - ANRITSU MS2692A, utilizado nas medições em Belém-PA.

Possuindo uma interface de conexão USB, o analisador pode compartilhar as informações previamente gravadas. O valor da figura de ruído encontrada nos *datasheets* do fabricante para esse modelo, na faixa de frequência utilizada é de 1,8 dB, valor que será utilizado para o cálculo do balanço de potência da campanha em Belém.

O GPS utilizado em todas as localidades foi o GARMIN, modelo eTREX, de 12 canais, que possui uma precisão de , aproximadamente, 10 metros. Sua função foi a de verificar o posicionamento e o alinhamento da antena de recepção em relação à antena de transmissão, fornecendo assim dados de geometria confiáveis e necessários ao experimento. O GPS foi utilizado em ambas as localidades das campanhas.

O cabo de interligação entre a antena e o analisador foi da marca COLEMAN, modelo CL2X, flexível, padrão N, de 50 Ohms, de 2 metros de comprimento, acrescido de dois adaptadores padrões macho/fêmea, em cada extremidade, para a conexão com a antena e o analisador, as perdas medidas em laboratório para o cabo acrescido dos dois adaptadores, são dadas na tabela 5.3.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

| Frequência (MHz) | 700 | 750 | 800 |
|---|---|---|---|
| Perda medida (dB) | 2,06 | 2,22 | 2,25 |

Tabela 5.3 - Perdas no cabo de recepção.

c) Bloco de aquisição, tem por finalidade capturar os dados e parâmetros das medições para posterior análise. Este bloco é composto por um computador portátil IBM/PC do fabricante ACER, modelo 5420, conectado à interface USB do analisador de espectro, montando um arquivo de banco de dados, com os dados da potência média recebida em cada ponto geográfico, identificado pelo GPS. Foi utilizado em Belém-PA.

## 5.2
## *Setup* utilizado em Rio de Janeiro-RJ

O bloco de transmissão utilizado nas medições no Inmetro, localizado em Xerém, no município de Duque de Caxias, região metropolitana do Rio de Janeiro, foi o mesmo da campanha em Belém, apenas os cabos de transmissão foram diferentes, pois a antena foi posicionada com o auxílio da van de medições do Inmetro, que já dispunha de cabos instalados para esse fim. Nas alturas de antena de 12 metros e 6 metros foi utilizado o cabo padrão RG58 e sua atenuação aferida na tabela 5.4. Na altura da antena de 1,5 metro foi utilizado o cabo padrão RG58, com suas características de atenuação na tabela 5.5.

| Frequência (MHz) | 700 | 750 | 800 |
|---|---|---|---|
| Perda medida (dB) | 3,8 | 3,83 | 3,88 |

Tabela 5.4 - Perdas no cabo de transmissão da van.

| Frequência (MHz) | 700 | 750 | 800 |
|---|---|---|---|
| Perda medida (dB) | aproximadamente 0,5 | | |

Tabela 5.5 - Perdas no cabo de transmissão para a altura de 1,5 metro.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

No bloco de recepção, as únicas diferenças foram o uso do analisador de espectro da marca Rohde-Schwarz FSH-18 portátil (fig. 5.10) e a não utilização do cabo de recepção, já que o analisador foi conectado diretamente à antena. O Rohde-Schwarz FSH-18 foi configurado para compor o valor médio do sinal em cada ponto tomado, de forma similar ao utilizado em Belém, mas com a amostragem de 10 pontos por segundo, pelo tempo médio de 10 segundos. Seu valor de figura de ruído constante no *datasheet* do fabricante é de < 2 dBm até 1 GHz, e esse será o valor utilizado no cálculo do balanço de potência.

Não foi utilizado conectado no micro para a aquisição direta dos dados, que foram anotados em prancheta e inseridos manualmente no computador.

Figura 5.10 - Rohde-Schwarz FSH-18, utilizado nas medições no Inmetro - Rio.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

## 5.3
## Equipamentos de apoio

Nas campanhas de medições, foram utilizados os seguintes equipamentos necessários à medição:

a) Torre de antena de transmissão (fig. 5.10), confeccionada para este trabalho em tubos de alumínio de 3 polegadas, desmontável, com altura máxima de 12 metros, estaiada. Utilizada na campanha em Belém;

b) Dois tripés em alumínio (fig. 5.10), com altura de 1,5 metros, um como base da torre de transmissão e outro móvel, para a recepção. Utilizados nas duas campanhas;

c) Atenuador de sinal RF de 30 dB, utilizado na medição de espécimes vegetais isolados em pequenas distâncias, para adequar o nível de sinal transmitido;

d) Van de medições do Inmetro (fig. 5.11), com torre regulável até 13 metros, e energia própria para alimentação do bloco de transmissão.

Figura 5.10 - Tripés e torre de antena desmontável armadas.

Figura 5.11 - Van de medições do Inmetro.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

## 5.4
## Balanço de potência dos enlaces

A análise do Balanço de Potência do Enlace (BPE) determina as margens de potência necessárias para o perfeito funcionamento do sistema. O BPE é função da potência transmitida, da distância que se deseja cobrir com o sinal e da perda provocada pelo canal de propagação, assim como a capacidade de detecção do receptor e perdas provocadas pelos cabos de transmissão e recepção. O sinal transmitido deve chegar ao receptor com um nível maior que a mínima potência detectável.

Um parâmetro importante em sistemas de recepção é a figura de ruído (F), que indica a diferença entre as relações sinal/ruído (SNR) de entrada e saída de um sistema de recepção, respectivamente, conforme equação 5.1.

$$F\ (dB) = SRN_{entrada}\ - SNR_{saída} \tag{5.1}$$

Menores valores de *F* indicam um sistema com baixa introdução de ruídos. Em blocos de recepção multi-estágios existe um acréscimo de ruído em cada estágio, e a figura de ruído final está relacionada com as figuras de ruído de cada estágio e seus respectivos ganhos, pela equação 5.2.

$$F_s = F_1 + \frac{F_2-1}{G_1} + \frac{F_3-1}{G_1 G_2} + \frac{F_4-1}{G_1 G_2 G_3} + \cdots \tag{5.2}$$

$G_i$ e $F_i$ são os ganhos e figuras de ruído de cada estágio do sistema, respectivamente, em unidades absolutas. Por inspeção da equação 5.2, pode-se notar que o primeiro estágio é preponderante no cálculo da figura de ruído total, na medida em que os termos subsequentes têm menor impacto no cálculo final.

Na recepção, será utilizada apenas a antena e o analisador de espectro, o que facilita a obtenção da figura de ruído, pois só tem um estágio, e será usado o valor nominal da figura de ruído do analisador fornecido pelo fabricante.

A equação 5.3 representa o balanço de potência do enlace:

$$L_L = EIRP - L_P - MSD \tag{5.3}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

$L_L$ é o limite de desvanecimento, EIRP é a potência efetiva isotropicamente irradiada, $L_P$ é a perda de propagação no percurso e MSD é o menor valor do sinal que o receptor consegue captar.

O limite de desvanecimento indica o máximo valor de perda onde é possível captar o sinal emitido. Mesmo durante um grande desvanecimento, o sinal deve permanecer acima do nível de ruído, caso contrário nenhuma afirmação pode ser feita sobre sua potência. Na prática da medição, é importante assegurar que o sinal captado seja mantido longe do nível do ruído, pois à medida que se aproxima deste, aumentam os erros aleatórios na estimativa da intensidade do sinal.

A potência efetiva isotropicamente irradiada é definida como a potência que alimenta uma antena ideal, omnidirecional, sem perdas, de forma a conseguir a densidade de potência obtida com uma antena direcional, na direção de maior diretividade. Pode ser determinada por:

$$EIRP = P_{TX} + G_{TX} - L_C \tag{5.4}$$

$P_{TX}$ é a potência do transmissor em dBm, $G_{TX}$ é o ganho da antena de transmissão em dBi e $L_C$ é a perda no cabo, em dB.

Para a perda de propagação no percurso, foi considerado o modelo de propagação em espaço livre. Em geral o modelo é otimista e considera as perdas menores do que realmente são, mas para o cálculo do balanço de potência é uma boa estimativa inicial, e usou-se a equação 2.11, descrita no capítulo II.

O mínimo sinal detectável adotado é o nível de ruído no receptor. O ruído é térmico por natureza e está relacionado com a largura de banda selecionada para observar o sinal (SPAN). Pode-se aproximar o valor do MSD pela equação 5.5, abaixo:

$$MSD = -174\ \left(\frac{dBm}{Hz}\right) + 10\log B\ (Hz) + F(dB) \tag{5.5}$$

B é a largura de banda selecionada, em Hertz e F é a figura de ruído na recepção, em dB.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA

Nas campanhas de medição foi utilizada uma largura de banda de 100 kHz. Para fins de cálculo, foi considerado que a figura de ruído na recepção, que é composta pela antena e analisador, é tão somente a figura do analisador, pois sua contribuição é preponderante.

A distância máxima pretendida para as medições é da ordem de 1000 metros, assim calculando tem-se os seguintes parâmetros:

a) Medições em Belém-PA. Para o cálculo foi utilizado o valor de maior perda nos cabos utilizados, e a maior frequência (800 MHz), assim, conforme tabela 5.6;

| | |
|---|---|
| EIRP (dBm) | 46,17 |
| $L_p$ (dB) | 90,5 |
| $P_{tx}$ (dBm) | 35,17 |
| $G_{tx}$ (dBi) | 11 |
| MSD (dBm) | -122,2 |
| $L_L$ (dB) | 77,87 |

Tabela 5.6 - Parâmetros do Balanço de potência calculados para Belém- PA.

Desta forma é possível captar desvanecimentos da ordem de até 77,89 dB. Este limite é suficientemente grande e adequado para as medidas tomadas.

b) Medições em Rio de Janeiro-RJ. Para o cálculo foi utilizado o valor de maior perda nos cabos utilizados, e a maior frequência (800 MHz), assim, conforme tabela 5.7.

| | |
|---|---|
| EIRP (dBm) | 50,13 |
| $L_p$ (dB) | 90,5 |
| $P_{tx}$ (dBm) | 39,13 |
| $G_{tx}$ (dBi) | 11 |
| MSD (dBm) | 122 |
| $L_L$ (dB) | 81,63 |

Tabela 5.7 - Parâmetros do Balanço de potência calculados para Rio de Janeiro- RJ.

O limite de 81,63 é suficiente para as medições no Inmetro - Rio.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221978/CA