

## **5 Metodologias de medidas dos níveis de radiação das ERBs de um sistema celular**

As medidas dos níveis de radiação serão feitas através de duas metodologias. Na metodologia de medidas 1, o principal instrumento de medidas utilizado é o Analisador de Espectro que terá suas características mostradas no decorrer deste capítulo que, também contemplará as características do Medidor Isotrópico utilizado na metodologia 2. Inicialmente será feito um breve resumo do modelo de propagação utilizado como referência neste trabalho. As diretrizes gerais para as medidas de acordo com os critérios estabelecidos pela Anatel [4] serão mostradas na seção 5.2, incluindo os procedimentos adotados na realização das medidas. As medidas foram feitas com dois instrumentos de fabricantes diferentes, cuja metodologia e instrumental utilizados serão mostrados na seção 5.3. Para atender um dos objetivos propostos, que é o de verificar se os níveis de radiação medidos em áreas próximas às ERBs realmente atendem às recomendações de segurança das principais normas apresentadas no capítulo anterior, uma intensa campanha de medidas foi realizada ao longo de um ano em diferentes locais do Rio de Janeiro. Alguns cenários serão mostrados com os resultados das medidas na seção 5.4.

### **5.1 Modelo de propagação adotado como referência**

Em geral, o sinal rádio-móvel é extremamente variável. A potência média do sinal poderá ser constante em áreas relativamente pequenas, podendo variar lentamente à medida que o receptor se desloca. Superposto a esta variação lenta da potência média está o desvanecimento rápido, causado pela propagação por multipercursos nas proximidades do receptor.

É de fundamental importância para qualquer sistema de rádio, em especial para o sistema de comunicação móvel celular, que a intensidade do sinal seja adequada nas áreas de operação dos receptores. Deve-se prever uma potência mínima recebida em uma dada frequência de forma que a qualidade do sinal seja aceitável sem prejuízo para o sistema e para o usuário. Assim, no projeto de um

sistema, deve-se considerar a influência de fatores de urbanização, perfil do terreno, mecanismos de propagação, altura da torre, área de cobertura proposta e outros. Dependendo dos parâmetros envolvidos, diferentes modelos de predição da perda no percurso [7, 8] podem ser implementados na análise do sinal propagado. Neste trabalho será dada ênfase ao modelo de propagação no espaço livre. Este modelo é utilizado na predição do sinal recebido quando houver visibilidade entre o transmissor e o receptor, ou seja, sem qualquer tipo de obstrução no percurso.

Como na maioria dos modelos, no modelo de propagação no espaço livre a potência recebida ( $P_r$ ) decai com o aumento da distância. A seguir serão estabelecidas as correlações entre as potências transmitidas, recebidas, frequências e distâncias no modelo de espaço livre e o modelo de cálculo utilizado na estimativa das medidas.

### 5.1.1 Propagação no espaço livre

A propagação em espaço livre [36] é aquela que se realiza no vácuo ou numa atmosfera homogênea e isotrópica e na ausência de qualquer corpo capaz de criar perturbação na recepção. Conhecendo-se a potência de transmissão e o ganho da antena, pode-se calcular a densidade de potência a qualquer distância da fonte radiante na direção do máximo do diagrama de radiação. Na região de campo distante [7] o campo tem característica de onda plana, o que ocorre a partir da distância equivalente à razão entre duas vezes o valor do quadrado da maior dimensão da antena ( $L$ ) e o comprimento de onda ( $\lambda$ ), ou seja:

$$d = \frac{2L^2}{\lambda} \quad (5)$$

Considerando uma antena transmissora com ganho ( $G_t$ ) irradiando isotropicamente no espaço livre com uma potência ( $P_t$ ) em watts a uma dada distância ( $d$ ) em metros, uma densidade de potência ( $S$ ) é gerada e dada pela expressão:

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \quad [W / m^2] \quad (6)$$

Como a área efetiva de uma antena é dada por:

$$A_e = \frac{I^2 G_r}{4\pi} \quad (7)$$

A potência disponível na antena receptora (Rx) é dada por:

$$P_r = S A_e = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \cdot \frac{I^2 G_r}{4\pi} \quad (8)$$

Através da eq. (8) encontra-se a razão entre a potência recebida e potência transmitida, dada por:

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left( \frac{I}{4\pi d} \right)^2 \quad (9)$$

A eq. (9) é chamada de fórmula de Friis. A perda de propagação no espaço livre ( $L_p$ ) é definida pela razão entre a potência transmitida e a potência recebida, ou seja,

$$L_p = \frac{P_t}{P_r} = \frac{1}{G_t G_r} \left( \frac{4\pi d}{I} \right)^2 \quad (10)$$

Onde:

$$I = \frac{c}{f} = \frac{300}{f_{(MHz)}}$$

A perda de propagação, em dB, é dada pela eq. (11), portanto:

$$L_p = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log G_t - 10 \log G_r + 20 \log f + 20 \log d - K \quad (11)$$

Na eq. (11) o fator  $K$  é dado por:

$$K = 20 \log \frac{c}{4\pi} = 147,56 \quad (12)$$

Para antenas isotrópicas a perda básica de transmissão ( $L_B$ ) em decibéis, é dada pela expressão:

$$L_B = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 32,44 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log d_{(km)} \quad (13)$$

### 5.1.2

#### Modelo de cálculo utilizado na estimativa das medidas

Para o cálculo da densidade de potência do campo a um ponto situado a uma determinada distância da fonte emissora na região de campo distante, é dada por:

$$S = \frac{EIRP}{4\pi d^2} \quad [W / m^2] \quad (14)$$

onde, a  $EIRP$  (Potência Efetiva Radiada com relação a antena isotrópica), é definida pelo produto da potência transmitida ( $P_t$ ) com o ganho da antena ( $G_t$ ).

Na expressão (14) foi incorporado pela Anatel [1] um fator de reflexão de 2,56. Este fator é devido à possibilidade de campos refletidos se adicionarem em fase ao campo incidente direto. A densidade de potência a partir deste fator é dada por:

$$S = \frac{EIRP}{4\pi d^2} \times 2.56 \quad [W / m^2] \quad (15)$$

A expressão 15 é utilizada quando o ponto de interesse está no lóbulo principal da antena, e  $G_t$  corresponde ao ganho máximo da antena especificado pelo fabricante.

Em pontos localizados em outras direções, a diretividade da antena implica em uma atenuação apresentada pelo diagrama de radiação na direção desejada. Esta atenuação “a” é obtida a partir do diagrama fornecido pelo fabricante e o ângulo formado pelo eixo com origem no centro da antena e término no ponto de medição conforme figura 30.

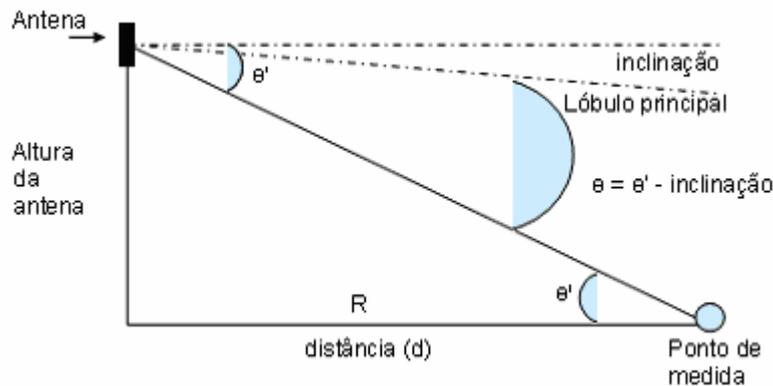


Figura 30 - Determinação do ângulo em relação ao lóbulo principal

A expressão (15) toma a seguinte forma:

$$S = \frac{EIRP}{4\pi d^2} \cdot \frac{1}{a} \times 2.56 \quad [W / m^2] \quad (16)$$

onde, “a”, é dada pela expressão abaixo e “A”, em dB, é lido no diagrama de radiação normalizado da antena na direção de interesse e considerando, ainda, o “tilt” (inclinação) da antena, normalmente dado para atender a cobertura planejada pelo sistema.

$$a = 10^{A/10} \quad (17)$$

Em se tratando de ondas planas a densidade de potência expressa em (14) se relaciona com a intensidade de campo elétrico (E) e a intensidade de campo magnético (H) pela expressão:

$$S = \frac{E^2}{h} = h H^2 \quad (18)$$

onde,  $h$  é a impedância intrínseca do meio de propagação. Para o espaço livre,  $h = h_0 = 120\pi = 377 \Omega$ .

Dentre as informações técnicas normalmente disponíveis dos sistemas radiantes utilizados nas ERBs, tem-se para cada canal uma determinada EIRP. Assim a EIRP total é dada pela EIRP por canal multiplicada pelo número de canais. Para uma situação de pior caso em que os transmissores estariam operando com a máxima potência e de forma simultânea, a densidade de potência total calculada para uma ERB com tecnologia digital TDMA-IS 136 com N canais, é dada por:

$$S = \frac{EIRP}{4\pi d^2} \times 2.56 \times N \quad [W / m^2] \quad (19)$$

Assim a soma das densidades de potências dos canais presentes em (19) corresponde ao caso em que N canais estão em fase, o que dificilmente aconteceria.

Para o cálculo da densidade de potência em sistemas com tecnologia GSM o fator 6,67 deve ser multiplicado à eq. (19). Para sistemas CDMA, o fator é igual a 41,66. Os fatores estão relacionados à largura de banda do canal (GSM: 200KHz; CDMA:1,25MHz com espaçamento de 200KHz) e à resolução de 30KHz medida no analisador de espectro.

## 5.2 Diretrizes gerais para execução das medidas

Antes de iniciar medições programadas em campo, alguns procedimentos devem ser seguidos:

- ✓ Providenciar um croqui ou planta de localização;
- ✓ Providenciar os dados técnicos da ERB;
- ✓ Os pontos preferenciais para medição devem ser os locais acessíveis ao público próximo as ERBs, e preferencialmente, devem estar situados dentro ou próximo do lóbulo principal do diagrama de radiação da antena transmissora;
- ✓ Efetuar, sempre, a calibração dos equipamentos, conforme procedimentos descritos no manual do fabricante [32]. A calibração

para o Medidor Isotrópico (MI) não é necessária, pois ela é feita, automaticamente, ao ligar o instrumento;

- ✓ Verificar todas as conexões do sistema de medidas antes de iniciar o processo de aquisição dos dados;
- ✓ Durante o processo de aquisição posicionar a sonda isotrópica de forma a obter o nível máximo do sinal visualizado diretamente no medidor;
- ✓ Verificar se as baterias para alimentação dos sistemas de medidas estão carregadas;
- ✓ Verificar se os demais acessórios estão em ordem, incluindo a unidade móvel para transporte.

### 5.3

#### **Instrumental e procedimentos utilizados no processo de medidas**

Para realização das medidas de exposição ocupacional e exposição da população em geral definidas em [1] e posterior análise dos resultados, duas metodologias foram aplicadas em locais previamente escolhidos. A metodologia de medidas 1 foi utilizada em todas as medidas realizadas ao longo do ano de 2004 e início de 2005. O principal instrumento utilizado, como já mencionado, foi o Analisador de Espectro, enquanto na metodologia 2, o Medidor Isotrópico. As duas configurações são bem diferentes em função dos equipamentos e acessórios utilizados. A seguir serão mostradas as configurações implementadas nas duas metodologias, as principais características de cada dispositivo e os procedimentos de cada uma.

### 5.3.1 Instrumental utilizado na metodologia de medidas 1

O instrumental utilizado na primeira metodologia está relacionado abaixo e tem a configuração mostrada na figura 31. Os equipamentos utilizados foram:

- ✓ Analisador de Espectro da Hewlett Packard, modelo HP-8594E
- ✓ Laptop
- ✓ Amplificador de Baixo Ruído (LNA)
- ✓ Antena Discônica com ganho de 2,14dBi
- ✓ Conversor AC/DC

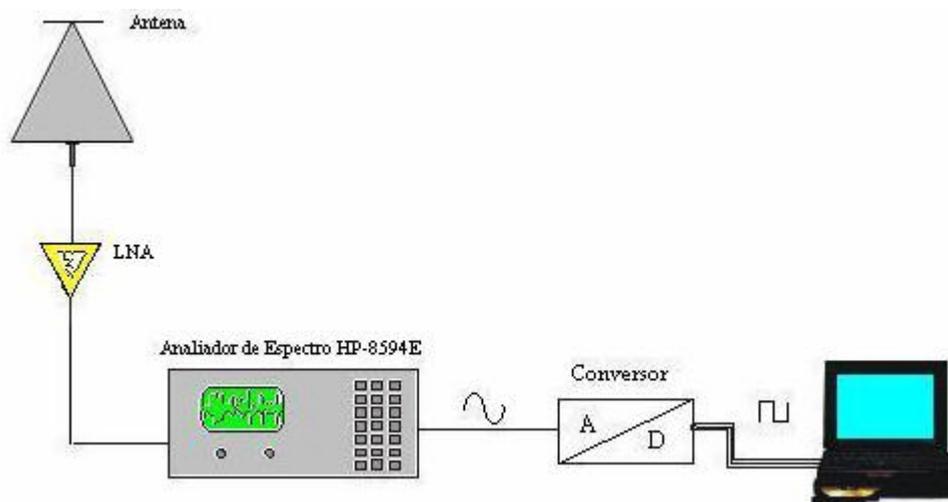


Figura 31 - Configuração dos equipamentos para medição na metodologia de medidas 1

O Analisador de Espectro (AE) fabricado pela Hewlett Packard, modelo HP8594E cobre a faixa de frequência de 9 KHz-2,9 GHz. É um medidor que permite realizar medição seletiva em frequência, principalmente, para os casos em que a energia eletromagnética presente é resultante da soma de componentes de diferentes frequências, e os limites variam em função da frequência, ou ainda, quando se deseja saber qual a contribuição de determinada operadora celular neste somatório. O AE apresenta uma grande quantidade de outras facilidades descritas no manual [32]. Através de uma interface serial o AE pode ser totalmente controlado pelo uso de um computador no processo de aquisição de dados. Seu certificado de calibração está mostrado no anexo 1.

A antena utilizada no sistema foi uma antena discônica de faixa larga projetada para cobrir a faixa de frequência do sistema celular. Seu coeficiente de reflexão para a faixa de 800-2900MHz é mostrado na figura 32. O diagrama de radiação e outras características podem ser encontrados em [38].

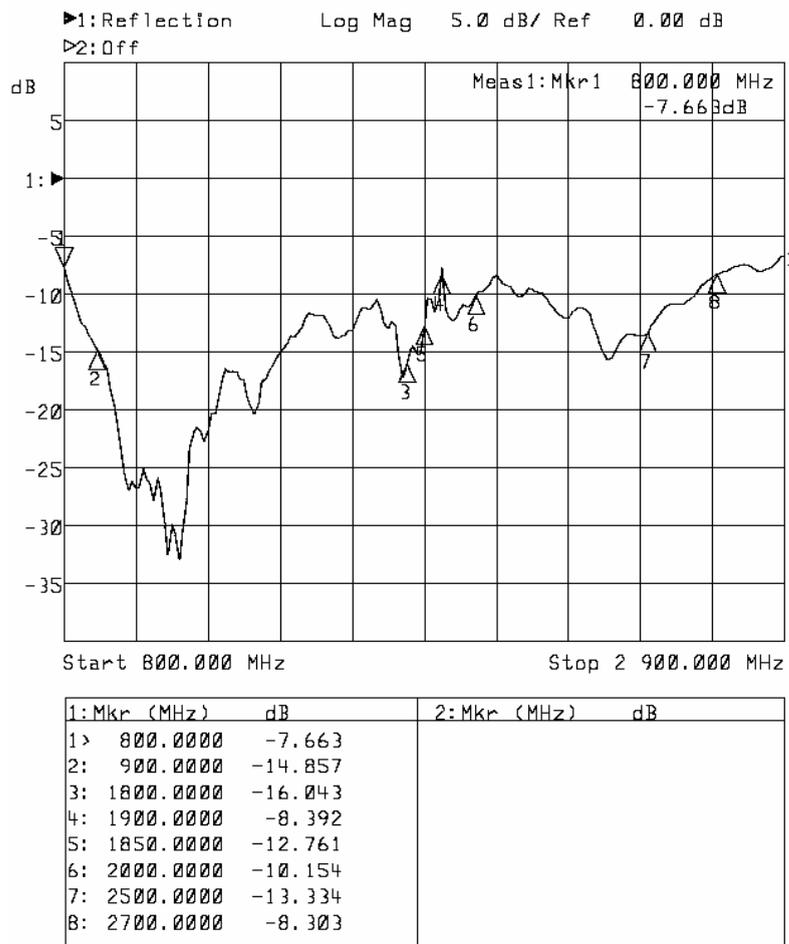


Figura 32 - Curva da perda de retorno da antena discônica medida pelo Analisador de Rede

O amplificador de baixo ruído (LNA) fabricado pela MITEQ, modelo AM 5A-0520, NS 194496 cobre uma faixa de 500-2000MHz, e foi utilizado para aumentar a sensibilidade do sistema de medidas. Ele apresenta um ganho de 50dB e uma figura de ruído de 1,9 dB, e é alimentado com 15Vcc.

O conversor (A/D), dispositivo que permite a aquisição dos sinais, é uma placa de aquisição DAQ-AI-16XE-50 da *National Instruments* [37], cujas características principais são:

- ✓ Número de canais: 16 (modo simples) ou 16(modos diferenciais)
- ✓ Taxa de amostragem máxima 200 KS/s(canais simples)
- ✓ Ganho: 1 -  $\pm 10V$  (bipolar) ou 0 a 10 V (unipolar)
  - 2 -  $\pm 5V$  (bipolar) ou 0 a 5 V (unipolar)
  - 10 -  $\pm 1V$  (bipolar) ou 0 a 1 V (unipolar)
  - 100 -  $\pm 0,1V$  (bipolar) ou 0 a 0,1 V (unipolar)
- ✓ Tamanho do *buffer* FIFO: 1024 amostras
- ✓ Conector I/O: PCMCIA de 68 posições

O computador utilizado (Laptop) foi um processador Pentium com “clock” de 3GHz e 384MHz de memória RAM.

Para medidas de exposição a campos eletromagnéticos para a população em geral em ambientes externos é necessário alimentar a configuração mostrada na figura 32 com um sistema de energia não comercial. Este sistema é composto pelos equipamentos auxiliares mostrados na figura 33. Neste sistema o Inversor converte os 12Vcc para 120Vca. Esta tensão é controlada pelo Regulador e alimenta o AE, o Laptop e também a fonte de corrente contínua que, por sua vez, irá alimentar o LNA. Todos os equipamentos do sistema de medidas são acondicionados no interior de uma unidade móvel, especialmente adaptada para a condição de um laboratório móvel [39].

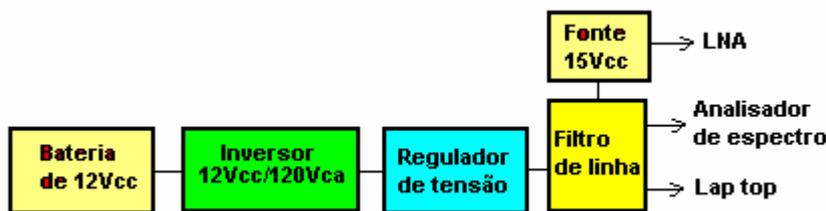


Figura 33 - Sistema de energia não comercial para alimentar os equipamentos na metodologia de medidas 1

### 5.3.2 Instrumental utilizado na metodologia de medidas 2

O instrumental utilizado na metodologia de medidas 2 foi um Medidor Isotrópico (MI) de faixa larga PMM 8053 A e uma sonda de campo elétrico EP-330. O MI mostrado na figura 34 tem como principais características os parâmetros abaixo:

- ✓ Cobre uma faixa de frequência de 5Hz a 40GHz
- ✓ Processador de alta capacidade e um “display” de cristal líquido (LCD) que permite visualizar os valores dos campos medidos em: V/m, A/m, W/m<sup>2</sup> ou mW/cm<sup>2</sup>
- ✓ Procedimento automático de autoteste ao ligar o medidor
- ✓ Memória interna para até 32700 amostras podendo armazenar dados para posterior leitura e transferência
- ✓ Leve e compacto: pesa 1,07Kg e suas dimensões são 10,8cm de largura, 24 cm de comprimento e 5cm de espessura
- ✓ Suas chaves multifunções permitem diversos modos de operação e entrada de dados
- ✓ Interface RS232 para operação e atualização remota
- ✓ Entrada e saída óptica para sensores
- ✓ Entrada para carregador de bateria de 10 a 15 Vcc
- ✓ Automação de 4 horas após plena carga

Outras facilidades e demais acessórios opcionais podem ser encontrados em [40]. Seu certificado de calibração está mostrado no anexo 2.



Figura 34 - O Medidor Isotrópico PMM 8053 A

A sonda isotrópica EP-330, parte integrante deste sistema de medidas está mostrada na figura 35 e sua resposta em frequência na figura 36. A sonda apresenta as principais características conforme abaixo:

- ✓ Cobre uma faixa de frequência de 100KHz-3GHz

- ✓ Cobre uma faixa para o campo elétrico de 0,3 a 300V/m.
- ✓ Sensibilidade de 0,3V/m para campo elétrico
- ✓ Leve e compacta: 31,7cm de comprimento e diâmetro de 5,8cm e pesa 100g

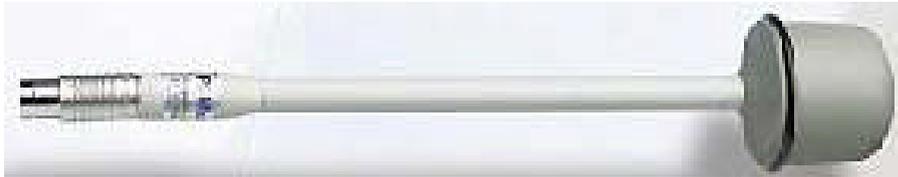


Figura 35 - Sonda de campo elétrico EP-330 [40]

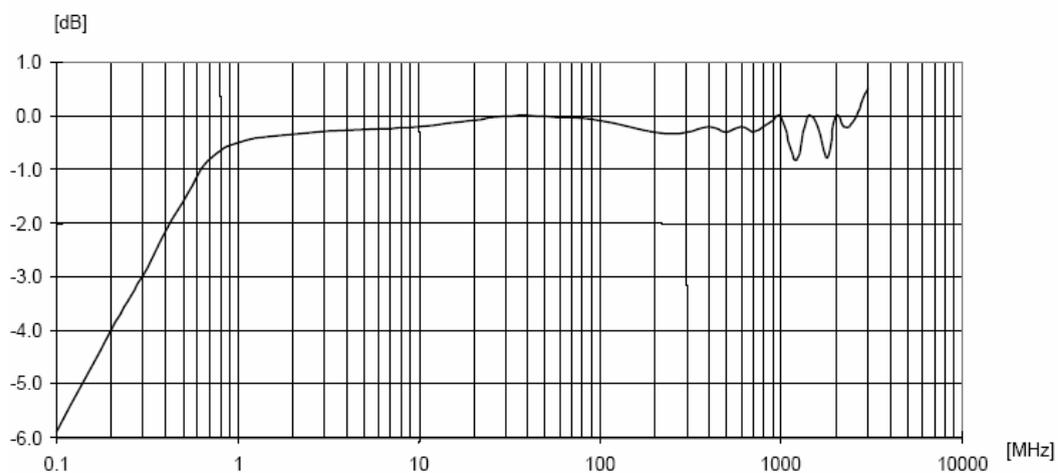


Figura 36 - Resposta em frequência para a sonda EP-330 [40]

Note que a resposta em frequência da figura acima apresenta um valor aproximadamente constante em torno de 0 dB para a faixa de frequência de interesse.

### 5.3.3 Procedimentos utilizados no processo de medidas – Metodologia 1

A intensa campanha de medidas realizadas nas ERBs teve como principal objetivo a verificação dos níveis de radiação emitidos por suas antenas e através de uma análise posterior, comparar estes níveis aos recomendados como seguros pela Anatel e pelas principais normas internacionais. Os procedimentos adotados de acordo com as normas foram seguidos em sua maioria e estão mostrados abaixo:

- ✓ No local das medidas preparar o instrumental seguindo as diretrizes gerais listadas em 5.2;
- ✓ Ligar o AE e realizar a auto calibração conforme rotina do manual [32];
- ✓ Inserir a frequência inicial e final dentro da banda da operadora para localizar o canal de controle do setor da ERB, caso não disponha do mesmo;
- ✓ Selecionar o nível de referência, normalmente 0 dBm;
- ✓ Selecionar e centralizar o “marcador” através das chaves: *peak search*, *mkr fctn*, *track on*, respectivamente;
- ✓ Posicionar a sonda de forma a obter o melhor sinal;
- ✓ Selecionar o *span* e *span zero* durante o tempo programado;
- ✓ Aquisitar o nível de potência do sinal recebido (dBm) mostrado na tela do AE, reproduzido e armazenado num arquivo Laptop por 2 minutos. Através de um programa em Matlab (versão V6.5), os níveis de potência são convertidos em densidade de potência (S);
- ✓ A densidade de potência total será o produto de “S” pelo número de canais para o setor da ERB em análise;
- ✓ Repetir os procedimentos para os demais setores.

O programa em Matlab utilizado no processo de conversão das medidas para densidade de potência foi desenvolvido pela equipe do laboratório e está mostrado no anexo 3.

#### **5.3.4 Procedimentos utilizados no processo de medidas – Metodologia 2**

Para os mesmos pontos medidos na primeira metodologia, os seguintes procedimentos foram implementados para o processo de medidas com Medidor Isotrópico:

- ✓ Conectar a sonda isotrópica EP-330 ao Medidor Isotrópico PMM 8053 A, de forma que o ponto vermelho marcado na base da sonda deve estar voltado para o painel frontal do medidor. A conexão estará perfeita quando o operador ouvir um “click”;
- ✓ Ligar o Medidor Isotrópico que automaticamente:

- reconhecerá a sonda
- indicará o estado de carga da bateria;
- ✓ Através das chaves multifunções selecionar a unidade de medidas desejada (V/m, A/m, W/m<sup>2</sup> ou mW/cm<sup>2</sup>) e através do menu de entrada de dados (SET) programar o modo e o tempo de aquisição dos dados(30s, 1min; 2min, e outros);
- ✓ Posicionar a sonda de forma a obter o melhor sinal (direção do lóbulo principal);
- ✓ Acionar RUN para iniciar o processo de medidas;
- ✓ Acionar GET para aquisitar os dados;
- ✓ Após o tempo programado (2 minutos) no medidor aparecerá na tela o símbolo “v” ao lado do valor médio aquisitado de campo elétrico (E) ou da densidade de potência (S) do setor da ERB;
- ✓ Ao acionar o STOP, o medidor estará pronto para novas aquisições;
- ✓ Repetir os procedimentos anteriores para os demais setores da ERB em análise.

Os procedimentos implementados nesta metodologia só foram possíveis mediante o empréstimo do medidor pela Empresa ANRITSU ELETRÔNICA LTDA, representante do produto no Brasil. Antes da realização das medidas em campo, uma série de medidas foi realizada no laboratório com o objetivo de tornar familiar o uso do medidor portátil PMM 8053 A. Foram realizadas 101 medidas com tempos diferentes de aquisição e observou-se que os resultados eram semelhantes com variações na terceira casa decimal. Portanto, foi adotado um tempo de 2 minutos para aquisição de cada ponto. Um exemplo de uma aquisição de dados, realizado durante os testes, aparece na tela do medidor conforme indicado na figura 37.

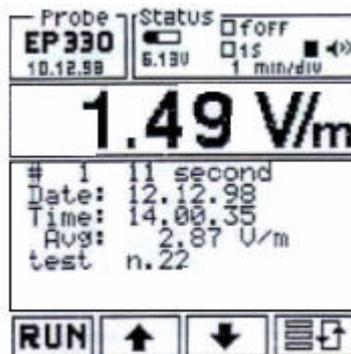


Figura 37 - Exemplo de uma aquisição de uma medida [40]

#### 5.4 Cenários e Resultados das medidas realizadas nas ERBs

Nesta seção são mostrados alguns locais, dentre vários, onde foram realizadas as medidas dos níveis de radiação dos campos eletromagnéticos (CEM) emitidos pelas antenas das ERBs, e também, os resultados destas medidas. Dois tipos de medidas de exposição foram feitas: Exposição Ocupacional e Exposição da População em Geral. O primeiro, chamado de exposição controlada, é caracterizado por uma situação em que as pessoas estão expostas a campos de RF, em consequência de seu trabalho, desde que estejam cientes do potencial de exposição e possam exercer um controle sobre a sua permanência no local ou tomar medidas preventivas. O segundo, também chamado de exposição não-controlada, caracteriza-se pela situação em que a população em geral possa estar exposta a campos de RF, ou ainda, pessoas possam estar expostas em consequência de seu trabalho, sem estar cientes da exposição ou sem possibilidade de adotar medidas preventivas. Os dois tipos de exposição estão identificados pelas figuras 38 e 39 para ambientes internos e externos, respectivamente.



Figura 38 - Exemplo de medidas para exposição populacional em ambiente interno



Figura 39 - Exemplo de medidas para exposição ocupacional em ambiente externo

Os procedimentos de medidas foram implementados em diversos locais na cidade do Rio de Janeiro. Cinco deles são mostrados em seguida com os respectivos resultados apresentados em tabela e graficamente.

#### 5.4.1 Locais e realização das medidas

As medidas dos níveis de radiação utilizando as duas metodologias foram realizadas nos seguintes locais:

- ✓ Copacabana – Rua Duvivier, 51
- ✓ Méier – Rua Pe. Manuel da Nóbrega
- ✓ Botafogo – Rua Voluntários da Pátria, 143
- ✓ Gávea – Rua Marquês de São Vicente - 225, PUC
- ✓ Alto da Boa Vista – Rua Martins Leão.

A figura 40 mostra a localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para população em geral na ERB no bairro de Copacabana. A antena é do tipo omnidirecional, modelo K751167 com uma EIRP de 34.58dBm, operando em

892,71 MHz. Através das metodologias descritas os pontos selecionados foram medidos e registrados na tabela 11.

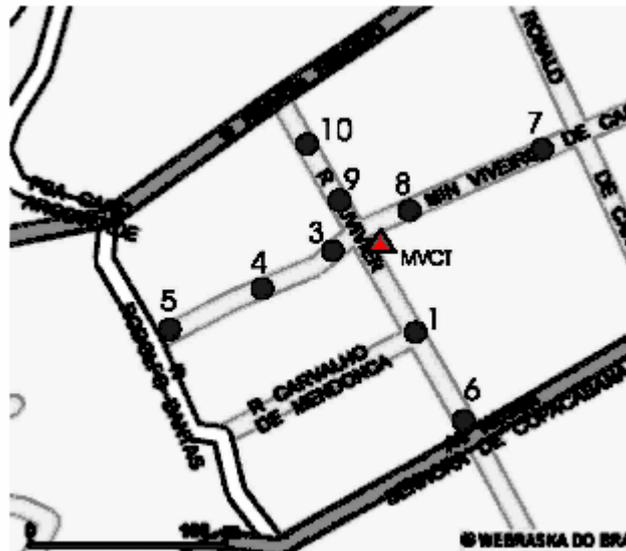


Figura 40 - Localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para população em geral, na frequência de 892,71 MHz, no bairro de Copacabana-RJ

Pontos	Densidade de Potência (mW/cm <sup>2</sup> )			d (m)
	MI	AE	Teórico	
P1	3,63E-05	1,98E-06	3,70E-05	40
P2	9,55E-05	4,54E-06	8,33E-05	26
P3	1,09E-04	5,94E-06	8,33E-05	26
P4	6,63E-05	1,42E-06	1,34E-05	66
P5	0,00E+00	5,87E-08	3,46E-06	130
P6	0,00E+00	2,05E-08	4,42E-06	115
P7	2,44E-04	1,56E-08	5,85E-06	100
P8	1,66E-04	1,09E-06	8,33E-05	26
P9	6,11E-05	2,64E-06	5,37E-05	33
P10	0,00E+00	4,36E-06	1,19E-05	70

Tabela 11 – Valores de densidades de potência medidos e teóricos para os pontos selecionados na ERB Copacabana

A tabela 11 mostra, também, o valor teórico calculado em função da distância conforme (6) com o acréscimo do fator de reflexão [1].

Os pontos selecionados nas proximidades da ERB foram inicialmente medidos de acordo com os procedimentos e diretrizes adotados neste capítulo. Nota-se que o ponto 3 apresenta o maior valor de densidade de potência tanto medido quanto calculado. Outro aspecto que pode ser observado são os valores dos pontos 5, 6 e 10 aquiritados através do medidor isotrópico PMM 8053 A, os quais apresentaram como medida o valor “zero”, diferentemente dos valores aquiritados com o Analisador de Espectro e dos valores teóricos. A diferença observada é, em princípio, devida à sensibilidade dos medidores, maior para o AE e também pela presença da vegetação obstruindo em parte a linha de visada. Os valores dos níveis de densidade de potência registrados na tabela 11 estão, também, representados graficamente na figura 41 a seguir.

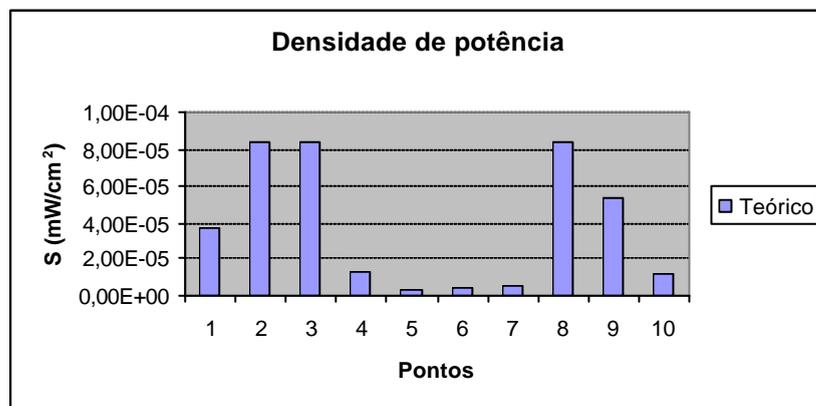
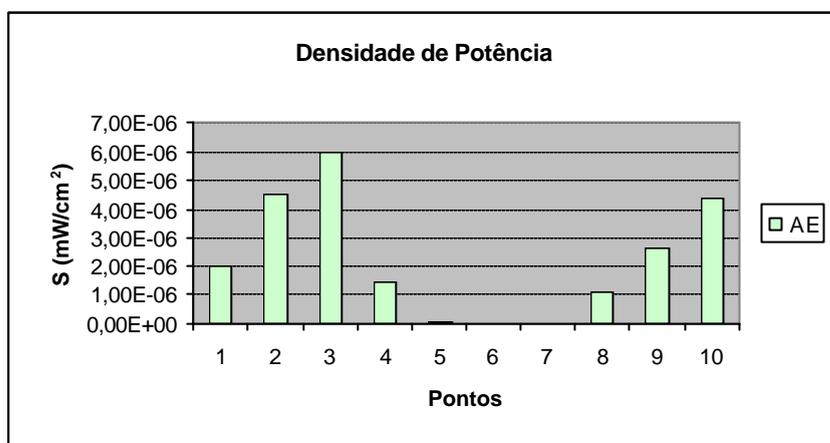
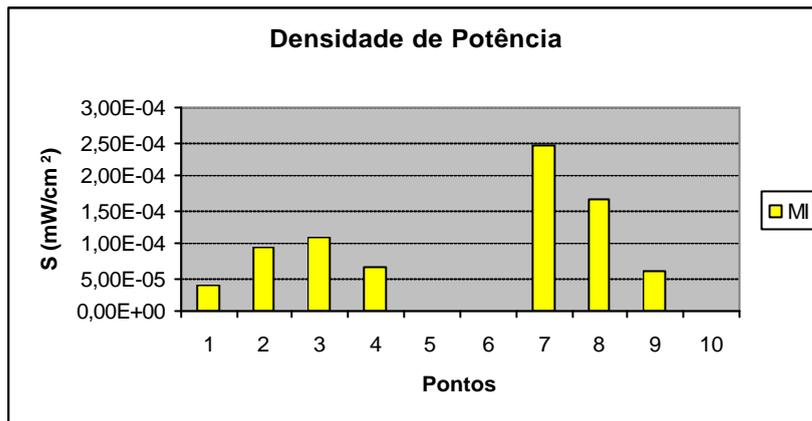


Figura 41 - Representação gráfica dos pontos medidos e teóricos na ERB instalada em Copacabana

O segundo local medido foi no bairro do Méier. A figura 42 mostra a localização dos pontos de medidas de exposição a CEM para população em geral nas proximidades da ERB. As antenas são diretivas configuradas com 3 setores de 120°. Com uma EIRP de 48.71dBm operando na frequência de 893 MHz. Através

das metodologias propostas os pontos selecionados foram medidos e registrados na tabela 12.

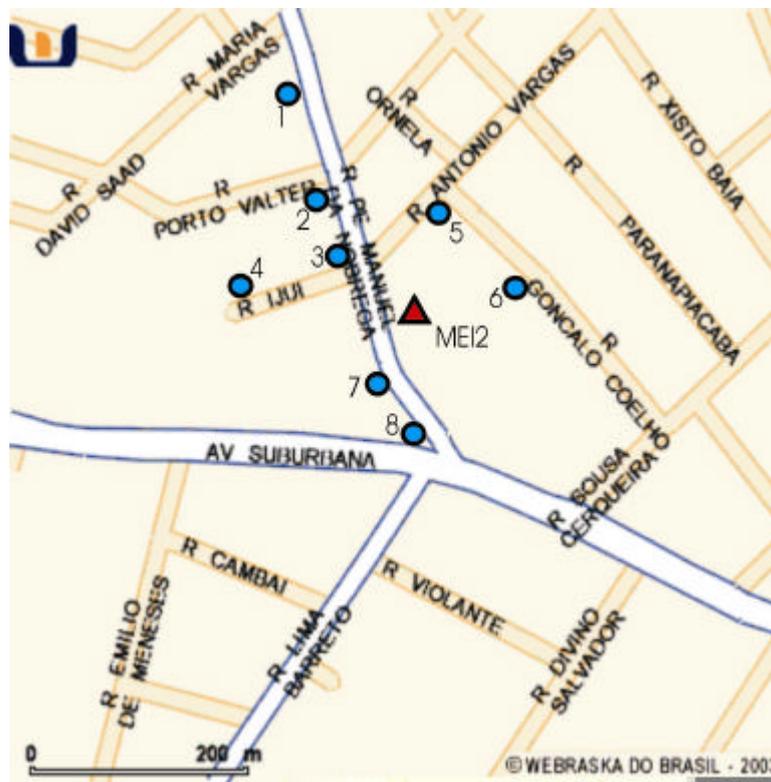


Figura 42 - Localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para população em geral, na frequência de 893 MHz, no bairro do Méier-RJ

Pontos	Densidade de Potência (mW/cm <sup>2</sup> )			
	MI	AE	Teórico	d (m)
P1	0,00E+00	1,49E-07	2,18E-05	180
P2	9,55E-05	8,11E-07	5,17E-05	117
P3	3,21E-06	9,17E-07	1,00E-04	60
P4	1,06E-05	6,31E-06	3,61E-05	140
P5	2,72E-05	2,22E-06	7,07E-05	100
P6	7,73E-05	9,07E-08	5,17E-05	117
P7	5,65E-04	5,64E-06	1,03E-04	83
P8	1,66E-05	3,51E-07	5,17E-05	117

Tabela 12 – valores de densidades de potência medidos e teóricos para os pontos selecionados na ERB instalada no Méier

Os níveis de densidade de potência medidos nas proximidades da ERB e os valores teóricos registrados na tabela 12 estão representados graficamente na figura 43 a seguir.

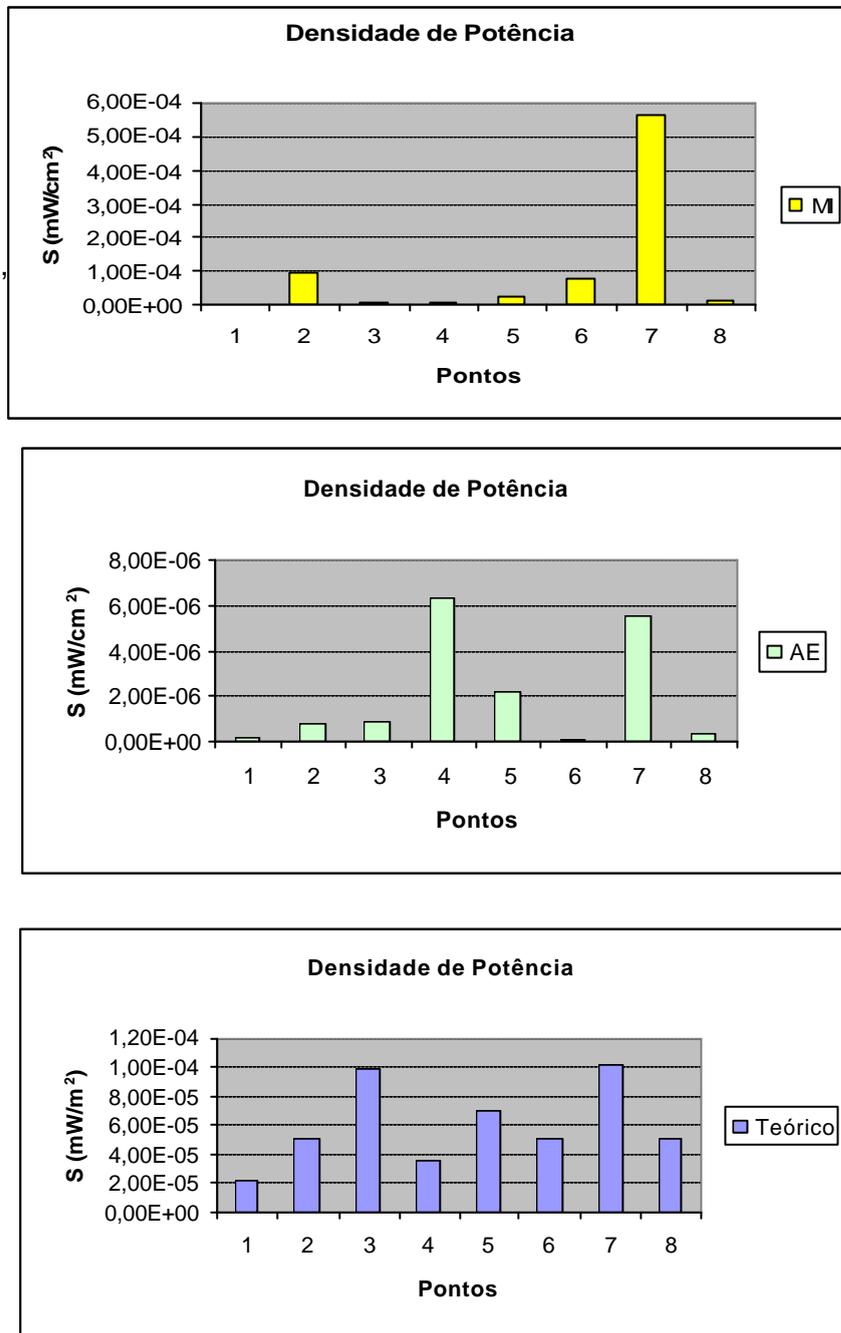


Figura 43 - Representação gráfica dos pontos medidos e teóricos na ERB instalada no Méier

Note que os maiores valores, tanto os medidos, quanto os calculados, estão bem abaixo dos limites recomendados como seguros pelas normas nacionais e internacionais para a faixa de frequência dos celulares mostradas no capítulo 4.

Botafogo foi o terceiro local onde as medidas de exposição a campos eletromagnéticos foram realizadas, tanto para exposição ocupacional (externa), quanto para a população em geral (interna). A ERB instalada no topo de um prédio (rooftop) com suas antenas externas (Ant1 e Ant2) cobre determinados setores para uma EIRP de 40,2 dBm. As antenas omni foram instaladas para cobrir ambientes internos específicos (3º e 4º andares) para uma EIRP de 26,64 dBm. Os croquis de localização e os pontos medidos para esta Estação Rádio Base estão mostrados na figura 44.

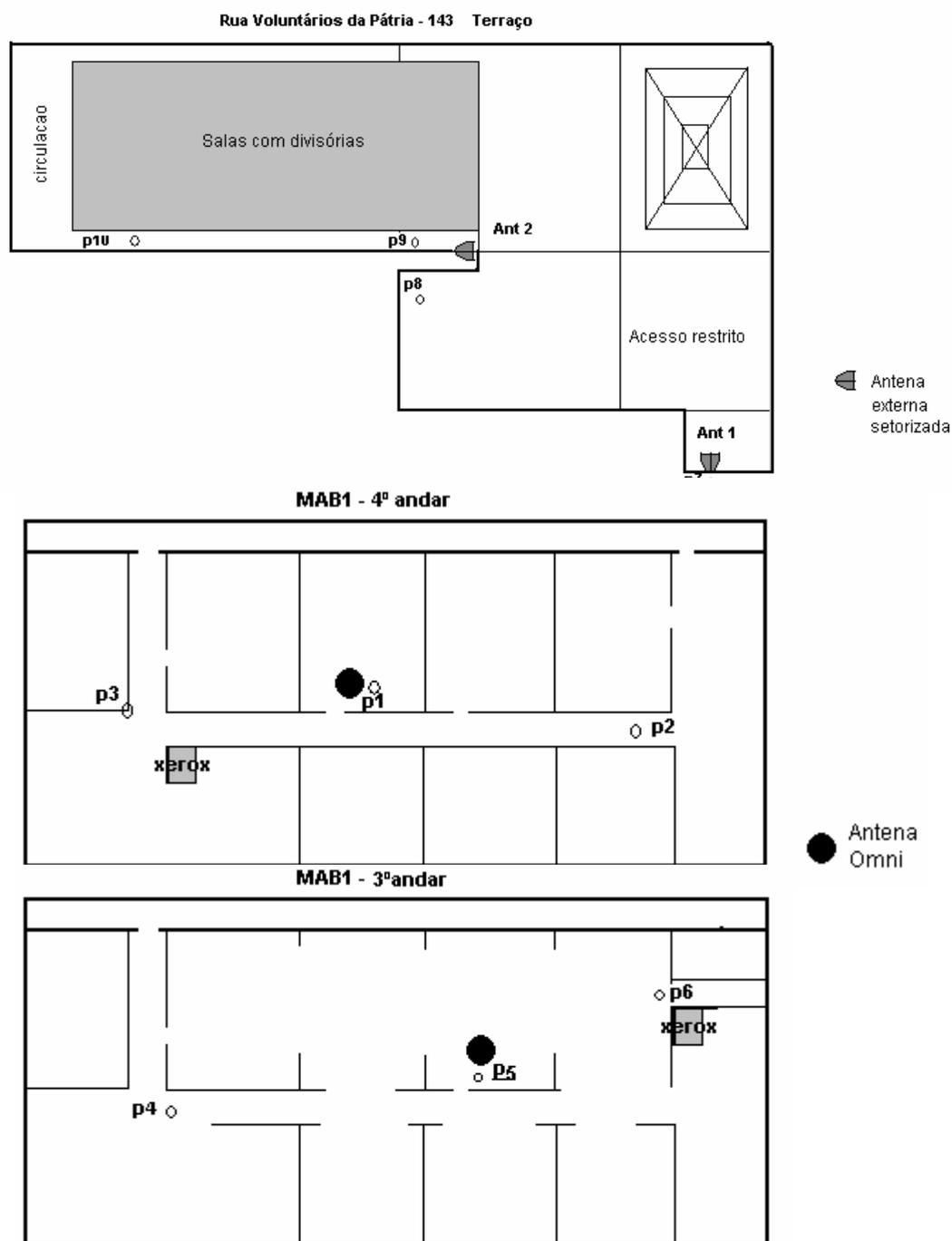


Figura 44 - Croquis para localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para exposição ocupacional e para população em geral em Botafogo, na Rua Voluntários da Pátria 143, terraço, 3º e 4º andares, na frequência de 893 MHz

Conforme procedimentos adotados anteriormente, os resultados das medidas realizadas e dos cálculos teóricos estão registrados na tabela 13 e visualizados graficamente na figura 45. Os pontos 1, 5 e 7 se caracterizam como locais de exposição ocupacional. São áreas restritas à maioria da população, podendo circular apenas as pessoas autorizadas. Os demais pontos são de circulação de pessoas que trabalham no prédio. Os 6 primeiros pontos de medição são internos (P1 a P6) e os demais são externos (P7 a P10).

Densidade de Potência (mW/cm <sup>2</sup> )				
Pontos	MI	AE	Teórico	d (m)
P1	6,90E-03	2,85E-02	1,04E-01	0,3
P2	1,49E-04	6,48E-03	3,76E-04	5
P3	2,39E-05		9,40E-05	10
P4	9,87E-05		3,76E-04	5
P5	2,82E-03	1,04E-02	1,04E-01	0,3
P6	1,70E-04	1,52E-03	1,04E-03	3
P7	2,39E-05	1,45E-03	1,26E-01	1,3
P8	3,82E-04	6,98E-05	5,33E-02	2
P9	1,57E-04		5,33E-02	2
P10	2,25E-04		6,58E-04	18

Tabela 13 - Valores de densidades de potência medidos e teóricos para os pontos selecionados na ERB Botafogo na Rua Voluntários da Pátria 143, terraço, 3º e 4º andares, na frequência de 893 MHz

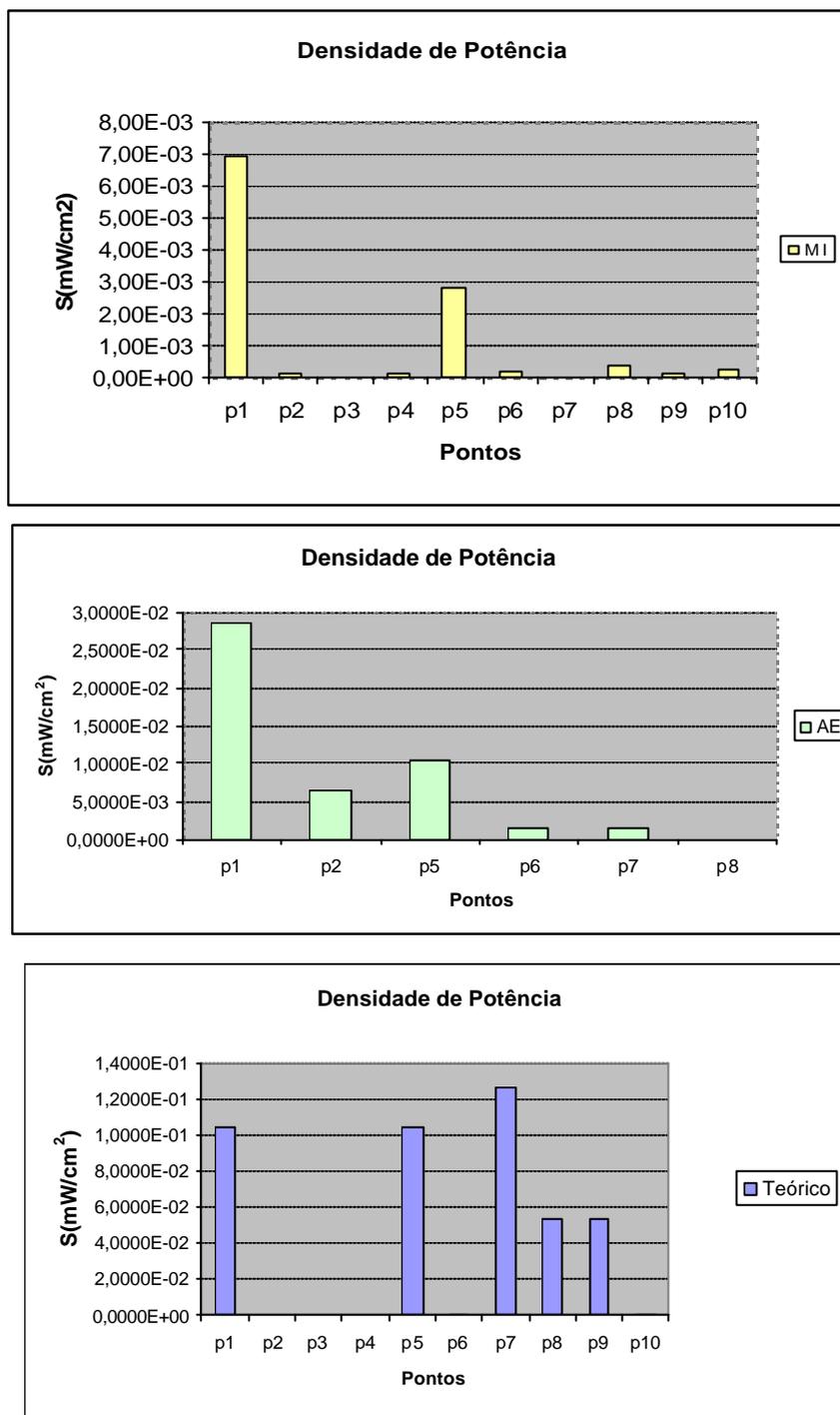


Figura 45 - Representação gráfica dos pontos medidos e teóricos na ERB instalada em Botafogo, na Rua Voluntários da Pátria 143 (terrace, 3º e 4º andares), na frequência de 893 MHz

As aquisições foram realizadas com as sondas próximas às antenas na direção do máximo do diagrama de radiação e, como pode ser observado, os valores medidos através das metodologias utilizadas apresentam resultados coerentes.

Os pontos 3, 4, 9 e 10 não foram medidos com o Analisador de Espectro por falta de acesso.

Na Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio) foram escolhidos dois diferentes locais. O terraço do edifício Kennedy foi o primeiro local a ser medido em termos de exposição ocupacional, por ser restrito a maioria das pessoas. Considerado um ambiente multi-usuários, o local é contemplado por antenas diretivas que utilizam dois padrões tecnológicos diferentes e cada setor cobre uma determinada área específica. Apesar das várias antenas existentes no terraço, apenas em dois locais (L1 e L2) considerou-se a densidade de potência total como sendo o somatório das densidades medidas para cada setor envolvido. A densidade no primeiro local (L1) incorporava as medidas nos pontos P1 e P2. No segundo (L2), foram consideradas as medidas em P7 e P8, conforme mostra a figura 46. Os pontos referentes aos demais setores foram também medidos, e os respectivos resultados estão apresentados na tabela 14 e na figura 47. Como não foi possível a obtenção de informações das operadoras de alguns dados técnicos das ERBs (EIRP e diagrama de irradiação), as estimativas teóricas não constam na tabela 14 e nas tabelas 15 e 16 referentes as próximas medidas.

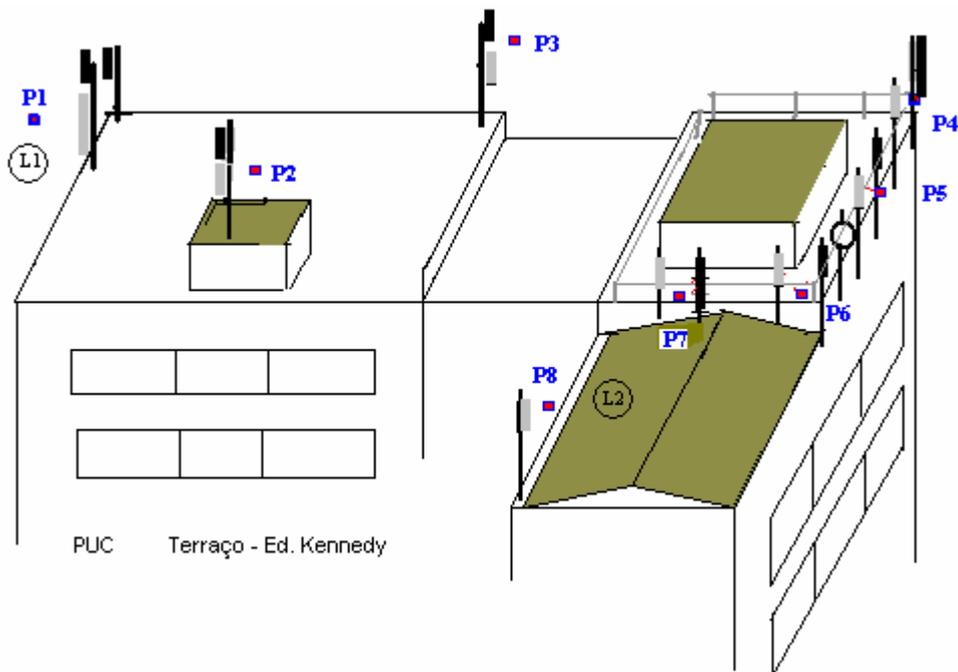


Figura 46 - Croqui para localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para exposição ocupacional do ed. Kennedy da PUC-Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea

Densidade de Potência (mW/cm <sup>2</sup> )			
Pontos	MI	AE	d (m)
P1	1,35E-03	1,94E-06	1,5
P2	6,13E-04	3,87E-06	2,0
P3	1,75E-03	1,98E-03	1,5
P4	1,27E-03	2,01E-03	1,5
P5	1,25E-03	2,39E-04	1,5
P6	7,88E-03	3,84E-03	1,5
P7	3,20E-02	4,39E-03	1,5
P8	4,05E-02	1,59E-06	2,5

Tabela 14 - Valores de densidades de potência medidos para os pontos situados no terraço do Ed. Kennedy da PUC-Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea

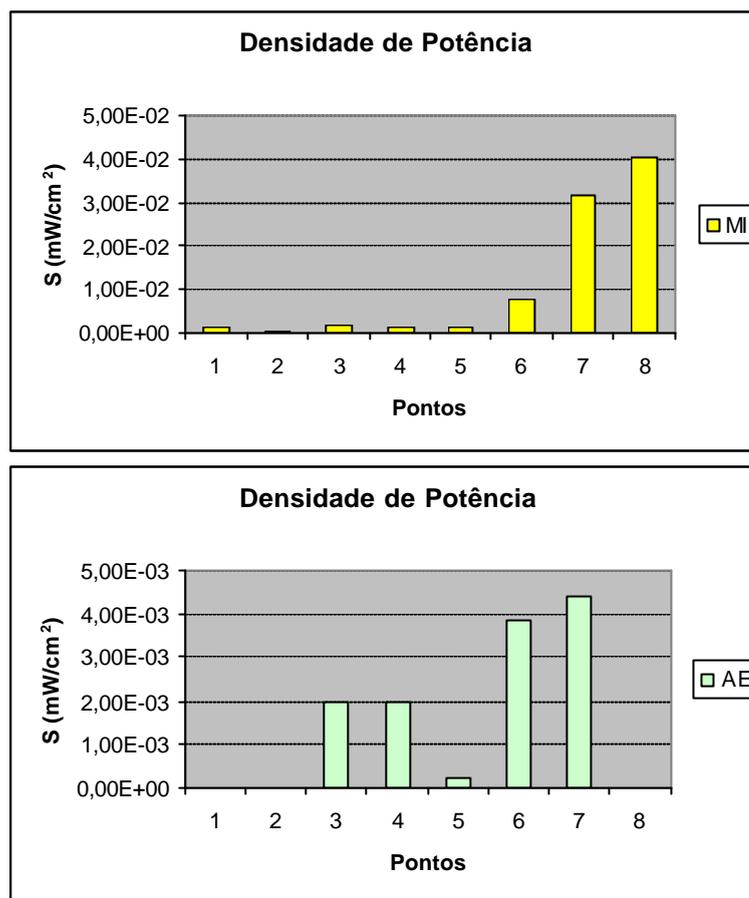


Figura 47 – Representação gráfica dos pontos medidos nas ERBs instaladas no terraço do Ed.Kennedy da PUC-Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea

O segundo local medido dentro da Universidade foi o estacionamento, representado através do croqui da figura 48. As medidas foram feitas no período das férias escolares de modo que o estacionamento estava completamente vazio. Desta forma, menos objetos refletivos (espalhadores) interferiram nos resultados das medições. Ainda assim, foram consideradas no processo as incertezas especificadas pelo fabricante para a resposta da sonda devida à anisotropia, à sensibilidade à frequência, à temperatura e a erros absolutos de calibração. Foram selecionados 5 pontos para aquisição das medidas conforme procedimentos básicos anteriormente descritos. Os pontos tinham linha de visada com dois setores de diferentes ERBs instaladas no topo do Ed. Kennedy e não apresentavam obstruções no percurso envolvido.

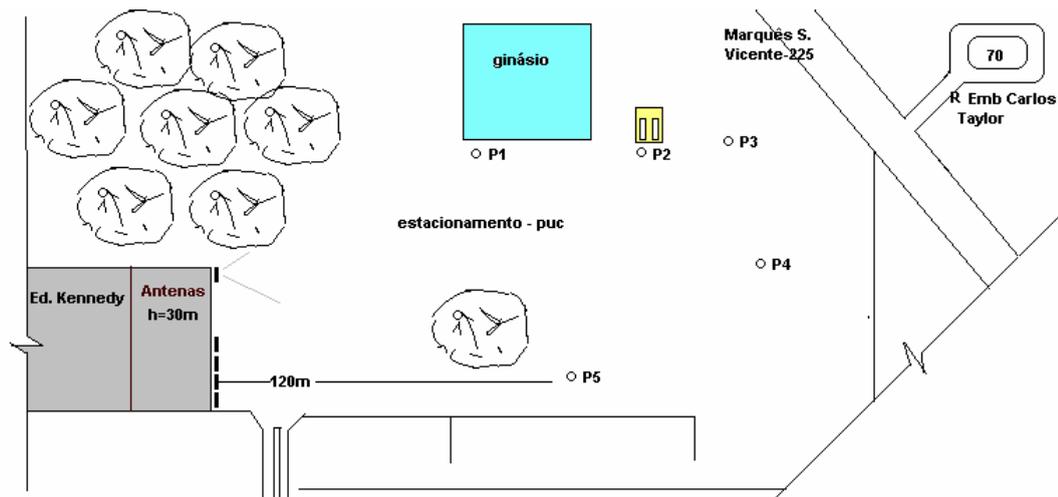


Figura 48 - Croqui para localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para exposição ocupacional no estacionamento da PUC - Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea

Os resultados das medidas realizadas pelas duas metodologias propostas estão registrados na tabela 15 e graficamente na figura 49.

Densidade de Potência (mW/cm <sup>2</sup> )			
Pontos	MI	AE	d (m)
P1	2,89E-05	6,71E-07	115
P2	1,05E-04	1,77E-06	130
P3	1,83E-04	1,82E-06	140
P4	1,27E-03	2,57E-05	142
P5	2,71E-04	4,67E-06	120

Tabela 15 - Valores de densidades de potência medidos no estacionamento PUC - Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea

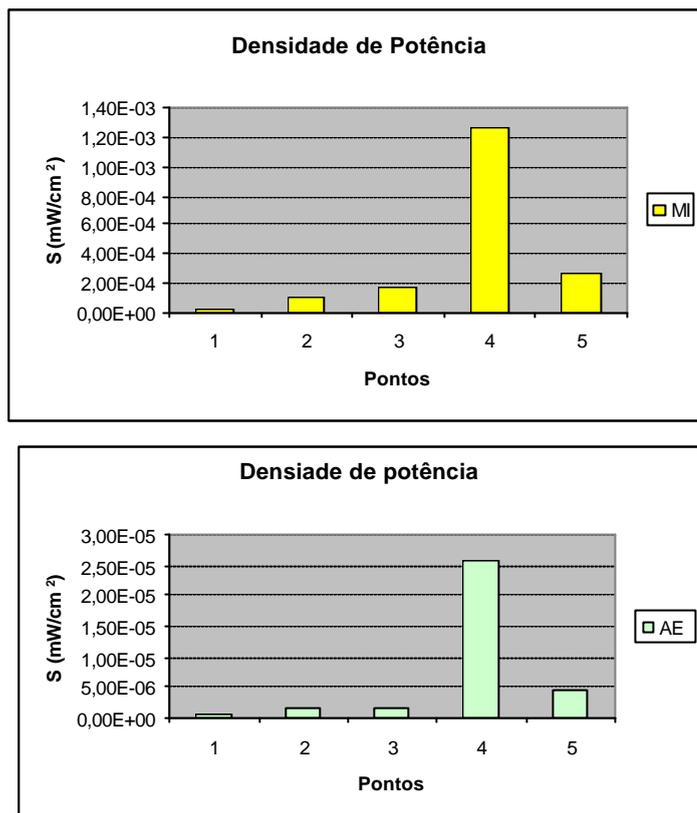


Figura 49 - Representação gráfica dos pontos medidos no estacionamento PUC – Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea

O último local selecionado para as medidas foi o Alto da Boa Vista, no terraço de um condomínio situado à Rua Martins Leão, conforme mostra o croqui da figura 50. Foram medidos 5 pontos no terraço do prédio e um ponto no interior de um apartamento (P6).

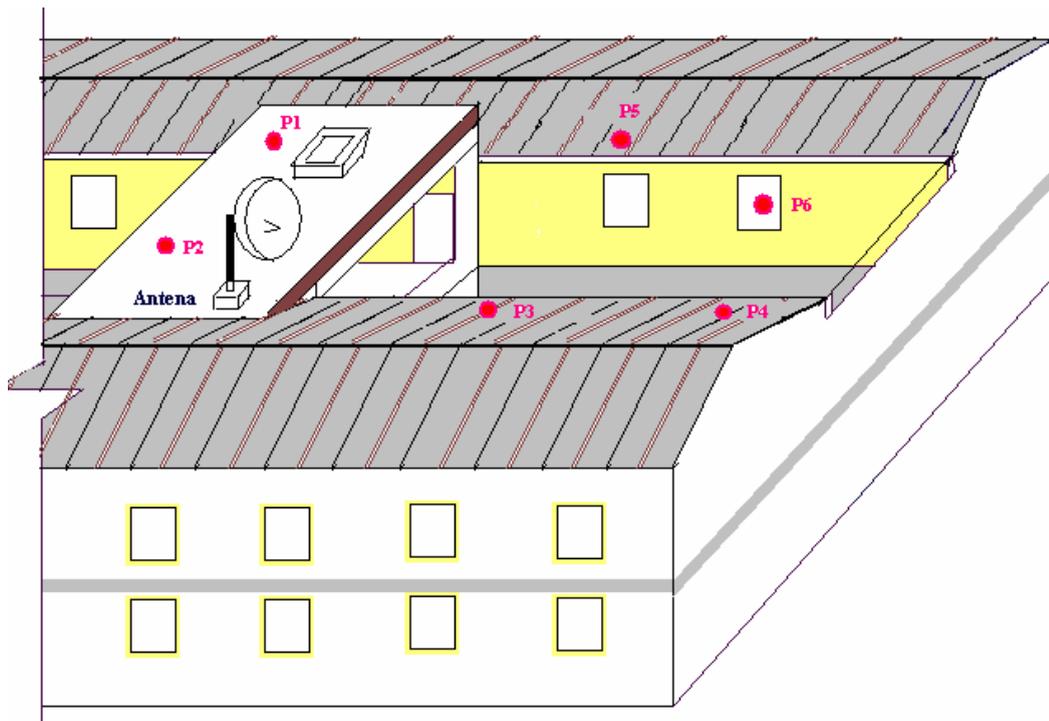


Figura 50 - Croqui de localização dos pontos de medição no condomínio ABV, na rua Martins Leão no Alto da Boa Vista

Os resultados das medidas estão registrados na tabela 16 e graficamente na figura 51.

Densidade de Potência (mW/cm <sup>2</sup> )			
Pontos	MI	AE	d (m)
P1	5,73E-04	1,81E-04	1,5
P2	5,58E-04	1,93E-04	1,0
P3	1,52E-03	1,89E-03	1,5
P4	6,05E-04	6,13E-04	3,0
P5	4,01E-04	8,20E-05	3,0
P6	1,05E-04	2,02E-05	5,0

Tabela 16 - Valores de densidades de potência medidos no condomínio ABV, na rua Martins Leão no Alto da Boa Vista

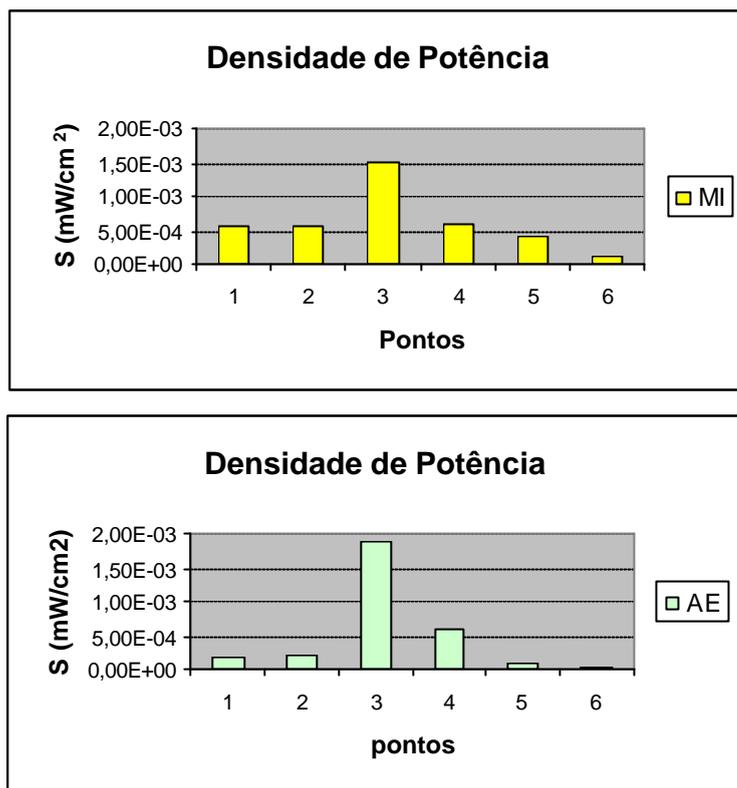


Figura 51 - Representação gráfica dos pontos medidos no condomínio ABV, na rua Martins Leão no Alto da Boa Vista