

## 4

### Descrição do Sistema e Campanha de Medição

Neste capítulo são descritos o sistema de transmissão, recepção e aquisição de dados utilizados no experimento. São descritas, ainda, a metodologia utilizada e as campanhas de medições realizadas.

#### 4.1

##### Descrição do Sistema

Para a realização desse trabalho, foi montado um *setup* de medidas em UHF utilizando a estação transmissora principal de TV Digital da Rede Globo que está localizada no Morro do Sumaré, na cidade do Rio de Janeiro, e sua respectiva estação retransmissora, localizada no Morro da Pena, Jacarepaguá, e que operam em rede de frequência única (SFN).

Para a medição dos sinais gerados pela rede SFN que gera um sinal padrão no formato ISDB-T (modulação COFDM), foi utilizado o canal 29 de UHF centrado em 563.142857 MHz, de acordo com o plano básico de canalização para TV Digital recomendado pela ANATEL [23]. Esta configuração foi utilizada numa campanha de medições em torno do transmissor principal e de sua estação retransmissora, a fim de realizar a caracterização do canal de propagação.

Este sistema de medições é composto por três blocos: transmissão, recepção e aquisição de dados, mostrados na figura 4.1. O primeiro deles, o bloco de transmissão, é responsável pela emissão do sinal eletromagnético realizada, simultaneamente, pelas duas estações transmissoras que operam numa única frequência, atendendo uma região definida de serviço. O segundo bloco, de recepção, capta os sinais e fornece, em sua saída, os dados necessários para a análise. O terceiro e último bloco, aquisição de dados, é responsável por colher e registrar os dados gerados no bloco anterior.

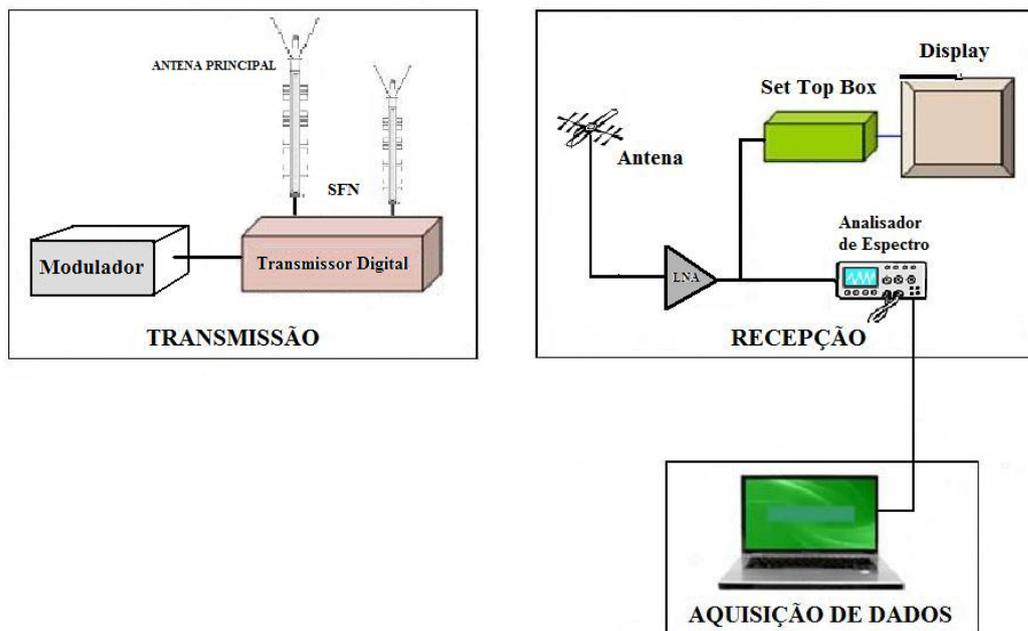


Figura 4.1 Diagrama de blocos do sistema de operação

#### 4.1.1

##### Bloco de Transmissão

O bloco de transmissão de TV Digital é responsável pela transmissão de um sinal COFDM onde a portadora de 563.142857 MHz representa a frequência central do canal 29. Este bloco é composto por dois transmissores, seus respectivos cabos de transmissão e antenas.

O transmissor principal fabricado pela empresa *Nec Corporation* é o modelo DTU-51/5ROSQx3, com 6 kW de potência para toda a faixa de UHF. Por ser um transmissor digital banda larga de alta potência, este incorpora semicondutores de metal óxido em seus componentes de saída. O modelo da série DTU-51 é mostrado na figura 4.2.



Figura 4.2 Transmissor de TV Digital principal - Sumaré

O cabo de RF, que transmite o sinal de saída do transmissor até a antena transmissora é um cabo coaxial de  $50 \Omega$ , modelo HJ11-50 da *Andrews Corporation*, com 108 metros de comprimento, e que possui uma atenuação de 1 dB por 100 metros.

A antena de transmissão principal fabricada pela RFS (*Radio Frequency System, Inc.*) modelo PHP 15E, está apresentada na figura 4.3. Esta antena opera no canal 29 centrado em 563,142857 MHz e suas principais características encontram-se discriminada na tabela 4.1

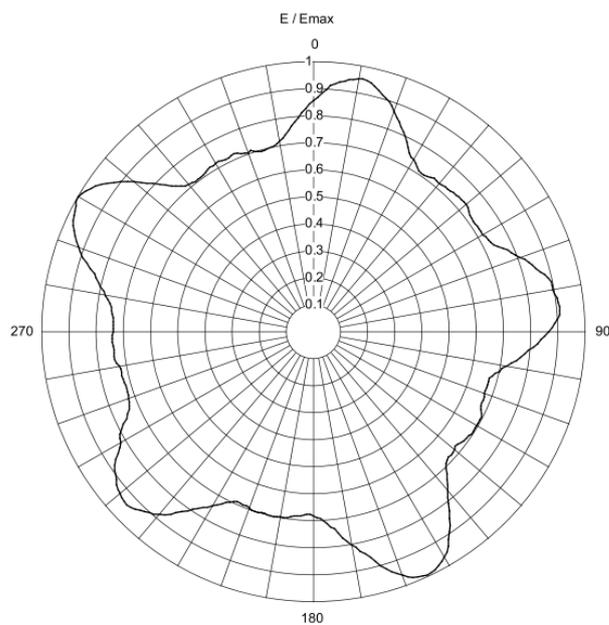


Figura 4.3 Antena transmissora principal PHP 15E - Sumaré

Tabela 4.1 Especificações da antena transmissora principal PHP15E

| Modelo                         | PHP 15E (omni)    |
|--------------------------------|-------------------|
| Polarização                    | Horizontal        |
| Ganho de potência              | 9,8 dBd ou 12 dBi |
| Diagrama horizontal            | Vide Figura 3.4   |
| Diagrama vertical              | Vide Figura 3.5   |
| <i>Beam Tilt</i>               | 5,1 graus         |
| Altura do centro de fase       | 97 metros         |
| Orientação do norte verdadeiro | 345 graus         |

Os diagramas de radiação horizontal e vertical da antena são apresentados nas figuras 4.4 e 4.5, respectivamente.

Figura 4.4 Diagrama horizontal da antena principal PHP 15E, escala  $E/E_{MAX}$

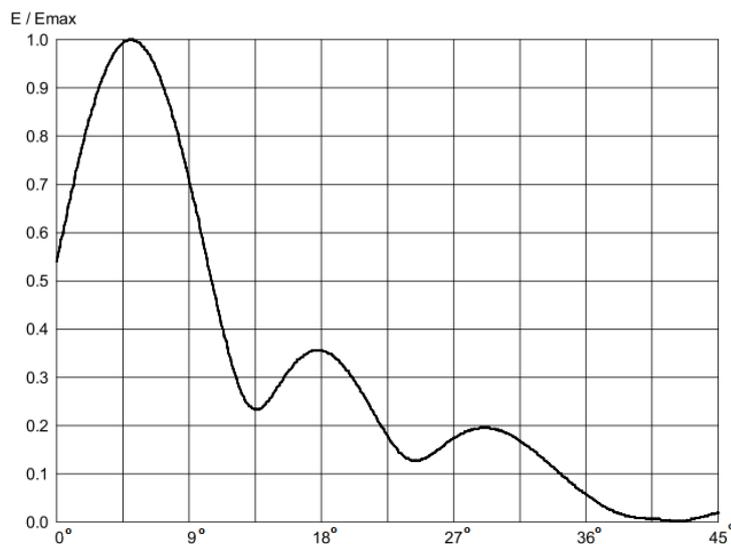


Figura 4.5 Diagrama de radiação vertical da antena PHP 15E, escala E/E<sub>MAX</sub>

A estação retransmissora SFN, tem seu transmissor também fabricado pela empresa *Nec Corporation*, no modelo DTL-10/5R2M, com 100 W de potência para a faixa de UHF. O modelo da série DTL-10 é mostrado na figura 4.6.



Figura 4.6 Retransmissor de TV Digital - Pena

O cabo de RF, que transmite o sinal de saída do retransmissor até a antena retransmissora SFN é um cabo coaxial de 50  $\Omega$ , modelo LDF5-50A7/8" da *Andrews Corporation*, com 31 metros de comprimento, e que possui uma atenuação de 3 dB por 100 metros.

A antena de retransmissão SFN, fabricada pela TransTel modelo TTSL4UO, está apresentada na figura 4.7.

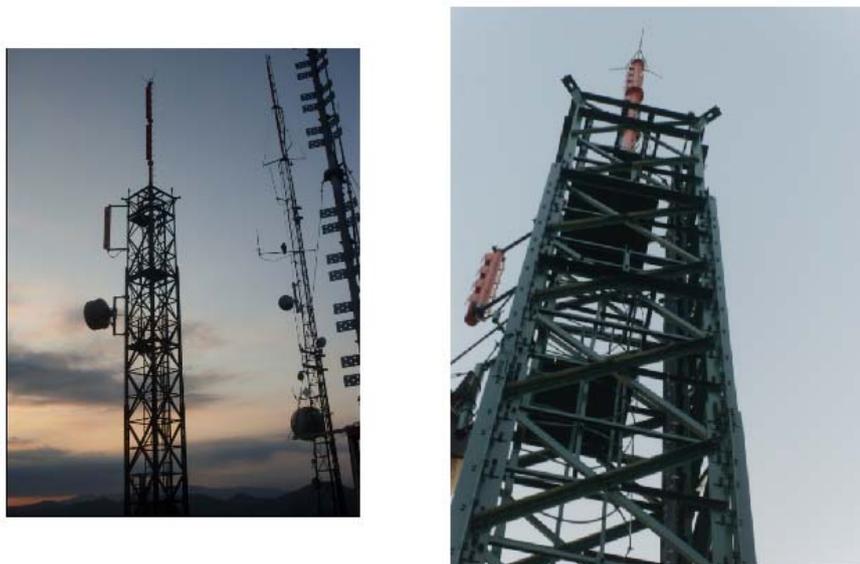


Figura 4.7 Antena retransmissora SFN TTSL4UO - Pena

Esta antena opera no canal 29 e tem suas principais características discriminadas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 Especificações da antena retransmissora SFN TTSL4UO

| Modelo                         | TTSL4UO (omni)     |
|--------------------------------|--------------------|
| Polarização                    | Horizontal         |
| Ganho de potência              | 7,6 dBd ou 9,8 dBi |
| Diagrama horizontal            | Vide Figura 3.8    |
| Diagrama Vertical              | Vide Figura 3.9    |
| <i>Beam Tilt</i>               | 1 grau             |
| Altura do centro de fase       | 28,8 metros        |
| Orientação do norte verdadeiro | 255 graus          |

Os diagramas de radiação horizontal e vertical da antena retransmissora SFN, são apresentados nas figuras 4.8 e 4.9, respectivamente.

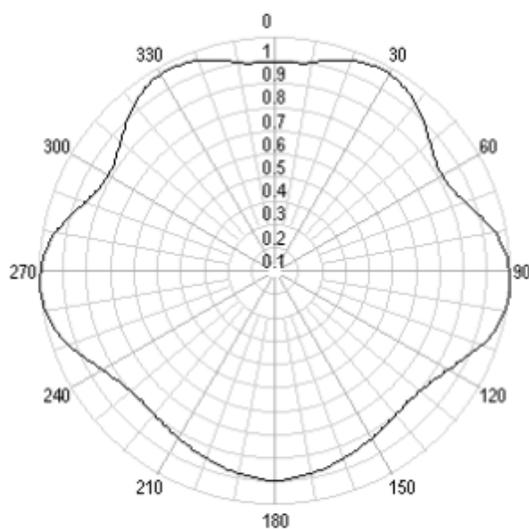


Figura 4.8 Diagrama horizontal da antena retransmissora SFN TTSL4UO, escala  $E/E_{MAX}$

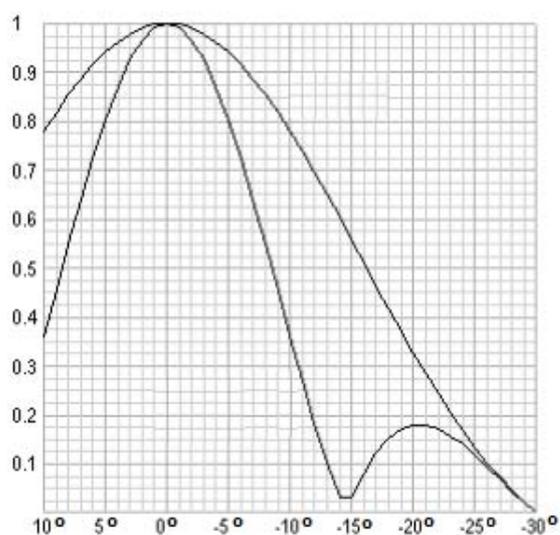


Figura 4.9 Diagrama vertical da antena retransmissora SFN TTSL4UO, escala  $E/E_{MAX}$

O envio do sinal da estação geradora principal do Sumaré para a estação retransmissora SFN, localizada na Igreja da Pena, é realizado através de um enlace de microondas ponto-a-ponto, entretanto, este enlace consiste numa transmissão estabelecida, inicialmente, para uma estação repetidora localizada na Serra do Mendanha, conforme ilustrado na figura a abaixo:



Figura 4.10 Estação repetidora – Serra do Mendanha

Assim, através de outro enlace de microondas o sinal então é enviado para a estação retransmissora SFN na Igreja da Pena. A figura 4.11 apresenta a posição geográfica de cada um dos pontos do referido enlace.



Figura 4.11 Localização geográfica do enlace Sumaré – Mendanha – Igreja da Pena

#### 4.1.2

##### **Bloco de Recepção**

Para a recepção dos sinais em diferentes pontos da cidade, foi utilizada uma estação móvel receptora, dotada de todos os recursos e equipamentos necessários para funcionar como um laboratório de TV Digital, incluindo: um

mastro retrátil com altura de 10 metros para a antena receptora, conjunto de instrumentos de medida e de armazenamento de dados coletados, sistema de energia independente como o conjunto moto-gerador, sistema de localização como GPS e bússola, e facilidade de comunicação com a base e entre equipes (por exemplo rádio Nextel).

A estação receptora propriamente dita é composta dos seguintes equipamentos:

- Antena direcional modelo PQ 45-1040;
- Antena omnidirecional
- LNA – Mini – Circuitos ZFL 1000 LN;
- Casador de impedância WBE - A65
- Analisador Vetorial de Rede - Anritsu MS8901A;
- Receptor Digital ISDB-T;
- Aparelho de GPS com bússola;



Figura 4.12 Configuração de montagem dos equipamentos de medição instalados na estação móvel de teste

A configuração dos equipamentos de recepção inclui uma antena direcional para medição da perda de propagação, uma antena omnidirecional para medição do perfil de retardos, um casador de impedância (50/75 ohms), um amplificador de baixo ruído (LNA), um analisador vetorial com resolução de  $0,123 \mu\text{s}$  (37 metros), um micro computador portátil, e um GPS (Sistema de Posicionamento Global) com precisão suficientemente boa para verificar o posicionamento na unidade móvel, produzindo erros descartáveis. A necessidade do uso de um casador de impedância de 50 ohms para 75 ohms no *setup* de

medidas ocorreu por ter sido utilizado uma antena com impedância característica de 75 ohms (característica das antenas comerciais para a faixa) e um LNA com impedância de 50 ohms, assim como o restante dos equipamentos foi necessário o uso de um amplificador de baixo ruído junto às antenas receptoras a fim de aumentar a margem dinâmica do receptor. A figura de ruído ( $F$ ) é o parâmetro que indica a diferença entre as relações sinal/ruído (SNR) de entrada e de saída de um sistema:

$$F(\text{dB}) = \text{SNR}_e(\text{dB}) - \text{SNR}_s(\text{dB}) \quad (4.1)$$

Quanto menor o valor de  $F$ , melhor é o amplificador e menos ruído é introduzido no sistema. Num sistema composto por vários elementos em cascata, existe um acréscimo de ruído em cada estágio e a figura de ruído final do sistema é obtida relacionando as várias figuras de ruído e ganhos dos elementos:

$$F_T = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4}{G_1 G_2 G_3} \quad (4.2)$$

onde  $F_i$  e  $G_i$  são, respectivamente, a figura de ruído e o ganho de cada estágio em unidades absolutas.

Analisando a equação (4.2), percebe-se que para se obter uma figura de ruído total baixa para o sistema, deve-se optar por utilizar um elemento com um ganho alto e figura de ruído baixa no primeiro estágio. O casador de impedância e o LNA foram fixados à antena receptora com o intuito de minimizar a figura de ruído do sistema. Em cada local de medição, as antenas, juntamente com o casador de impedância, foram fixados acima da haste retrátil da unidade móvel, que está apoiada sobre uma base cilíndrica de diâmetro maior dentro da estação móvel de testes (figura 4.12). Essa base pode ser girada a fim de se obter a orientação desejada da antena, com auxílio de uma bússola. Quanto ao amplificador de baixo ruído, este permaneceu dentro da unidade móvel junto do analisador vetorial, conforme ilustrado na figura 4.13.



Figura 4.13 Sistema de aquisição de dados da unidade móvel de teste

A altura alcançada pela haste é de 10 metros, o que permitiu realizar as medidas entre 2,6 m e 10 m de altura, conforme recomendado pela norma ITU-R BT.2035.



Figura 4.14 Fixação do casador 75/50  $\Omega$  e das antenas junto à haste retrátil

O amplificador de baixo ruído (LNA) usado nas medições precisa ser alimentado com uma tensão DC de 15 Volts, sendo um dispositivo que opera na faixa de frequência entre 100 kHz e 1000 MHz. Seu ganho nominal para frequência usada nos testes é de 23,5dB.

A antena direcional, mostrada na figura 4.15, foi utilizada na recepção para a medição da intensidade de campo. É uma log periódica com 14 elementos, modelo PQ45-1040, produzida pela PROELETRONIC para a banda de UHF (canais 14 ao 83). A tabela 4.3 apresenta suas principais especificações fornecidas pelo fabricante.



Figura 4.15 Antena receptora

Tabela 4.3 Especificações da antena receptora

| Características Técnicas | Modelo PQ45-1040 |
|--------------------------|------------------|
| Ganho                    | 14 dBi           |
| Canal                    | 14 ao 83         |
| Faixa de frequência      | 470 a 890 MHz    |
| Relação Frente / Costa   | 28 dB            |
| Largura de Feixe         | 36° H - 48° V    |
| Impedância               | 75 Ω             |
| R.O.E                    | < 1,2            |
| Número de elementos      | 14               |

Os diagramas de radiação horizontal e vertical da antena receptora são apresentados nas figuras 4.16 e 4.17, respectivamente.

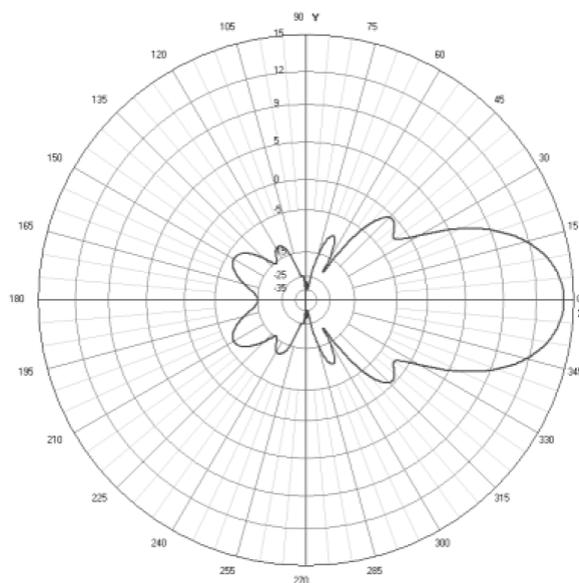


Figura 4.16 Diagrama horizontal da antena receptora

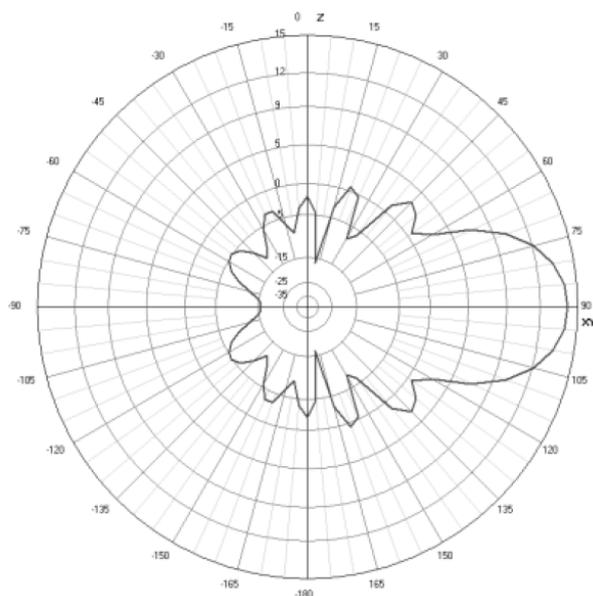


Figura 4.17 Diagrama vertical da antena receptora

## 4.2

### Planejamento das Medições

Com relação aos locais de medição, foram selecionados, inicialmente, 40 pontos onde o tipo de urbanização é comparável a de uma região suburbana, caracterizada por alguns edifícios de média e baixa altura, áreas descampadas e regiões onde predominam casas, sobrados e algumas lagoas. As distâncias utilizadas entre o transmissor e o receptor variaram de 2 a 27 km. A figura 4.18 apresenta a localização geográfica dos pontos de medição.



Figura 4.18 Localização geográfica dos pontos de medida da campanha

Apesar do planejamento inicial ter considerado 40 pontos dentro da área de cobertura dos transmissores da rede, por limitações operacionais foi possível realizar medições em 31 pontos cujas coordenadas e respectivos retardos, calculados considerando visada direta em relação aos transmissores, foram apresentados através da tabela 4.4.

Tabela 4.4 Latitudes, longitudes e atrasos dos pontos medidos

| Ponto Medido<br>Nº    | Sumaré -Rx<br>[µs] | Pena - Rx<br>[µs] | Latitude      | Longitude     |
|-----------------------|--------------------|-------------------|---------------|---------------|
| 2                     | 43,1               | 76,7              | 23° 0'2.50"S  | 23° 0'2.50"S  |
| 3                     | 44,8               | 73,5              | 22°59'26.50"S | 43°21'40.30"O |
| 4                     | 45,1               | 69,8              | 22°58'43.30"S | 43°21'56.70"O |
| 6                     | 48,2               | 80,8              | 23° 0'38.40"S | 43°21'46.70"O |
| 7                     | 50                 | 77,8              | 22°59'56.00"S | 43°22'28.40"O |
| 8                     | 50,5               | 74,5              | 22°59'4.00"S  | 43°22'50.00"O |
| 12                    | 56,5               | 76,1              | 22°58'20.00"S | 43°24'4.00"O  |
| 13                    | 59,4               | 86,7              | 23° 0'48.40"S | 43°23'51.60"O |
| 14                    | 61,3               | 87,6              | 23° 0'51.10"S | 43°24'12.60"O |
| 16                    | 67,8               | 92,5              | 23° 1'0.50"S  | 43°25'21.60"O |
| 17                    | 68,4               | 91,1              | 23° 0'20.30"S | 43°25'42.30"O |
| 18                    | 74,8               | 98,5              | 23° 1'15.50"S | 43°26'32.30"O |
| 19                    | 75                 | 97,1              | 23° 0'33.00"S | 43°26'50.96"O |
| 20                    | 74,1               | 95,5              | 23° 0'11.50"S | 43°26'48.00"O |
| 21                    | 81,5               | 102,9             | 23° 0'49.70"S | 43°27'57.00"O |
| 22                    | 81,1               | 104,1             | 23° 1'33.50"S | 43°27'36.60"O |
| 23                    | 88,6               | 109,8             | 23° 1'10.30"S | 43°29'7.10"O  |
| 24                    | 61,7               | 81,4              | 22°58'35.50"S | 43°24'57.30"O |
| 26                    | 76,4               | 98,9              | 23° 0'47.91"S | 43°27'3.13"O  |
| 27                    | 62,9               | 84,2              | 22°59'20.80"S | 43°25'1.00"O  |
| 28                    | 58,1               | 78                | 22°58'32.30"S | 43°24'18.00"O |
| 29                    | 55,1               | 76,6              | 22°58'52.50"S | 43°23'44.80"O |
| 31                    | 47,1               | 69,2              | 22°58'21.20"S | 43°22'23.10"O |
| 32                    | 54,2               | 74,5              | 22°58'24.50"S | 43°23'38.70"O |
| 33                    | 60                 | 78,5              | 22°58'1.20"S  | 43°24'43.80"O |
| 34                    | 87                 | 109,6             | 23° 1'50.30"S | 43°28'36.80"O |
| 35                    | 52,8               | 71,3              | 22°57'39.20"S | 43°23'28.90"O |
| 36                    | 47,3               | 65                | 22°57'9.80"S  | 43°22'32.10"O |
| 37                    | 49,4               | 69,1              | 22°57'57.90"S | 43°22'51.30"O |
| 39                    | 61,3               | 84                | 22°59'47.25"S | 43°24'34.64"O |
| 40                    | 36,5               | 82,5              | 23° 0'43.20"S | 43°19'18.50"O |
| Média dos atrasos     | 61,45              | 84,51             |               |               |
| Diferença Média (P-S) |                    | 23,06             |               |               |

Os principais resultados obtidos nesta campanha, além da perda de propagação, foram os perfis de retardo em cada um dos pontos de recepção utilizando um analisador MS8901A da Anritsu com uma resolução de  $0,123 \mu\text{s}$ . A figura 4.19 ilustra o perfil de retardos obtido num local de medida

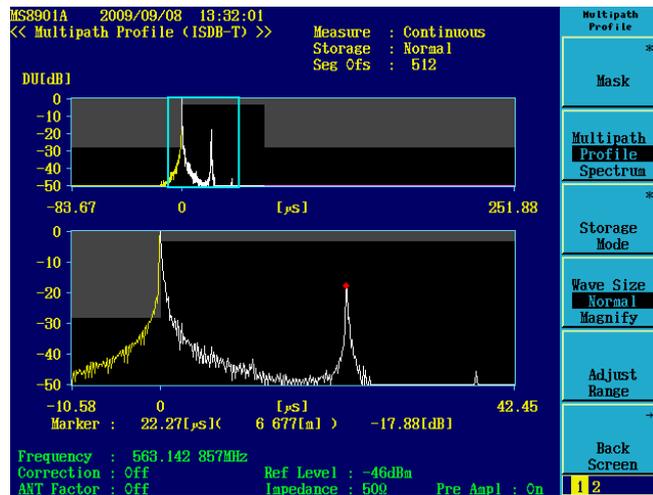


Figura 4.19 Perfil de retardo obtido através do analisador vetorial ANRITSU MS8901A

A área de cobertura da rede SFN vai depender do intervalo de guarda, do modo de transmissão do sinal COFDM transmitido pela rede em questão e de outros parâmetros de planejamento.

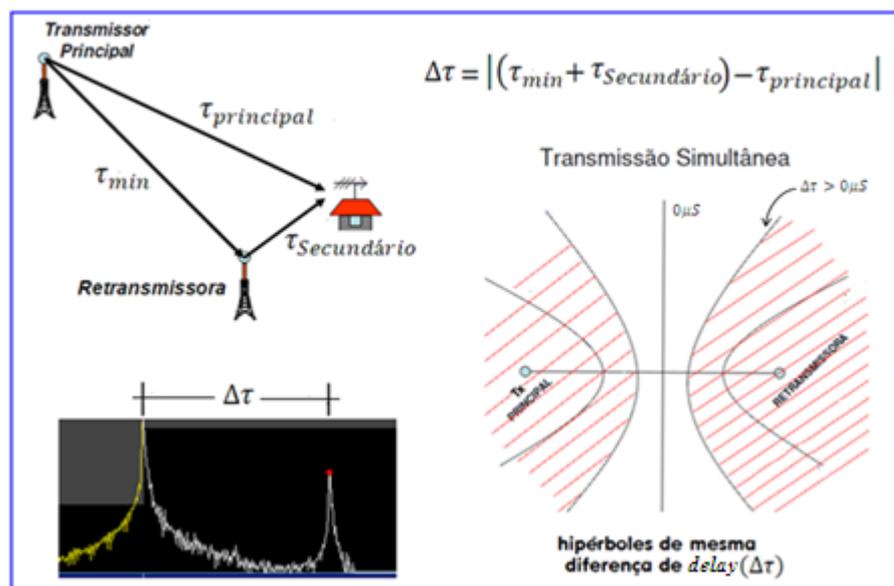


Figura 4.20 Recepção SFN

Observar na figura 4.20 que o retardo da estação retransmissora deve ser ajustado para não causar interferência na cobertura da estação principal. Conforme ilustrado na figura 3.8 o aumento do retardo na estação retransmissora leva à redução da área de interferência próxima a ela, pois cria um novo lugar geométrico de pontos no plano que na realidade seria uma nova hipérbole com a mesma diferença de *delay* ( $\Delta\tau$ ) porém mais comprimida ao redor da referida estação. Na tabela 4.4, onde estão considerados todos os pontos da campanha de medições encontramos um valor médio para a diferença de retardo igual a 23,06  $\mu\text{s}$ .

Além da possibilidade de ajuste do retardo, outra forma de aumentar a região livre de interferência é aumentando a duração do intervalo de guarda já que, como foi visto na seção 3.3.2, dado que na modulação OFDM este é um parâmetro ajustável em função das distâncias entre as fontes transmissoras para uma determinada área de cobertura. Como pode ser visto na figura 4.21, nas regiões em azul, branco e amarelo o espalhamento sofrido pelo sinal é menor do que o intervalo de guarda ( $63\mu\text{s}$ ), não ocorrendo, nestas áreas, a interferência intersimbólica e permitindo que o sinal da retransmissora contribua totalmente para o sinal desejado.

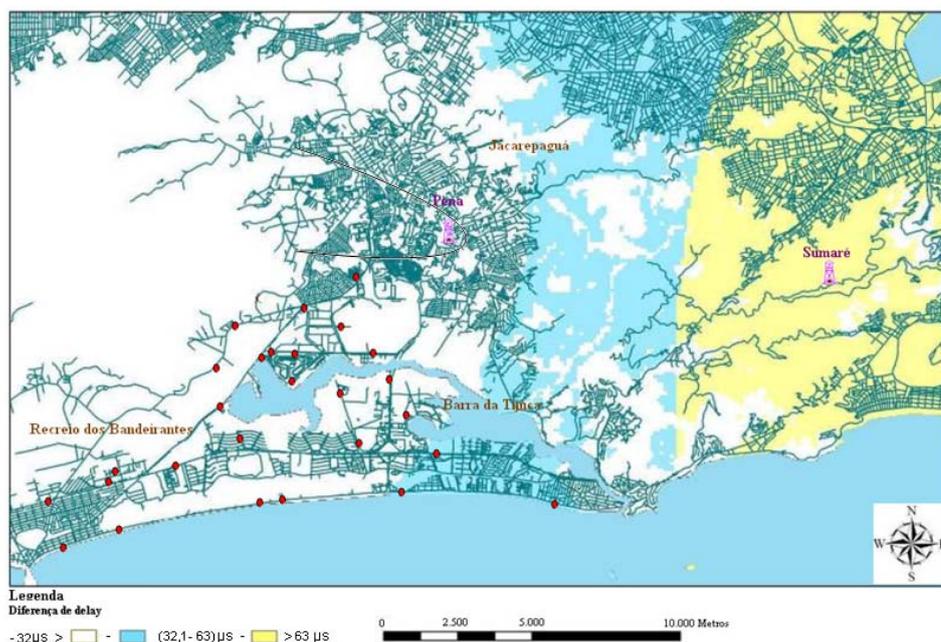


Figura 4.21 Diferença dos atrasos na rede SFN

Como pode ser visto na figura 4.21, na região azul bem como em grande parte da região em branco, dado ao atraso artificial inserido pelo retransmissor (55  $\mu$ s), o espalhamento sofrido pelo sinal é menor do que o intervalo de guarda, não ocorrendo nestas áreas a interferência intersimbólica. Nesta situação, o sinal contribui totalmente para o sinal desejado. Nas regiões em amarelo mais próximas da região azul estão presentes os sinais que contribuem parcialmente para o sinal desejado e parcialmente para a auto auto-interferência. Os sinais que chegam após o término da janela de amostragem ou tempo de símbolo OFDM são tratados efetivamente como sinais interferentes, caracterizando a auto-interferência [22]. Como foi visto na seção 3.1, dado que um segundo ou terceiro sinal de um transmissor da rede deve chegar mais fraco em relação ao sinal do transmissor principal e com diferença de nível superior a 19 dB, esses sinais não poderão ser considerados sinais interferentes. Ou seja, poderíamos a princípio considerar um algoritmo das áreas de interferência onde se o atraso de algum sinal for menor do que o intervalo de guarda ( $T_g$ ) do sistema não ocorrerá à interferência intersimbólica. Neste caso, mesmo se este atraso ultrapassasse o intervalo de guarda e ainda tivéssemos a diferença de níveis entre os sinais transmitidos (Sumaré e Pena) superior a 19 dB, num primeiro instante, não ocorreria falha de recepção dado à robustez do modo de transmissão do sistema (OFDM). Para um atraso menor do que o intervalo de guarda e a diferença de níveis inferior a 19 dB, um segundo sinal também não seria um sinal interferente nestas condições. Todavia, se o atraso sofrido for superior ao intervalo de guarda do sistema e a diferença de níveis entre os sinais transmitidos inferior a 19 dB, necessariamente ocorrerá interferência intersimbólica e conseqüentemente falha na recepção do sinal.

### 4.3

#### **Recomendação ITU-R BT. 2035**

Neste trabalho foi utilizada como referência a Recomendação da ITU-R 2035 [23], que fornece as diretrizes e técnicas de avaliação de um sistema de transmissão de TV Digital. A metodologia empregada nesse experimento procurou se adequar da melhor forma possível às especificações de testes de

propagação descritas nesta recomendação desenvolvida pelo grupo de pesquisa de TV Digital. O objetivo dos testes de um sistema de televisão digital terrestre é a avaliação do desempenho de um sistema numa variedade de configurações de transmissão e condições de recepção, às quais são discutidas na recomendação.