

4

Construção e Configuração do Setup de Medidas

Neste trabalho foi empregada a técnica de sondagem em frequência para coletar as informações do canal. Esta técnica conta com o uso do Analisador Vetorial, um equipamento que varre uma determinada faixa de frequência e retorna dados de amplitude e fase do sinal.

Porém, no processo de aquisição dos dados, o Analisador é somente um dos componentes do conjunto total de equipamentos, que inclui computador, antenas, *switches*, cabos e conectores. Para permitir que medidas de ângulo de chegada fossem realizadas, utilizou-se, na recepção, um conjunto de antenas (*array* circular) ao invés de uma antena apenas.

Este capítulo explica o processo de montagem do *setup*, suas características e aspectos relevantes encontrados no decorrer do trabalho.

4.1

Construção do Setup de Medidas

Nos itens seguintes, os componentes que constituem o *setup* serão explicados, enfatizando os elementos de maior relevância para o resultado final.

4.1.1

O Analisador Vetorial

O Analisador Vetorial é uma poderosa ferramenta de medidas de dispositivos de microondas, que integra uma fonte de RF sintetizada, conjuntos para teste de transmissão/reflexão e receptores multi-modo.

Foi utilizado, neste trabalho, um analisador de redes vetorial Hewlett Packard, modelo HP1416ET, cujas especificações estão na tabela 4.1. No equipamento, o sinal que é enviado pela porta de transmissão promove uma varredura em frequência no dispositivo sob teste (DUT - *Device Under Test*) e retorna pela porta de recepção. Como o sinal gerado é conhecido,

| | |
|----------------------------|------------------|
| Resolução máxima | 1HZ |
| Potência de Saída | +16 dBm |
| Tempo de Varredura | 40 ms (ou maior) |
| Range Dinâmico Máximo | 100 dB |
| Máxima Potência de Entrada | 26 dBm |

Tabela 4.1: Analisador Vetorial HP1614ET

informações de magnitude, além de fase e retardo de grupo para todos os parâmetros \mathbf{S} , são disponibilizadas ao usuário conforme a equação 4-1, com P_{in} e P_{out} sendo potência complexa de entrada e saída, respectivamente. Como o Analisador Vetorial utilizado pode fornecer até duas informações distintas, e o objetivo é medir a característica complexa do sinal, para cada varredura da banda de interesse são reportadas em canais diferentes e simultaneamente informações de magnitude e fase [44].

$$S = 10 * \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad (4-1)$$

Em [10, 15, 16], assim como neste trabalho, o DUT é substituído pelo canal rádio através da conexão de antenas nos terminais do Analisador. Com isso, o ambiente passa a ser o dispositivo a ser testado, conforme figura 4.1. Logo, medindo-se sucessivamente o parâmetro S_{21} , tem-se a resposta em frequência, complexa, do canal rádio móvel.

Apesar de criticada quanto à sua característica “não tempo real” [22], a técnica está em sintonia com a teoria e vem sendo utilizada com sucesso por outros autores [42, 24]. A crítica argumenta que uma varredura completa da banda de interesse demanda algum tempo e, como o canal rádio móvel é variante no tempo, a resposta em frequência pode mudar rapidamente, fornecendo uma medida de resposta ao impulso errada. Porém, para pequenos intervalos de tempo ou para pequenos deslocamentos do móvel, o canal pode ser considerado estacionário no sentido amplo. Baseando-se nesta afirmativa é possível atingir um compromisso entre tempos de varredura suficientemente rápidos e garantia de integridade na resposta.

4.1.2 Switches e Array

A construção do *array* seguiu os procedimentos de [41]. Foram utilizadas 8 antenas monopolo de um quarto do comprimento de onda, montadas de maneira circular e espaçadas de um terço do comprimento de onda em

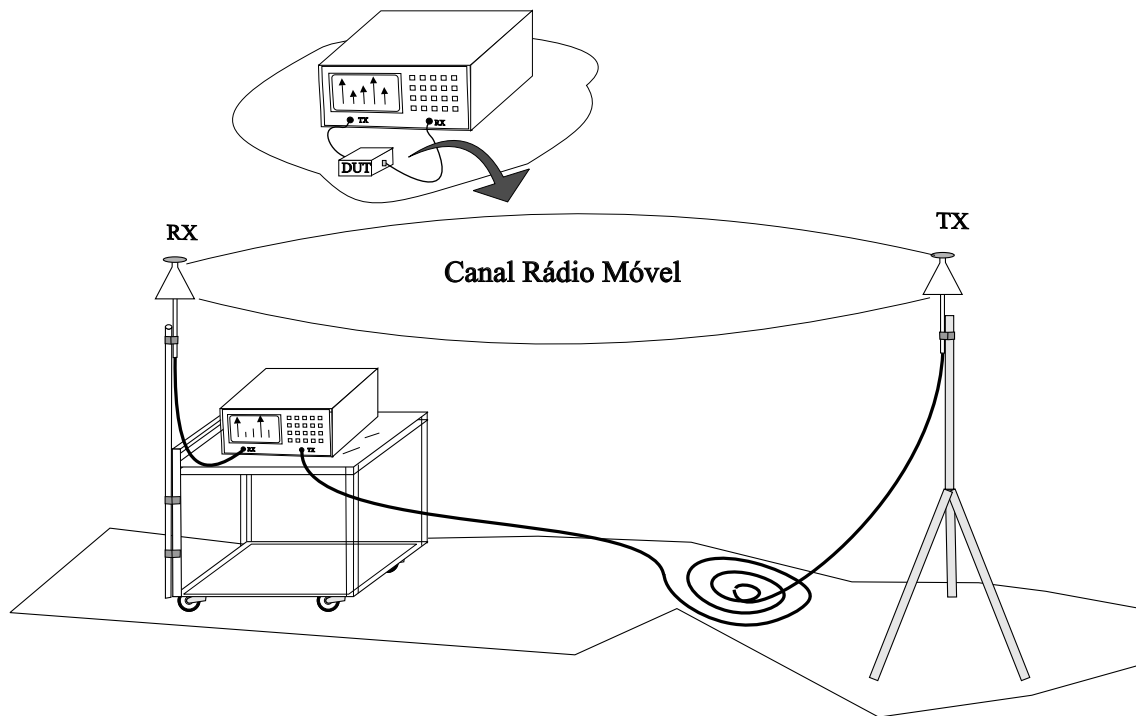


Figura 4.1: Canal Rádio Móvel como DUT de um Analisador Vetorial

uma placa metálica de 42 por 45 *cm* que serve como plano de terra comum a todos os elementos.

Para possibilitar o uso do *array*, foi utilizado um elemento que permite o direcionamento do sinal proveniente de cada uma das antenas, chamado *switch*.

O *switch* disponível, figura 4.2, possui uma porta de saída e quatro portas de entrada de RF, um terminal para alimentação e duas portas de controle, que estabelecem, através de lógica TTL, qual das portas (*b, c, d, e*) se comunicará com a porta *a*. A tabela 4.2 apresenta as características desse elemento e sua lógica TTL.

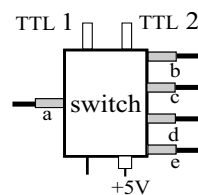


Figura 4.2: *Switch* Utilizado

Como o *array* possui 8 antenas, mas cada *switch* possui apenas 4 entradas, foi preciso construir um grupo de *switches* dividido em dois níveis,

| Marca | Mini-Circuits | Lógica TTL | | |
|-----------------------|----------------|-------------|-------|-------|
| | | Porta | TTL-1 | TTL-2 |
| Modelo | ZSDR-425 | selecionada | | |
| Faixa de Frequência | 10-2500 MHz | | | |
| Isolação entre Portas | 35 dB | b | 1 | 0 |
| Perda | 1,5 dB | c | 1 | 1 |
| Tempo de Comutação | 2,0 μ seg. | d | 0 | 1 |
| Tensão de Alimentação | + 5 Volts | e | 0 | 0 |

Tabela 4.2: Especificações do *Switch*

conforme figura 4.3. O controle foi feito com lógica TTL enviada através da porta paralela do computador.

Para realizar uma medida é preciso fazer uma varredura da banda de interesse em cada um dos 8 elementos do *array*. Portanto, antes de ordenar o início de uma varredura qualquer, o computador precisa selecionar a antena correspondente. O conjunto de *switches* pode fazer a ligação elétrica entre a antena desejada e o Analisador, através de uma sequência de bits enviados pela porta paralela do computador e mostrados na tabela 4.3. São enviados 4 bits simultâneos (utilizando 4 saídas TTL da porta paralela), sendo dois deles para o controle do *switch* 1 e os outros para o controle dos demais.

| Antena | Controle | |
|--------|----------|----------|
| | 1º nível | 2º nível |
| 1 | 00 | 00 |
| 2 | 00 | 01 |
| 3 | 00 | 10 |
| 4 | 00 | 11 |
| 5 | 01 | 00 |
| 6 | 01 | 01 |
| 7 | 01 | 10 |
| 8 | 01 | 11 |
| 9 | 10 | 00 |
| 10 | 10 | 01 |
| 11 | 10 | 10 |
| 12 | 10 | 11 |
| 13 | 11 | 00 |
| 14 | 11 | 01 |
| 15 | 11 | 10 |
| 16 | 11 | 11 |

Tabela 4.3: Sequência de Bits Enviados pela Porta Paralela para Escolha das Antenas

Exemplificando como é realizado o direcionamento do sinal, será detalhada a sequência de procedimentos que ocorrem durante uma medida,

iniciando com a varredura da antena 1.

1. O comando de controle enviado para o *switch* 1 habilita o RF a passar pela porta *b*, permitindo, assim, que o sinal do *switch* 2 seja recebido.
2. Com o *switch* 2 habilitado, a lista de comandos lógicos seguinte irá direcionar o sinal de RF, de forma sequencial, para as antenas 1, 2, 3 e 4.
3. O passo seguinte, é desabilitar o *switch* 2 e habilitar o *switch* 3, através da mudança dos comandos de controle no *switch* 1.
4. Com o *switch* 3 habilitado, o sinal será enviado, também de forma sequencial, para as antenas 5, 6, 7 e 8, completando assim a varredura dos 8 elementos.

Um ponto importante é que o *switch* 1 possui quatro saídas, permitindo o uso de até 16 sensores. O programa de aquisição foi desenvolvido em C++, e já prevê a utilização de um *array* com maior número de elementos.

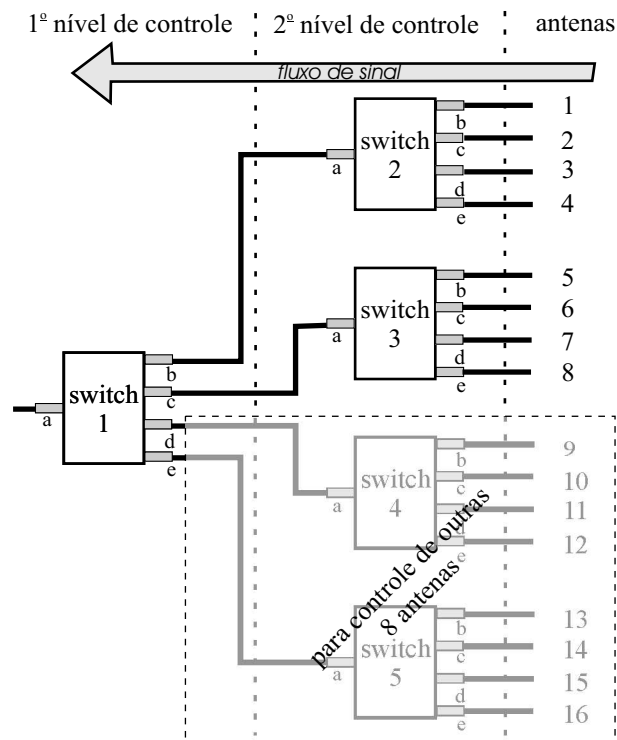


Figura 4.3: Esquema de Ligação dos *Switches*

| Marca | Modelo | Ganho ¹ [dB] | Faixa [MHz] | |
|---------------|---------------|-------------------------|-------------|-------|
| | | | F_l | F_h |
| MITEQ | AM-5A -0520-N | 50 | 500 | 2000 |
| Mini-Circuits | ZEL-1724 LN | 36 | 1700 | 2400 |

¹ Quando ligado conforme a figura

Tabela 4.4: Especificações dos Amplificadores

4.1.3 Setup Final

Um diagrama da montagem final do *setup* é mostrado na figura 4.4. O Analisador manda sinal por um cabo coaxial de 50 metros. Antes do sinal chegar à antena transmissora, ele passa por um amplificador de potência, cujas especificações estão na tabela 4.4, sendo então, transmitido por uma antena discônica, que possui um ganho de $2dBi$, com perda de retorno menor que $15dB$ e diagrama de radiação horizontal omnidirecional. Na recepção, o sinal chega no *array* e é direcionado, através do uso dos *switches*, para um amplificador de baixo ruído (LNA), cujas especificações também estão na tabela 4.4 chegando à porta de entrada do Analisador.

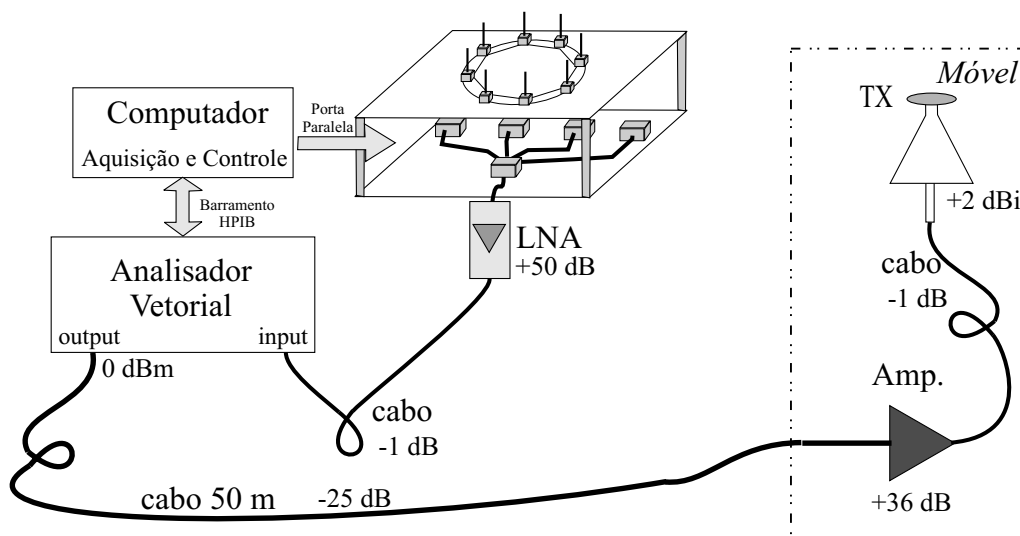


Figura 4.4: Diagrama do *Setup*

O amplificador, o LNA e os *switches* são alimentados com tensão contínua, através do uso de fontes de tensão com $+15V$, $+15V$ e $+5V$, respectivamente.

Durante as medidas, o receptor permaneceu parado, enquanto o transmissor foi posicionado nos diversos pontos de interesse. Esta atitude

não compromete os resultados e garante menor mobilidade aos elementos mais sensíveis do *setup* (Analisador Vetorial, computador e *array*).

O computador é utilizado para controlar o início e o fim das varreduras, fazer o armazenamento dos dados e controlar os *switches*.

A configuração final do *setup* é mostrada na figura 4.5.

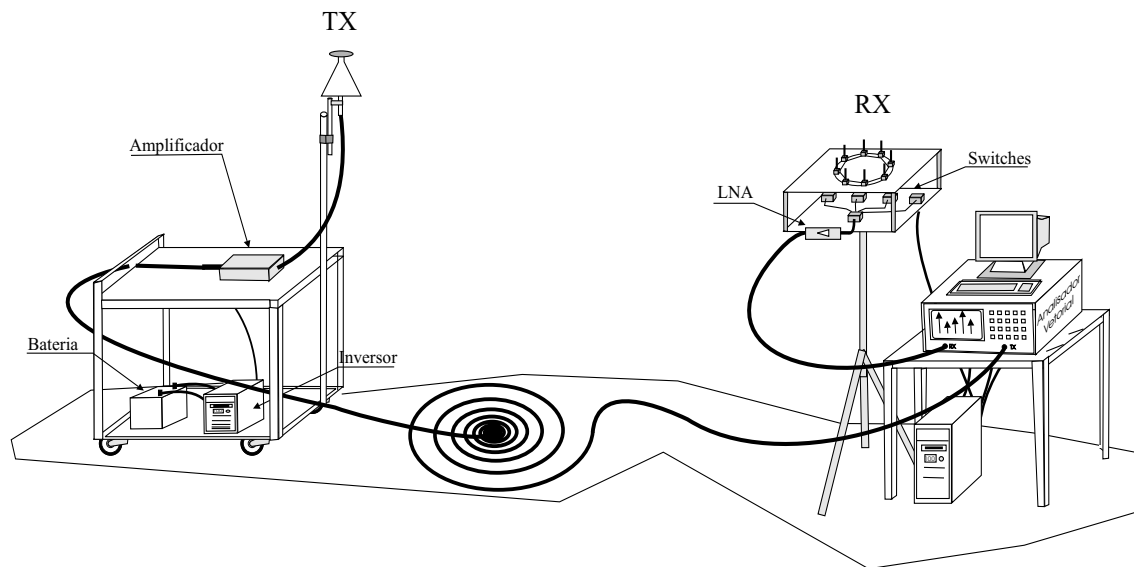


Figura 4.5: *Setup* Final

4.2 Calibração

Como foi explicado anteriormente, o Analisador Vetorial é um equipamento que realiza medidas através de comparação entre o sinal enviado, que é conhecido, e o sinal recebido. Logo, ele analisa o sistema que estiver entre suas duas portas.

Quando queremos medir o comportamento de um DUT qualquer, é necessário o uso de cabos e conectores para interligá-lo ao Analisador. Estes componentes, apesar de estarem no sistema de medidas não fazem parte do DUT, e portanto, não devem influenciar na medida. Logo, para garantir uma medida correta é necessário o procedimento de calibração.

No sistema de medidas deste trabalho, além de cabos e conectores ainda se utilizou *switches*, amplificadores e um *array* de antenas, agravando o problema de inserção de erros por parte de componentes externos ao DUT (que no caso é o canal rádio móvel).

O problema de acoplamento mútuo entre os elementos é bastante significativo. Para o *array* circular, o coeficiente de reflexão medido, quando

em presença de todos os sensores, apresentou valores muito altos, como mostrado na tabela 4.5. Porém, quando o coeficiente de reflexão foi medido com um sensor isolado, o maior valor encontrado esteve, geralmente, em torno de $-15dB$.

Outro problema apresentado pelo *array* é o “sombreamento” dos elementos, dependendo da posição destes em relação à fonte transmissora. Ou seja, quanto mais “à vista” do transmissor o sensor estiver, maior será o bloqueio que ele representará para os elementos que estiverem “atrás” dele. Na figura 4.6 é possível observar um exemplo de posicionamento do *array*, onde o sensor 3 recebe sinal diretamente da fonte, enquanto “bloqueia” o sinal do elemento 7. E, na figura 4.7, é mostrada a magnitude e a fase de uma varredura realizada conforme diagrama da figura 4.6. Pode-se observar que a amplitude de 7 é bem menor que a de 3, devido ao fato de que nesta configuração o elemento 7 está na direção oposta ao ângulo de chegada do sinal principal [34].

| Elemento | Coefficiente de Reflexão |
|----------|--------------------------|
| 1 | -9 dB |
| 2 | -13 dB |
| 3 | -11 dB |
| 4 | -13 dB |
| 5 | -11 dB |
| 6 | -9 dB |
| 7 | -12 dB |
| 8 | -13 dB |

Tabela 4.5: Maior Coeficiente de Reflexão, na Banda de Interesse, para os Elementos do *Array* Circular

Na tentativa de tornar as medidas mais confiáveis, e conseguir melhores resultados, é realizada uma calibração do *setup*, cujo objetivo é “anular” o efeito dos componentes físicos do sistema. O Analisador Vetorial já prevê a necessidade de calibração, e portanto, possui circuitos que compensam o comportamento dos dispositivos que fazem a ligação do aparelho ao DUT. Para tanto, é preciso que os cabos e conectores sejam ligados diretamente, sem o DUT, para que seu comportamento seja incorporado pelo Analisador.

Considerando que a calibração exige ligação elétrica direta entre todos os componentes do *setup*, a questão principal é: como calibrar um sistema ligado por duas antenas? Em uma situação ideal, esta calibração poderia se dar com a própria montagem indicada na figura 4.5, colocando as duas antenas em uma câmara anecóica com separação suficiente entre elas, de tal

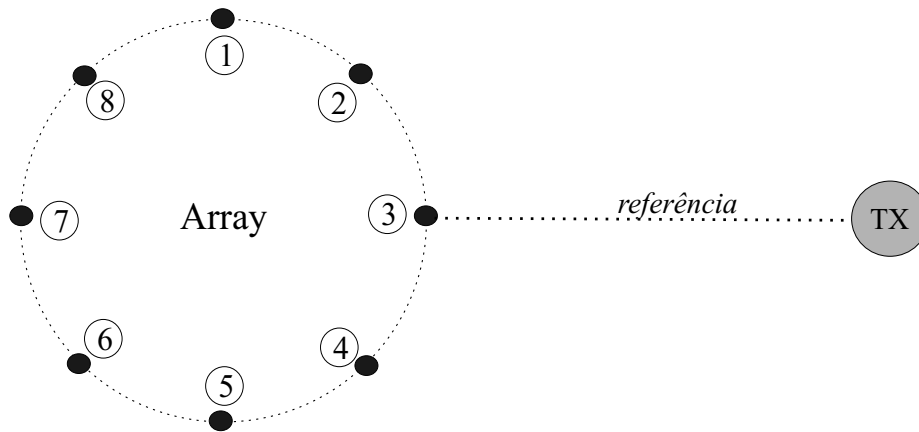


Figura 4.6: Exemplo do Posicionamento do *Array*

modo que os efeitos de campo próximo possam ser negligenciados. Na falta de uma câmara anecóica, pode-se seguir o sugerido por [17]. A calibração final se dá com a ligação direta entre os pontos de transmissão e recepção, sem as antenas, apenas tomando-se o cuidado de colocar um atenuador, no caso, de $60dB$, para que o nível do sinal de entrada não exceda as especificações do Analisador Vetorial [44].

Porém, além dos componentes físicos ainda existem os problemas de acoplamento mútuo e sombreamento, que tentarão ser atenuados com o procedimento de geração de matrizes de apontamento explicado no capítulo seguinte.

4.3 Configuração do Analisador Vetorial

A configuração do Analisador diz respeito à banda de frequência varrida e ao número de pontos tomados por varredura. Esses dois valores irão determinar qual será, para as medidas, a resolução no domínio dos retardos $\Delta\tau$ e o retardo máximo τ_{MAX} . O primeiro valor é obtido através da passagem do dado medido em frequência, pela Transformada de Fourier e representa o tempo mínimo entre a chegada de dois raios para que estes possam ser distinguidos pelo *setup*. O retardo máximo é o maior retardo percebido.

Em [20] são dadas as seguintes relações:

$$\Delta\tau = \frac{1}{B} \quad (4-2)$$

$$\tau_{MAX} = \frac{1}{\Delta f} = \frac{N - 1}{B} \quad (4-3)$$

onde N é o número de pontos tomados a cada varredura, B é a banda de frequência varrida pelo Analisador Vetorial e $\Delta f = B/(N - 1)$ é o espaçamento entre as amostras.

De acordo com a equação 4-2, quanto maior a banda varrida melhor será a resolução temporal. Os amplificadores disponíveis permitem varredura de $200MHz$ tendo a frequência central igual a $1,8GHz$. Logo, voltando na equação 4-2, a resolução no domínio dos retardos será de $5[ns]$.

Entretanto, o retardo máximo, relacionado com o espaçamento entre amostras, depende do número de pontos tomados por varredura. É preciso, porém certo compromisso entre o tamanho da banda e o número de pontos adotados. A literatura reporta a trabalhos que utilizaram 801 pontos [15] e outros que utilizaram 101 pontos [41]. Por uma questão investigativa, o algoritmo que ordena a captura das medidas foi desenvolvido para permitir a tomada de 101 e 801 pontos. A tabela 4.6 mostra uma comparação entre alguns valores obtidos para 101 e 801 pontos. Nota-se que foi considerada a varredura de uma banda de $200MHz$.

| Características | Pontos por Varredura | |
|--|----------------------|------|
| | 101 | 801 |
| Resolução Temporal ($\Delta\tau$) [ns] | 5 | 5 |
| Retardo Máximo (τ_{MAX}) [ns] | 500 | 4000 |
| Percurso Máximo [m] | 150 | 1200 |
| Espaçamento entre as Amostras (Δf) [MHz] | 2 | 0,25 |

Tabela 4.6: Comparação para Diferentes Configurações do Analisador Vetorial

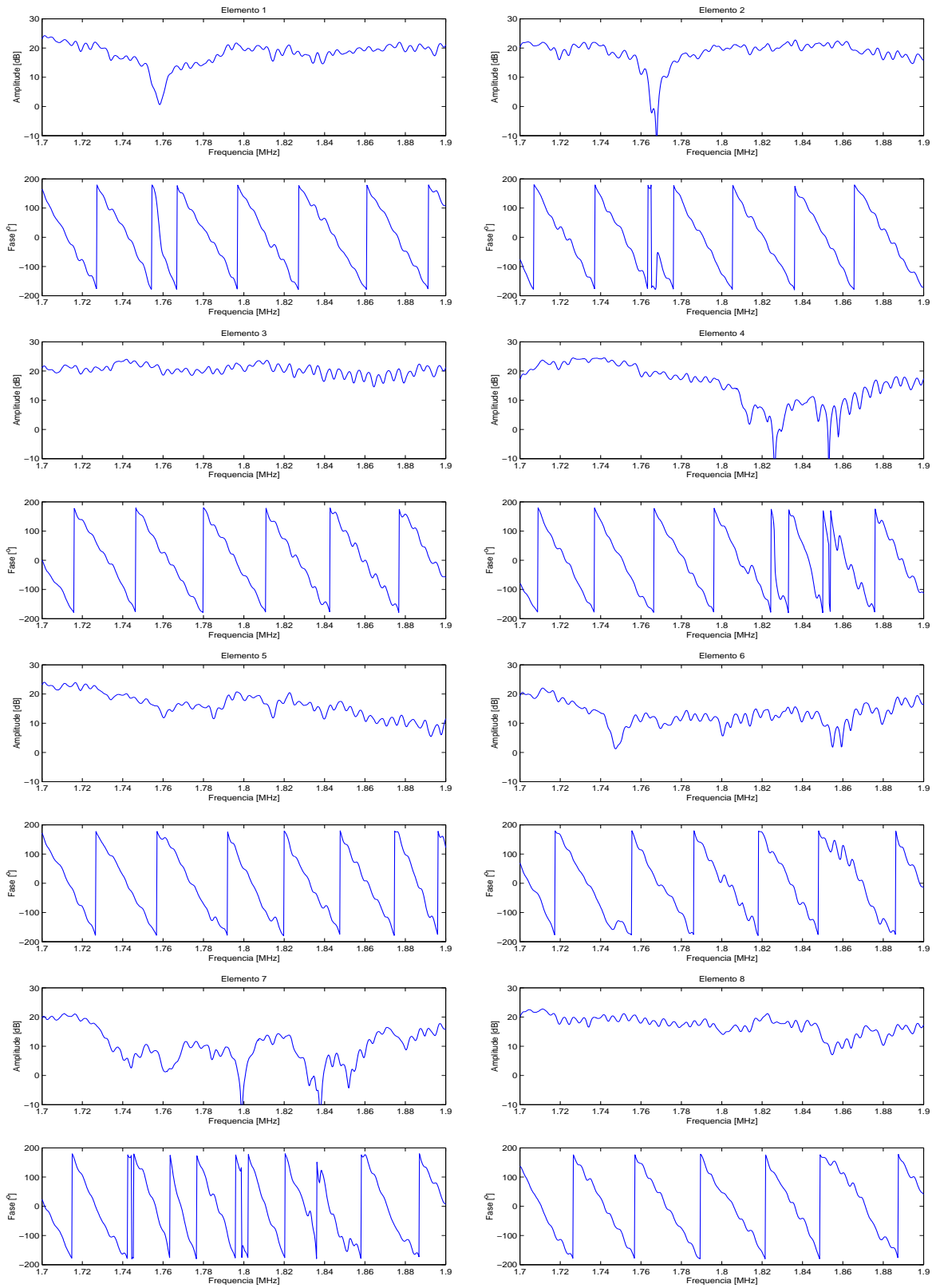


Figura 4.7: Exemplo de Amplitude e Fase de uma Varredura Completa no *Array Circular*