

5

Medidas e Cálculos dos Parâmetros que Caracterizam o Canal

Este capítulo descreve os procedimentos utilizados na estimação dos valores dos parâmetros de dispersão do canal por intermédio de medidas e do modelo (método de traçado de feixes).

Como visto no capítulo 3, o somatório dos campos elétricos correspondentes a todos os raios existentes entre o transmissor e o receptor resulta em um par de valores de amplitude e fase para uma determinada frequência. O conjunto de valores de amplitude e fase representa a resposta em frequência $H(f)$ fornecida pelo modelo para o canal UWB.

A sondagem em frequência do canal descrita no capítulo 4 também proporciona valores discretos de amplitude e fase para cada frequência. Este conjunto de valores representa a resposta em frequência $H(f)$ medida para o mesmo canal.

Para comparar as respostas em frequência medida e simulada, foram utilizadas 1601 frequências uniformemente espaçadas entre 950 MHz e 1800 MHz.

Através da aplicação da transformada inversa discreta de Fourier a $H(f)$, obtém-se a resposta impulsiva $h(\tau)$ do canal UWB. Com base na resposta em frequência $H(f)$ e na resposta impulsiva $h(\tau)$ do canal, obtém-se a variação da potência recebida ao longo da distância e os parâmetros de pequena escala utilizados para comparar os resultados das medidas realizadas com os da simulação. Os parâmetros utilizados são: banda de coerência, retardo médio e espalhamento de retardo RMS. Os dois últimos são obtidos com o auxílio do perfil de potência e retardo.

Na seção 5.1, a definição de banda de coerência é apresentada. Na seção 5.2, é introduzida a definição de perfil de potência e retardo do canal UWB, para posterior definição do retardo médio e do espalhamento de retardo RMS na seção

5.3. A seção 5.4 descreve o procedimento utilizado na obtenção da variação da potência recebida ao longo da distância.

5.1. Banda de coerência

A banda de coerência é definida como a menor separação em frequência para a qual a função autocorrelação $R_H(\Omega)$ da função de transferência atinge um determinado nível (geralmente 0,9 ou 0,7). A função autocorrelação é dada por:

$$R_H(\Omega) = E[H(f_1) \cdot H^*(f_2)] \quad (5.1)$$

onde * representa o conjugado complexo e $E|\bullet|$ o valor esperado.

Considerando a natureza discreta de $H(f)$ medida e simulada (obtida através do modelo de traçado de feixes), a equação (5.1) passa a ser representada por um vetor, obtido da seguinte forma:

$$[R_H]_p = \frac{\sum_{n=1}^{N-p} [H]_n \times [H]_{n+p}^*}{N-p}, \quad (5.2)$$

onde,

$[H]_n$: representa o conjunto de amostras discretas da função de transferência do canal. Quando $H(f)$ é medida, o vetor dado pela equação (4.1) é utilizado. Quando $H(f)$ é simulada, a equação (3.1) é utilizada.

N : é o número de amostras discretas em frequência utilizada na sondagem ou nos cálculos.

p : índice de posição do vetor $[R_H]$, que varia de 0 a $N-1$.

A separação em frequência Ω para cada posição do vetor definido em (5.2) é dada por:

$$\Omega = p \times \Delta f \quad (5.3)$$

sendo Δf um valor constante que representa a diferença entre duas frequências discretas consecutivas ($\Delta f = f_2 - f_1 = f_3 - f_2 = \dots = f_N - f_{N-1}$) da função de transferência do canal.

Desta forma, a partir de (5.2) e (5.3), pode-se obter a função $R_H(\Omega)$, a partir da qual a banda de coerência do canal é definida.

A Figura 55 ilustra a função $R_H(\Omega)$ obtida através do valor absoluto da equação (5.2) em um dos ambientes interiores analisados neste trabalho, com indicação do nível 0,9 e 0,7 para a identificação da banda de coerência do canal. O máximo valor da função $R_H(\Omega)$ é obtido quando $\Omega = 0$ ($p = 0$). Esta função diminui à medida que a diferença entre as frequências Ω aumenta.

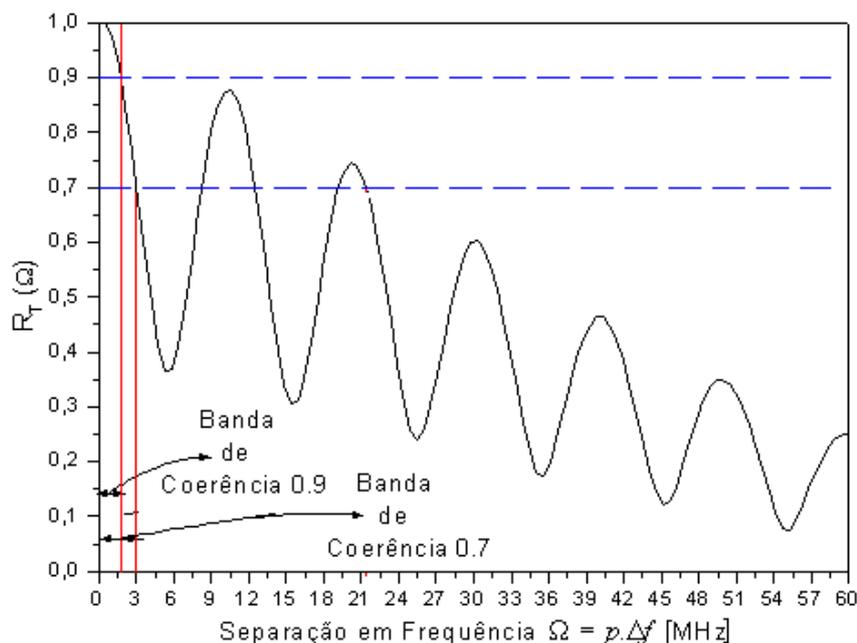


Figura 55- Função $R_H(\Omega)$ típica, com indicação das bandas de coerência definidas para os níveis 0,9 e 0,7.

O conhecimento da banda de coerência do canal é importante na identificação do tipo de desvanecimento a que o sinal está submetido: desvanecimento seletivo ou plano. Se a largura de banda do sinal for menor do que a banda de coerência do canal, o sinal sofre o chamado desvanecimento plano. No entanto, caso a largura de banda do sinal seja maior do que a banda de coerência do canal, o sinal sofre o chamado desvanecimento seletivo [6].

Estes desvanecimentos são definidos a partir da alteração na amplitude das várias componentes do espectro do sinal transmitido. Esta alteração poderá ocorrer de maneira uniforme em toda a largura de banda do sinal, configurando o chamado desvanecimento plano, ou poderá afetar somente uma determinada faixa de frequências na largura de banda do sinal, configurando o chamado desvanecimento seletivo.

5.2. Perfil de Potência e Retardo

O perfil de potência e retardo do canal, $P_h(\tau)$, representa a potência recebida em cada componente de multipercurso no domínio dos retardos.

O perfil de potência e retardo, $P_h(\tau)$, é obtido com auxílio da resposta impulsiva do canal, através da equação dada por [6]:

$$P_h(\tau) = \overline{|h(\tau, t)|^2} \quad (5.4)$$

onde $|h(\tau, t)|$ é o módulo da resposta impulsiva. Nesta tese, a resposta impulsiva é obtida uma única vez para uma mesma posição de transmissor e receptor. Assim, a equação (5.4) passa a ser aproximada por:

$$P_h(\tau) = |h(\tau)|^2 \quad (5.5)$$

onde $|h(\tau)|$ é o módulo da resposta impulsiva resultante de uma varredura do analisador de espectro.

Para que fosse utilizada uma única varredura, as medidas foram obtidas em ambientes sem a presença de pessoas e sem interferência eletromagnética de aparelhos externos. A resposta impulsiva $h(\tau)$ é obtida através da transformada inversa discreta de Fourier da função de transferência $H(f)$ simulada obtida através da equação (3.1), ou medida obtida através da equação (4.1). As respostas impulsivas foram normalizadas de modo a apresentar valor máximo igual a 1.

A Figura 56 ilustra o perfil de potência e retardo medido para um dos ambientes interiores analisados neste trabalho.

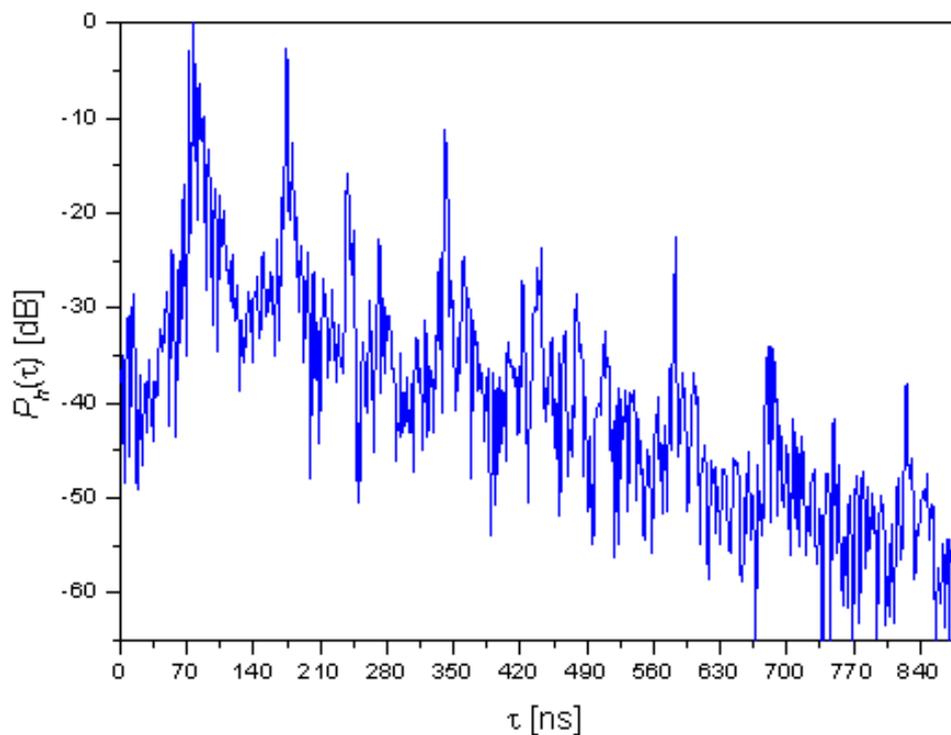


Figura 56- Exemplo de um perfil de potência e retardo normalizado.

5.3. Retardo Médio e Espalhamento de Retardo RMS

A partir do perfil de potência e retardo, pode-se obter o retardo médio e o espalhamento de retardo RMS, dados, respectivamente, por [6]:

$$\bar{\tau} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \tau P_h(\tau) d\tau}{\int_{-\infty}^{+\infty} P_h(\tau) d\tau} \quad (5.5)$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{+\infty} (\tau - \bar{\tau})^2 P_h(\tau) d\tau}{\int_{-\infty}^{+\infty} P_h(\tau) d\tau}} \quad (5.6)$$

As equações (5.5) e (5.6) representam as estatísticas de primeiro momento (média) e segundo momento central (desvio padrão) de $P_h(\tau)$, respectivamente.

Como os perfis de potência e retardo simulados e medidos são discretos, as equações (5.5) e (5.6) passam a ser dadas por:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \tau_i \times P_h(\tau_i)}{\sum_{i=0}^{N-1} P_h(\tau_i)} \quad (5.7)$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (\tau_i - \bar{\tau})^2 \times P_h(\tau_i)}{\sum_{i=0}^{N-1} P_h(\tau_i)}} \quad (5.8)$$

O conhecimento do espalhamento de retardo RMS é importante para definição da menor duração do símbolo de transmissão, T_s ($T_s > 10\sigma_\tau$) [74]. Quando o espalhamento de retardo RMS é próximo ou maior que a duração de um símbolo, as componentes de multipercorso atingem o receptor em diferentes intervalos do símbolo, o que provoca interferência entre símbolos. Isto equivale à transmissão por um canal que tem uma largura de banda de coerência menor que a largura de banda do sinal.

No entanto, nem todos os pares de amplitude e retardo que determinam o perfil de potência e retardo devem ser considerados nas equações (5.7) e (5.8). Com a utilização das técnicas de sondagem de canal, os dados medidos estão sujeitos a erros inerentes ao equipamento transceptor (LNA, antenas, etc.). Assim, é necessário verificar se cada componente do perfil de potência e retardo realmente representa os efeitos de multipercursos oriundos de espalhadores existentes no ambiente e não um sinal espúrio. Desta forma, a técnica CLEAN [48] foi utilizada para determinar os pares de amplitude e retardo medidos realmente válidos. A técnica CLEAN é explicada com mais detalhes no Apêndice A.2.

No perfil de potência e retardo simulado foi considerado que somente os picos de amplitude referentes a um determinado valor de retardo representam componentes de multipercorso válidas. Em um valor de retardo τ_n , a amplitude é considerada um pico quando a potência recebida em um ponto de retardo anterior τ_{n-1} e em um ponto posterior τ_{n+1} são menores que a potência em τ_n .

Desta forma, nos perfis de potência medidos e simulados, somente os valores de amplitude e retardo relacionados a componentes de multipercorso válidas são considerados nos cálculos do retardo médio e espalhamento de retardo RMS.

5.4. Variação da Potência Recebida ao Longo da distância

Tanto para os dados medidos quanto simulados, a variação da potência recebida ao longo da distância foi determinada no domínio da frequência através da equação [59]:

$$P(d) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H(f_i, d)|^2 \quad (5.9)$$

onde $H(f_i, d)$ é a função de transferência do canal e N representa o número de frequências discretas observadas, igual a 1601.