

## 5 Ferramentas de análise

### 5.1. Função Janela para a Transformada de Fourier

Sabe-se que a transformada de Fourier de um sinal finito da margem a espúrios no domínio da frequência, conhecidos como vazamento de potência espectral (*spectral leakage*), por exemplo, a transformada de Fourier de um pulso tem a forma de uma função Sinc, com concentração de potência no lóbulo principal e um espalhamento de energia representado pelos lóbulos secundários.

Da mesma forma, a aplicação da IFFT (transformada inversa de Fourier) na função de transferência variante no tempo  $T(f, t)$  limitada em banda (950MHz a 1800MHz), gera espúrios indesejáveis na resposta do canal no domínio dos retardos.

Com objetivo de acabar com os espúrios indesejáveis da resposta do canal no domínio do retardo (associadas a intervalos finitos de observação no domínio da frequência), antes da transformada de Fourier os dados discretos são aplicados a uma função janela, que atua como filtro reduzindo os lóbulos secundários. No entanto, a multiplicação da função janela a cada ponto discreto de informação do sinal complexo medido, apesar de reduzir consideravelmente os lóbulos laterais, proporciona um aumento no valor da resolução no domínio do retardo.

Em Harris [21], várias funções janela são analisadas quanto ao aumento na resolução e à diminuição do vazamento espectral de potência. Segundo o autor, as janelas de Blackman-Harris com três termos e a janela de Kaiser-Bessel são as de melhores performance.

Desta forma, baseado em Harris [21], optou-se pela escolha da função janela de Blackman-Harris com três termos, pelo fato de possuir menor aumento de resolução (por um fator de 1.81) aliada a uma considerável queda de potência dos lóbulos secundários (queda de 67 dB em relação ao lóbulo principal). Assim, a resolução antes obtida de 1.17ns (seção 3.2.1) passa a ser de 2,1 ns.

A função de Blackman-Harris com três termos é dada pela expressão:

$$w(n) = a_0 - a_1 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N}n\right) + a_2 \cos\left(\frac{2\pi}{N}2n\right), \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (5.1)$$

onde  $a_0 = 0,42323$ ,  $a_1 = 0,49755$  e  $a_2 = 0,07922$ .

A Figura 7 ilustra a equação (5.1) com  $N = 1601$  utilizada.

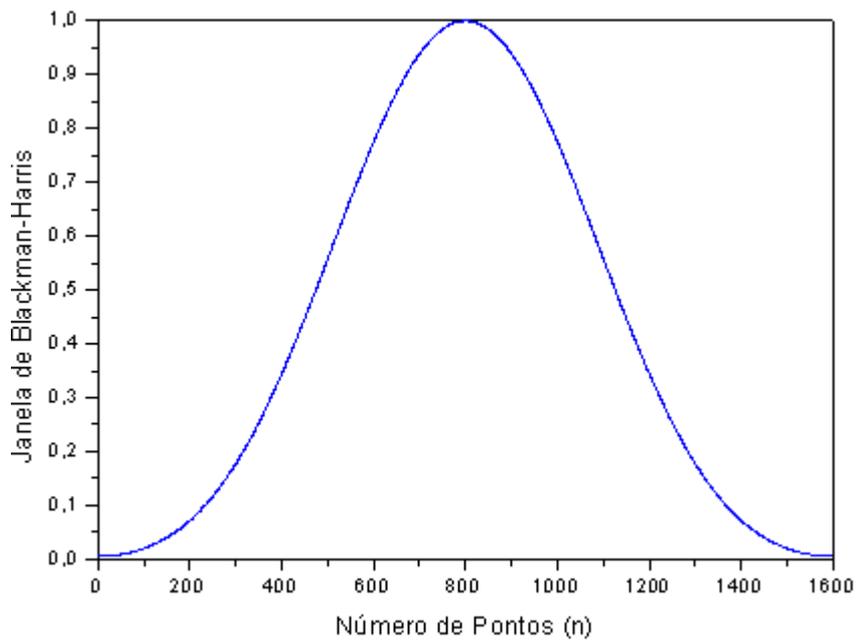


Figura 7 - Função Janela de Blackman-Harris de 3 termos com N=1601

## 5.2. Técnica CLEAN para a Detecção de Componentes de Multipercurso

Com a utilização das técnicas de sondagem de canal, os dados medidos estão sujeitos a erros inerentes do equipamento transceptor. Assim, temos que verificar se a energia recebida em cada valor de retardo realmente representa uma componente de multipercurso oriunda de um espalhador e não a representação de um espúrio indesejado.

Desta forma, a utilização da técnica de sondagem no domínio da frequência nos remete à obtenção de uma resposta impulsiva, que contém os efeitos do canal e dos equipamentos de medida.

Existem várias técnicas na literatura para a obtenção de componentes de multipercurso válidas, entre as mais utilizadas podemos citar a SAGE ( *Space Alternating Generalized EM*) [33], [34] baseada em EM ( *Expectation Maximization*) e a CLEAN [35].

Nesta dissertação para que os efeitos do equipamento transceptor (LNA, antenas, etc) sobre os dados medidos fossem retirados, a técnica CLEAN foi utilizada. Esta técnica originalmente utilizada para o processamento de imagens [35], tem sido bastante utilizada para estimar a dispersão do canal rádio UWB [11], [36]-[38].

O objetivo principal da técnica CLEAN é retirar os efeitos do sistema de medida, através de uma subtração interativa de uma medida referência sobre a resposta impulsiva  $h(t, \tau)$ , que contém os efeitos do aparelho transceptor e do canal.

A medida referência deve ser feita em LOS, em um ambiente *outdoor* com poucos espalhadores, onde a resposta impulsiva possa conter apenas os efeitos do aparelho transceptor, praticamente sem a contribuição de sinais refletidos.

A Figura 8 apresenta o perfil de potência de retardo da resposta impulsiva referência utilizada, obtido no estacionamento da PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) que possui uma grande área com poucos refletores. Esta medida foi realizada num dia de domingo, quando o estacionamento encontrava-se vazio (sem carros). As antenas de transmissão e recepção foram colocadas a um metro de distância.

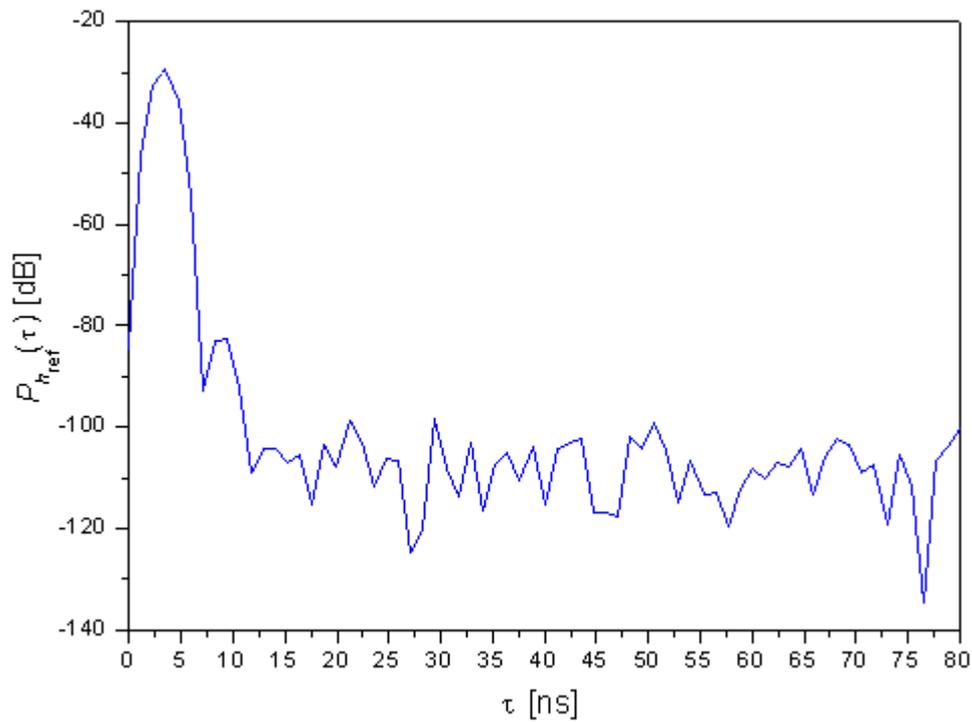


Figura 8 - Perfil de potência referência obtido no estacionamento da PUC.

Nesta seção, com objetivo de explicar o algoritmo CLEAN iremos definir duas funções  $d(\tau)$  denominada de *dirty map*, que contem os efeitos do aparelho transceptor e do canal; e  $c(t)$  denominada de *clean map* que contem apenas os efeitos do canal.

O algoritmo implementado segue os seguintes passos:

- 1) inicie o *dirty map* com  $d(\tau) = |h(\tau)|$  e o *clean map* como  $c(t) = 0$ . Sendo  $|h(\tau)|$  a resposta impulsiva do canal UWB em um determinado valor de  $t$ , medido em um determinado ambiente
- 2) ache o valor de uma constante  $K = \max(d(\tau))$ .
- 3) obtenha uma matriz  $[A]$ , dada por:

$$[A] = \begin{bmatrix} |h_{ref}(\tau_{p_{ref}-2})| & |h(\tau_{p_1-2})| & |h(\tau_{p_2-2})| & |h(\tau_{p_3-2})| & \dots & |h(\tau_{p_n-2})| \\ |h_{ref}(\tau_{p_{ref}-1})| & |h(\tau_{p_1-1})| & |h(\tau_{p_2-1})| & |h(\tau_{p_3-1})| & \dots & |h(\tau_{p_n-1})| \\ |h_{ref}(\tau_{p_{ref}})| & |h(\tau_{p_1})| & |h(\tau_{p_2})| & |h(\tau_{p_3})| & \dots & |h(\tau_{p_n})| \\ |h_{ref}(\tau_{p_{ref}+1})| & |h(\tau_{p_1+1})| & |h(\tau_{p_2+1})| & |h(\tau_{p_3+1})| & \dots & |h(\tau_{p_n+1})| \\ |h_{ref}(\tau_{p_{ref}+2})| & |h(\tau_{p_1+2})| & |h(\tau_{p_2+2})| & |h(\tau_{p_3+2})| & \dots & |h(\tau_{p_n+2})| \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

Nesta matriz a primeira coluna representa a amplitude de cinco amostras discretas consecutivas da resposta impulsiva referência com amostra central  $|h_{ref}(\tau_{p_{ref}})|$ , representando o valor de pico da resposta referência. Estas amostras consecutivas estão contidas dentro de uma janela de 4,7ns mostrada na Figura 9.

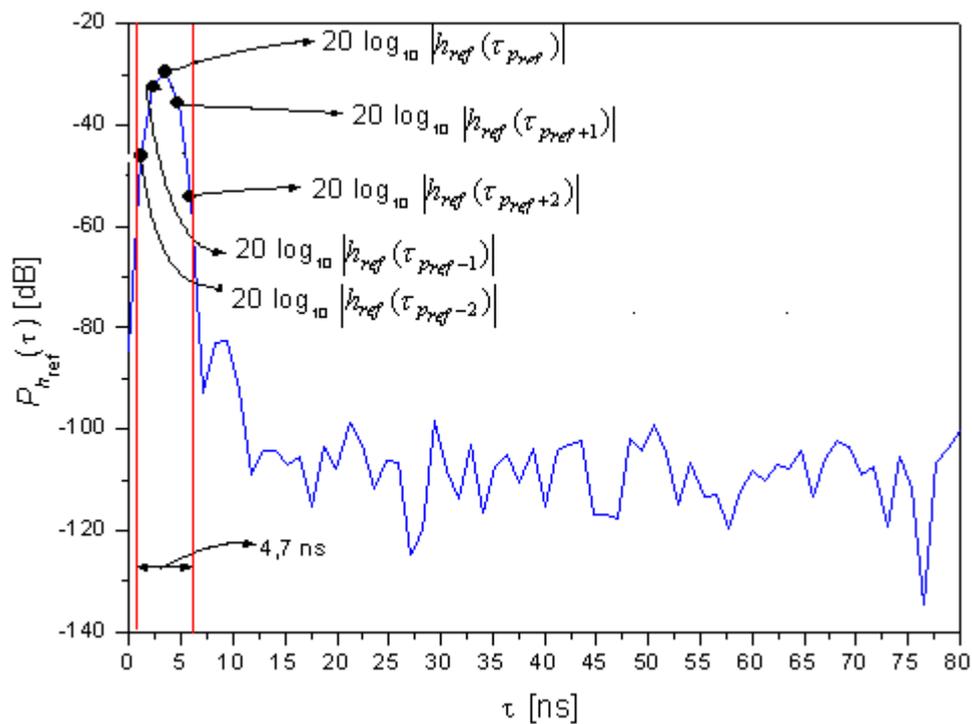


Figura 9 - Perfil de potência referência com indicação das cinco amostras utilizadas na primeira coluna da matriz  $A$ .

A partir da segunda coluna da matriz  $[A]$ , todas as colunas representam cinco amostras discretas consecutivas da resposta impulsiva medida com valores máximos  $|h(\tau_{p_1})|$ ,  $|h(\tau_{p_2})|$ ,  $|h(\tau_{p_3})|$ , ...,  $|h(\tau_{p_n})|$ , que representam os picos consecutivos da resposta impulsiva medida. A Figura 10 apresenta o perfil de potência de retardo em um dos ambientes medidos com indicação dos picos consecutivos da resposta impulsiva.

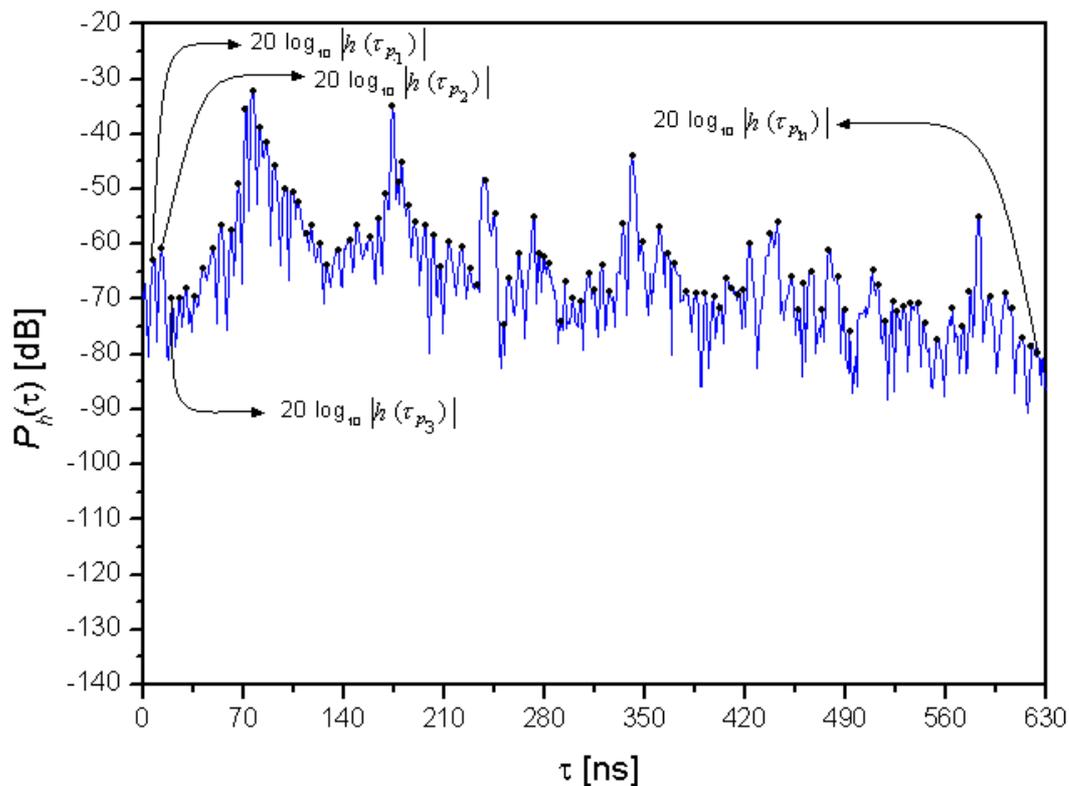


Figura 10 - Perfil de potência de retardo com indicação das amostras da terceira linha da matriz  $A$ , a partir da segunda coluna.

- 4) obtenha a matriz de coeficiente de correlação,  $\Gamma$ , da matriz  $[A]$ , e suas posições,  $\tau_i$ , em  $d(\tau)$ .
- 5) obtenha o valor de  $d(\tau_i)$  referente ao máximo valor de  $\Gamma_i$ .

6) Atualize o *clean map* através da seguinte equação:

$$c(\tau) = c(\tau) + d(\tau_i)\delta(\tau - \tau_i) \quad (5.5)$$

7) deixe  $h_{ref}(\tau_{pref})$  (valor de pico da resposta referência) na mesma escala de amplitude de  $d(\tau_i)$ , através de um fator de escala  $F$ , dado pela equação (5.3).

$$F = \frac{\max(|d(\tau_i)|)}{\max(h_{ref}(\tau_{pref}))} \quad (5.3)$$

8) Subtraia  $h_{ref}(\tau)$  de  $d(\tau)$ , como na equação (5.4), para que uma componente multipercurso desapareça de  $d(\tau)$ .

$$d(\tau) = d(\tau) - F h_{ref}(\tau - \tau_i) \quad (5.4)$$

9) Se todos os picos do novo *dirty map*  $d(\tau)$  estiverem abaixo de um limiar 30 dB abaixo do valor de  $K$  (encontrado no passo 2) pare as interações, caso contrário voltar para o passo 5.

A Figura 11 ilustra o perfil de potência de retardo referente à aplicação da técnica CLEAN no perfil de potência dado pela Figura 10.

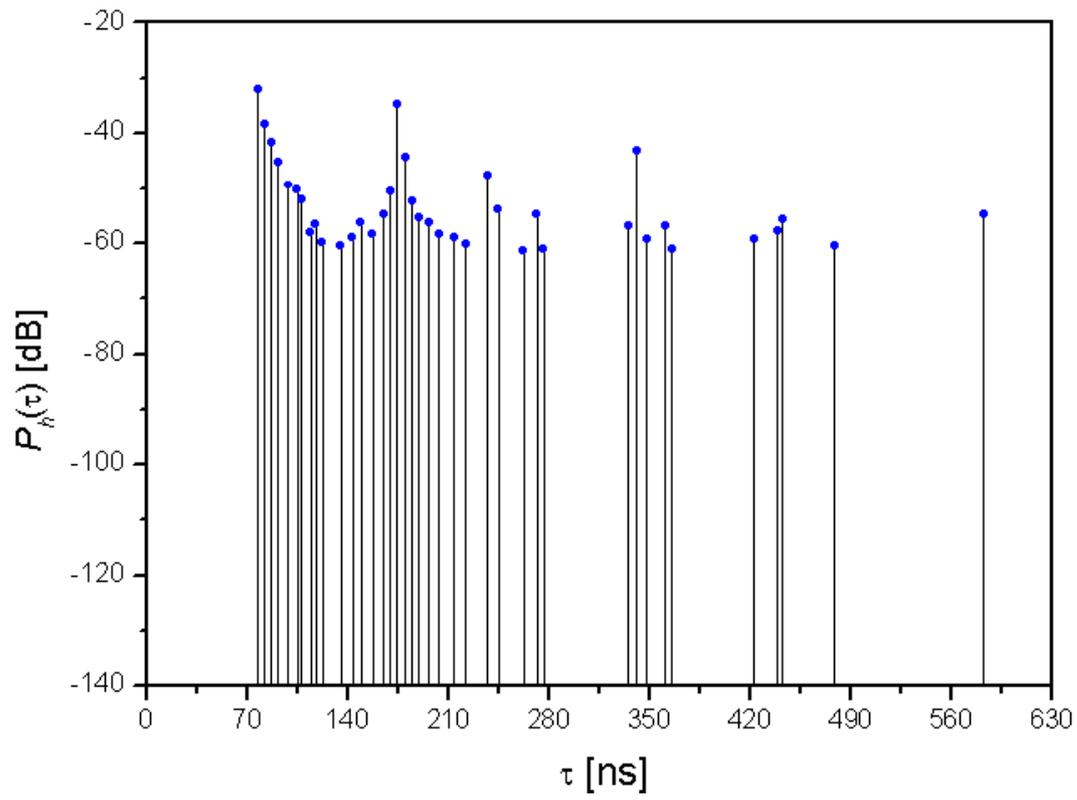


Figura 11 - Perfil de potência obtido através da técnica CLEAN